

Laser-interstitielle Thermotherapie (LITT): eine minimalinvasive neurochirurgische Behandlungsoption für Hirntumore und Strahlennekrose

Anna M. Zeitlberger, Oliver Bozinov

Klinik für Neurochirurgie, HOCH Health Ostschweiz, Kantonsspital St. Gallen, St. Gallen

Zusammenfassung: Die Laser-interstitielle Thermotherapie (LITT) ist ein minimalinvasives neurochirurgisches Verfahren, bei welchem eine Laser-induzierte Wärme zur Ablation von Zielgewebe im Gehirn genutzt wird. Die Ablation wird unter Echtzeitkontrolle in der MRT durchgeführt und ermöglicht die präzise Behandlung von pathologischem Gewebe, teils mit vorgängiger Biopsie, und Schonung der umgebenden Strukturen. Heute umfassen die Hauptanwendungsgebiete der LITT primäre und sekundäre Hirntumore, Epilepsien und Strahlennekrosen. Im Vergleich zu konventionellen offenen neurochirurgischen Eingriffen verkürzt LITT den Krankenhausaufenthalt und bietet die Möglichkeit, Patienten zu behandeln, die für offene Operationen nicht geeignet sind. Die Indikationsstellung sollte interdisziplinär erfolgen und ist für den Therapieerfolg entscheidend. Dieser Artikel fasst die technische Durchführung sowie die aktuellen Empfehlungen zur Auswahl der geeigneten Patienten und Pathologien, basierend auf der aktuellen Literatur, zusammen.

Schlüsselwörter: Laser-interstitielle Thermotherapie, minimalinvasive Neurochirurgie, thermische Ablation, Gliome, Metastasen

Laser interstitial thermotherapy (LITT): a minimally invasive neurosurgical treatment option for brain tumours and radiation necrosis

Abstract: Laser interstitial thermotherapy (LITT) is a minimally invasive neurosurgical procedure in which laser-induced heat is used to ablate target tissue in the brain. The ablation is performed under real-time MRT guidance, enabling the precise treatment of pathological tissue – sometimes following a prior biopsy – whilst sparing the surrounding structures. Today, the main indications for LITT include primary and secondary brain tumours, epilepsy and radiation necrosis. Compared to conventional open neurosurgical procedures, LITT shortens the hospital stay and offers the possibility of treating patients who are not suitable for open surgery. Indications should be determined on an interdisciplinary basis and are crucial for the success of the treatment. This article summarises the technical procedure as well as the current recommendations for selecting suitable patients and pathologies based on the latest literature.

Keywords: Laser interstitial thermotherapy, minimally invasive neurosurgery, thermal ablation, gliomas, metastases

Einleitung

Die kontinuierliche Weiterentwicklung minimalinvasiver Operationstechniken und medizinischer Bildgebung hat zu neuen therapeutischen Möglichkeiten in verschiedenen medizinischen Fachgebieten geführt. Die Laser-interstitielle Thermotherapie (LITT) repräsentiert ein solches innovatives Verfahren in der Neurochirurgie, das in den letzten Jahren gleichzeitig mit der Verbesserung der bildgebenden Verfahren und der aktuellen Studienlage zunehmend an Bedeutung gewonnen hat (1). LITT ist eine minimalinvasive Behandlungsmethode, bei der Laser-induzierte Wärmeenergie zur gezielten Ablation von Zielgewebe im Gehirn eingesetzt wird. Die Ablation wird – meist nach der Entnahme einer Biopsie bei Tumorerkrankungen – unter Kontrolle mittels Echtzeitbildgebung in der MRT durchgeführt, was eine exakte Durchführung und Überwachung des Eingriffs ermöglicht. Die MRT-Thermometrie erlaubt dabei die kontinuierliche Kontrolle der erzeugten Wärmeverteilung, wodurch eine millimetergenaue Begrenzung der Ablationszone und Schonung der umgebenden Strukturen erreicht werden kann (2).

Historisch wurde die LITT erstmals in den 1980er-Jahren beschrieben, jedoch haben technologische Fortschritte der letzten zwei Jahrzehnte zu einer kontinuierlichen Verbesserung und damit auch Verbreitung des Verfahrens und seiner Anwendungsgebiete geführt (3). Heutzutage ist die

LITT eine etablierte Behandlungsoption für Epilepsie und Strahlennekrosen und wird zunehmend auch für primäre und sekundäre Hirntumore genutzt. Der Schwerpunkt der folgenden Zusammenfassung liegt auf der Evidenzlage für Hirntumore und Strahlennekrosen.

Ablauf einer LITT-Behandlung

Die LITT-Behandlung wird meist in Vollnarkose durchgeführt, wobei einige Zentren LITT auch bei wachen Patienten durchführen, was ein kontinuierliches intraoperatives neurologisches Monitoring bei Läsionen in eloquenten Arealen und in der Nähe von subkortikalen Faserbahnen ermöglicht (4). Zunächst wird bei einer LITT-Operation der Stereotaxie-Rahmen angebracht und eine CT-Untersuchung durchgeführt, welche anschliessend für die Planung des Zielvolumens und der optimalen Trajektorie mit den präoperativen MRT-Bildern fusioniert wird. Hiermit erreicht man die präziseste Lage für den Katheter. Die Einlage kann aber auch mittels Neuronavigation erfolgen und hat dann eine Abweichmöglichkeit von wenigen Millimetern. Die optimale Trajektorie ist abhängig von der dreidimensionalen Ausdehnung des Tumors und sollte der Längsachse der Raumforderung folgen. Die optimale Zielgrösse für LITT liegt bei einem Durchmesser von bis zu 2.5 cm bzw. einem Volumen von maximal 15 cm³

(5, 6). Anschliessend erfolgt in der Regel die Biopsie der Läsion über die gleiche Trajektorie, gefolgt von der Platzierung der Lasersonde im Zielgewebe. Hierfür ist nur ein kleiner Hautschnitt von wenigen Millimetern notwendig. Danach erfolgt der Transport des Patienten zur MRT für die Verifizierung der korrekten Sondenposition und der thermischen Ablation (Abb. 1). Durch die Absorption des Laserlichts im Gewebe entsteht Wärme, die bei Temperaturen zwischen 50 und 70 °C zur Proteindenaturierung, Zellmembranruptur und letztendlich zur Koagulationsnekrose führt. Je nach Ausdehnung und Konfiguration können auch mehrere Ablationen notwendig sein, um das Zielvolumen zu erreichen (7). Unmittelbar nach der Laserablation erfolgt eine Abschluss-MRT-Kontrolle. Der Patient kann anschliessend extubiert werden und oft nach einer Überwachung von nur einer Nacht aus dem Krankenhaus entlassen werden.

Klinische Anwendungsgebiete

LITT bei Gliomen

Gliome sind die häufigsten primären Hirntumore und umfassen ein breites Spektrum von niedriggradigen (WHO-Grad 1–2) bis infiltrativ und schnell wachsenden Tumoren (WHO-Grad 3–4) (8). Während die chirurgische Resektion bei den meisten Gliomen die Therapie der ersten Wahl darstellt, können eloquente Lokalisationen, diffuses Wachstumsmuster oder der Allgemeinzustand des Patienten eine offene Operation limitieren, wodurch LITT als minimal-invasive Alternative an Bedeutung gewinnt.

Mehrere Studien haben die Wirksamkeit von LITT als Therapieoption von Gliomen untersucht. Es handelt sich in den meisten Studien um Patienten mit eloquent gelegenen Tumoren, erhöhtem Operationsrisiko oder Ausschöpfung anderer Therapieoptionen. Bei niedriggradigen Gliomen (WHO-Grad 1–2) zeigen mehrere Fallbeschreibungen und kleinere prospektive Studien die Wirksamkeit von LITT bei operativ schwer zugänglichen Tumoren im Kindes- und Erwachsenenalter (9–11). Die Therapie zeigte eine gute Reduktion der Tumormasse und wurde vom Grossteil der Patienten gut toleriert. Prospektive Studien gibt es derzeit für diese Indikation noch nicht. Aufgrund der insgesamt guten Prognose dieser Tumore sind Langzeitbeobachtungen notwendig, um den Effekt auf das progressionsfreie Überleben und Gesamtüberleben zu untersuchen.

Deutlich mehr Studien gibt es mittlerweile für LITT als Therapiemöglichkeit bei Glioblastomen. Insgesamt ist die Prognose bei dieser Art von Hirntumor – dem häufigsten bösartigen primären Hirntumor bei Erwachsenen – weiterhin sehr schlecht, mit einem medianen Gesamtüberleben von 15–18 Monaten trotz maximaler Therapie (12).

Die durchschnittliche 5-Jahres-Überlebensrate liegt bei etwa 5 %, wobei neue Therapieansätze wie Tumor Treating Fields diese im Rahmen einer randomisierten Studie auf circa 13 % verbessern konnten (13). Die verfügbare Literatur zu Glioblastomen mit LITT basiert überwiegend auf retrospektiven Fallserien und Kohortenstudien mit niedriger Evidenzqualität (Evidenzlevel II–IV) (14). Diese Studien zeigen, dass LITT eine potenziell wirksame Therapieform

für Patienten mit inoperablen Tumoren darstellt. Bei neu diagnostizierten, nicht resektablen Glioblastomen zeigt eine aktuelle Auswertung eines prospektiven multizentrischen Patientenregisters in den USA eine durchschnittliche Überlebenszeit von 16 Monaten bei Erstdiagnose, wenn nach LITT eine Standardtherapie (Radiochemotherapie) erfolgte (15). Dies ist vergleichbar mit historischen Kontrollgruppen nach Resektion. Mehrere retro- und prospektive Serien zeigten ausserdem ein verlängertes Überleben (9–12 Monate) nach LITT bei Patienten mit rezidivierenden Glioblastomen, die nicht für eine erneute Resektion geeignet waren (15–17). Dies erwies sich als vorteilhaft im Vergleich zur bestmöglichen palliativen Versorgung. Die Ablationsraten in den Studien liegen durchschnittlich bei über 90 %, sowohl für primäre als auch rezidivierende Tumoren (15). Die häufigsten Komplikationen in einer systemischen Übersichtsarbeit waren Krampfanfälle, Infektionen und intrakranielle Blutungen. Diese Komplikationen traten durchschnittlich in 1–5 % der Fälle auf, mit einem geringfügig höheren Risiko bei Patienten mit rezidivierenden Tumoren. Vorübergehende postoperative neurologische Verschlechterungen wurden insgesamt selten beobachtet, während permanente Defizite bei weniger als 2 % der Patienten auftraten (16).

LITT und Systemtherapie: Synergistische Effekte in der Tumorbehandlung

Ein besonders vielversprechender Aspekt der LITT liegt in der Kombination mit Immuntherapie. Die thermische Ablation führt nicht nur zur direkten Tumordestruktion, sondern induziert auch eine lokale Immunantwort und eine transiente Störung der Blut-Hirn-Schranken (18). Die Hitzeablation führt u. a. zur Freisetzung von tumorassozii-

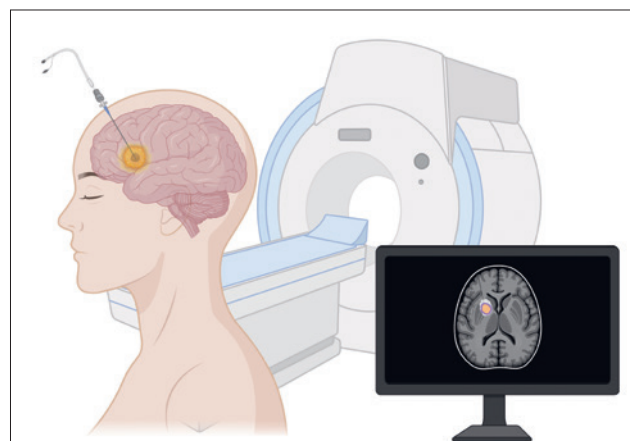


Abb. 1: Schematische Darstellung der Laser-induzierten interstitiellen Thermotherapie (LITT). Nach der Planung der stereotaktischen Trajektorie mittels Elements Stereotaxy Software (Brainlab AG, München) und Platzierung des Katheters wird der Patient in Vollnarkose in der MRT positioniert, wobei präinterventionell T1- und T2-FLAIR-Sequenzen als anatomische Referenzbilder akquiriert werden. Während der wenige Minuten dauernden Ablation erfolgt eine kontinuierliche Echtzeit-Temperaturüberwachung mit der Visualase-Software (Medtronic, Minneapolis), welche farbcodierte thermische Karten generiert und die berechnete Ablationszone (orange) auf die Referenzbilder überlagert. Die Ablation wird fortgesetzt, bis die kontrastmittelaufnehmenden Läsionsgrenzen oder das definierte Zielvolumen vollständig erfasst sind. Abschliessend dokumentiert eine MRT-Kontrolle den Ablationserfolg und schliesst Komplikationen aus, bevor der Laserkatheter entfernt und die Wunde verschlossen wird.

ierten Antigenen, die vom Immunsystem erkannt werden können. Gleichzeitig setzen Zellschäden sogenannte Damage-Associated Molecular Patterns frei, die als endogene Adjuvantien wirken. Aktuelle Studien zeigen vielversprechende Ergebnisse für die Kombination von LITT mit verschiedenen Immuntherapeutika (19). Beispielsweise wurde bei Patienten mit rezidivierenden Glioblastomen durch die Kombination von LITT mit dem PD-1-Inhibitor Pembrolizumab ein medianes Überleben von 26 Monaten erreicht, wobei diese vielversprechenden Ergebnisse auf einer kleinen Fallserie von lediglich 3 Patienten basieren (20). Die optimale Timing-Strategie zwischen LITT und Immuntherapie wird derzeit in grösseren klinischen Studien untersucht, wobei sowohl präoperative als auch postoperative Verabreichung erforscht wird.

LITT bei Hirnmetastasen

Mit einer jährlichen Inzidenz von etwa 10 pro 100 000 sind Hirnmetastasen bei Erwachsenen die häufigsten intrakraniellen Tumore und betreffen abhängig vom Primärtumor etwa 20–40 % aller Krebspatienten im Krankheitsverlauf. Die häufigsten Primärtumore sind Lungenkarzinome (60 %), gefolgt von Mammakarzinomen (17 %) und Melanomen (11 %). Während die stereotaktische Radiochirurgie und chirurgische Resektion etablierte lokale Therapieoptionen darstellen, bietet LITT seit einigen Jahren eine minimalinvasive therapeutische Alternative.

Für die Patientenselektion eignen sich insbesondere Patienten mit solitären oder oligometastatischen Läsionen in eloquenten Hirnarealen, bei denen eine offene Resektion mit erhöhtem perioperativem Risiko verbunden wäre. LITT stellt zudem eine wichtige Option bei rezidivierenden Metastasen nach vorangegangener Radiochirurgie dar, wenn das Toleranzvolumen ausgeschöpft oder die Zeitspanne für weitere Bestrahlung zu kurz ist. Die empfohlene Tumorgrosse liegt idealerweise unter 2.5 cm im Durchmesser. Bei Patienten mit gutem Allgemeinzustand (KPS $\geq$ 70) und kontrollierter systemischer Tumorlast zeigt LITT die besten Langzeitergebnisse. Bei Hirnmetastasen zeigt LITT in Studien eine durchschnittliche Ablationsrate von über 95 % (8) und lokale Kontrollraten von 60–100 %, abhängig von der Ablationsrate (21, 22). Die durchschnittliche Überlebenszeit von 6–20 Monaten legt nahe, dass die systemische Tumorkontrolle – ähnlich wie bei der stereotaktischen Radiochirurgie – der entscheidende prognostische Faktor für das Überleben von Patienten mit rezidivierenden Hirnmetastasen bleibt.

LITT bei Radionekrose

Die Behandlung der Radionekrose mittels LITT hat sich in den letzten Jahren als wichtige Alternative zum medikamentösen Management etabliert. Radionekrose bezeichnet eine strahleninduzierte Schädigung von Blutgefässen, Gliazellen und weisser Substanz mit pathologischer inflammatorischer Reaktion. Pathophysiologisch schädigt hoch dosierte Bestrahlung die Blut-Hirn-Schranke, was unter anderem zu Gewebhypoxie führt und damit zur Freisetzung des Vascular Endothelial Growth Factor (VEGF), welcher Gefässwachstum stimuliert und das Ödem wiederum verstärkt (21). Radiographisch zei-

gen sich typischerweise eine Signalerhöhung in der T2-FLAIR-Sequenz und ein von Kumar et al. beschriebenes «Swiss cheese»-Enhancement in den T1-Sequenzen (23). Sie tritt bei etwa 2–4 % der Patienten nach Ganzhirnbestrahlung, jedoch bei bis zu 10–25 % der Patienten nach stereotaktischer Radiochirurgie auf, typischerweise mehr als 6 Monate nach Behandlung (24, 25). Interessanterweise erhöht die Kombination von Strahlentherapie mit Immuntherapie das Risiko zusätzlich. Die Unterscheidung zwischen Radionekrose und Tumorprogress bleibt trotz fortgeschrittener Bildgebung herausfordernd, weshalb die Biopsie weiterhin den Goldstandard der Diagnostik darstellt.

Während Radionekrosen oft asymptomatisch verlaufen, können sie auch neurologische Symptome verursachen, die eine Therapie erfordern. Kortikosteroide wirken initial bei den meisten Patienten, jedoch entwickeln bis zu 70 % refraktäre Symptome. Der Anti-VEGF-Antikörper Bevacizumab zeigte in einer Metaanalyse bei 91 % eine klinische Verbesserung und somit eine Überlegenheit zu Kortikosteroiden, allerdings eine Rezidivrate von 34 % (26). LITT stellt eine neue, minimalinvasive Behandlungsoption der Radionekrose dar und bietet in selektierten Patientenkollektiven eine lokale Therapiealternative mit lang anhaltendem Effekt. Die prospektive Studie von Ahluwalia et al. zeigte, dass LITT unabhängig von totaler oder subtotaler Ablation eine nahezu 100%ige Läsionskontrolle und eine 6-Monats-Überlebensrate von über 80 % erreichte. Zusätzliche Vorteile umfassten die Stabilisierung des kognitiven und funktionellen Status sowie die Möglichkeit des Ausschleichens der Kortikosteroide bei einigen Patienten (27). Weitere klinische Erfahrungen bestätigen die Sicherheit und Wirksamkeit von LITT bei Radionekrose. Rammo et al. (2018) berichteten über Patienten mit biptisch gesicherter Radionekrose nach Behandlung von primären Hirntumoren und Metastasen, bei denen LITT gut toleriert wurde und die behandelten Läsionen nach sechs Monaten deutlich kleiner waren als initial (28). Die Methode wurde auch erfolgreich bei selteneren Indikationen wie symptomatischer Radionekrose nach Behandlung von arteriovenösen Malformationen eingesetzt (29). Ein direkter Vergleich zwischen LITT und Bevacizumab in einer aktuellen Metaanalyse mit knapp 550 Patienten zeigte eine statistisch signifikante Überlegenheit von Bevacizumab bei der symptomatischen Kontrolle, während radiologische Verbesserungen vergleichbare Ergebnisse aufwiesen (30). Die Rate an Steroid-Weaning war in der LITT-Gruppe höher als in der Bevacizumab-Gruppe (62.4 % vs. 45 %), jedoch war dieser Unterschied nicht statistisch signifikant (30).

Zusammenfassend bietet LITT den Vorteil einer biptischen Diagnosesicherung sowie tendenziell höhere Raten an Steroidfreiheit, wenn auch dieser Unterschied in der aktuellen Metaanalyse nicht signifikant war im Vergleich zu einer medikamentösen Therapie mit Bevacizumab. Die Methode stellt damit eine sinnvolle Behandlungsoption für Patienten dar, die nicht auf die medikamentöse Behandlung ansprechen oder bei denen eine Steroidreduktion angestrebt wird, beispielsweise vor einer geplanten Immuntherapie (Fallbeispiel in [Abb. 2](#)).

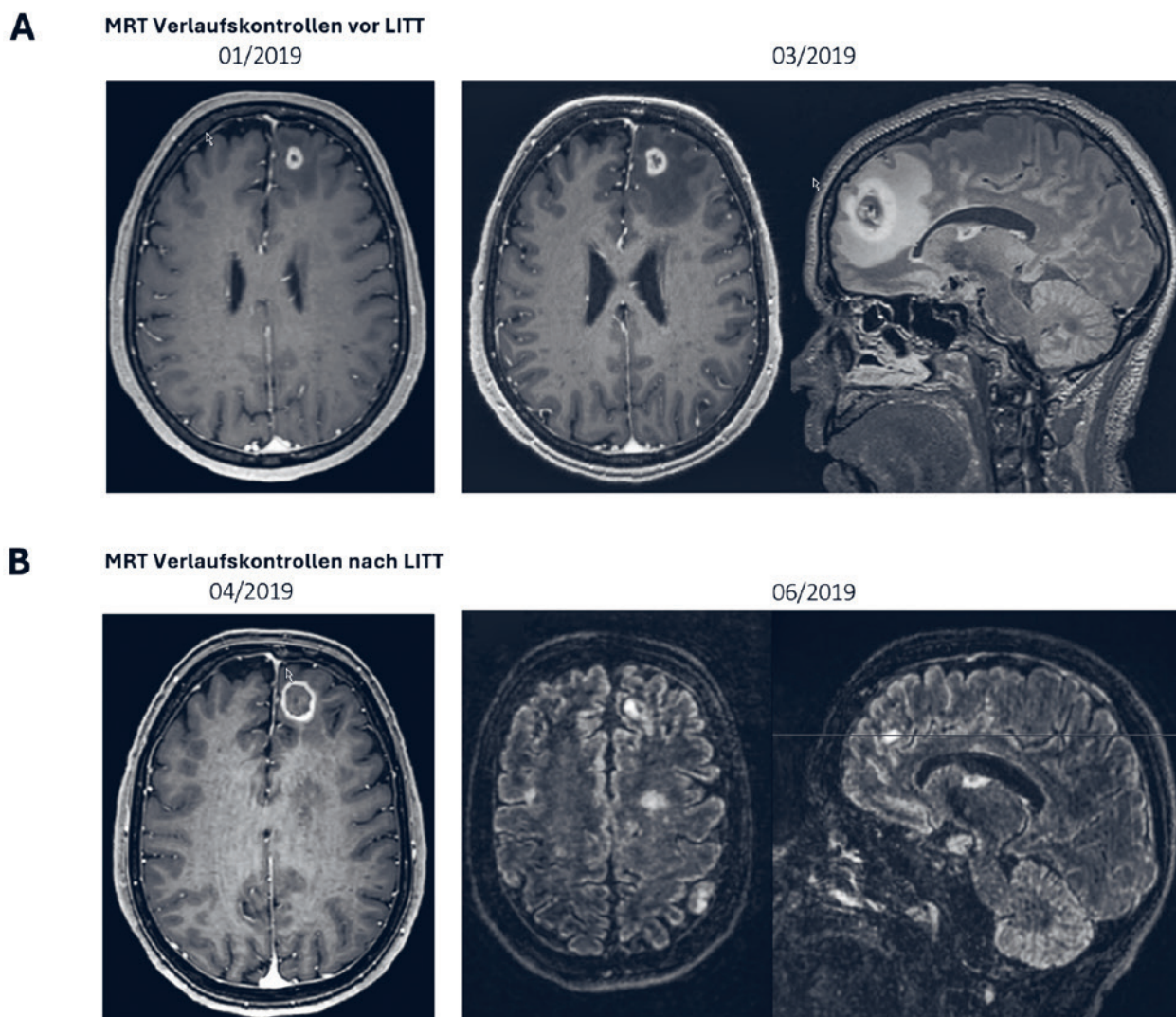


Abb. 2: MRT-Verlaufskontrollen einer 61-jährigen Patientin mit links frontaler Hirnmetastase eines pulmonalen Primärtumors nach Laser-induzierter interstitieller Thermotherapie (LITT). **Panel A** zeigt die präoperativen Verlaufskontrollen nach initialer stereotaktischer Radiotherapie (01/2019). Zwei Monate später (03/2019) zeigte sich ein ausgeprägtes perifokales Ödem und eine Größenprogredienz der Raumforderung, woraufhin eine Steroidtherapie initiiert und die interdisziplinäre Indikation zur LITT mit vorgängiger Biopsie gestellt wurde. Dargestellt sind axiale T1-gewichtete Aufnahmen mit Kontrastmittel sowie eine sagittale T2-Sequenz. **Panel B** dokumentiert den postoperativen Verlauf mit dem typischen peripheren Kontrastmittel-Enhancement und bereits deutlich regredienten Ödem nur vier Wochen nach der Laserablation (04/2019). Die Steroidtherapie konnte unmittelbar nach der Operation beendet werden. Das ausgeprägte Ödem ist in der Verlaufskontrolle vom Juni 2019 komplett rückläufig. Histologisch bestätigte sich eine Strahlennekrose. Dargestellt ist eine axiale T1-gewichtete Kontrastmittelaufnahme sowie axiale und sagittale FLAIR-Sequenzen (Juni 2019).

LITT in der Schweiz: Rahmenbedingungen und Finanzierung

Derzeit werden die zusätzlichen Materialkosten für solch einen Eingriff nicht gesondert vergütet. Da es sich um einen stationären Fall handelt, wird alles über das Standard-DRG für Ablationseingriffe abgerechnet, welches die hohen Kosten des Laserkatheters und erforderliche MRT-Blockierung für zwei Stunden (insgesamt Operationszeit circa 3–4 Stunden mit stereotaktischer Planung) nicht abdeckt. Die stationären Fälle in der OKP sind somit nicht kostendeckend und die Verwendung von LITT damit zurückhaltend bei den Kliniken in der Schweiz, trotz der deutlichen Vorteile im Krankenhausaufenthalt und dem günstigen Nebenwirkungsprofil für die Patienten. Um diese Diskrepanz zwischen Kosten und Vergütung für LITT zu beheben und die Verfügbarkeit dieser innovativen Therapie zu verbessern, läuft derzeit ein An-

tragsverfahren über das BAG und die FMH zur angemessenen Kostenberücksichtigung.

Bezüglich der erforderlichen Expertise wird empfohlen, dass ein Neurochirurg mit Expertise in der Stereotaxie mindestens 10 supervidierte LITT-Eingriffe durchführen sollte, bevor die Technik eigenständig angewendet wird. Basierend auf diesen Anforderungen und dem zu erwartenden Patientenvolumen sollte LITT nur an spezialisierten Zentren in der Schweiz angeboten werden, um eine adäquate Fallzahl pro Zentrum und damit die Aufrechterhaltung der chirurgischen Expertise zu gewährleisten.

Schlussfolgerung

Die Laser-interstitielle Thermotherapie repräsentiert eine wichtige Ergänzung des neurochirurgischen Instrumen-

tariums als minimalinvasive Ablationsmethode. Sie bietet für ausgewählte Pathologien und Patientengruppen eine wirksame Alternative zu konventionellen operativen Verfahren mit reduzierter Morbidität und deutlich kürzeren Krankenhausaufenthalten.

Die Hauptvorteile der LITT liegen in der minimalinvasiven Natur des Eingriffs, der Präzision der thermischen Ablation unter MRT-Kontrolle und der Möglichkeit, auch Patienten zu behandeln, die für konventionelle Operationen nicht geeignet sind. Besonders vielversprechend ist die Kombination mit Immuntherapie, die synergistische Effekte durch lokale Immunaktivierung und verbesserte Medikamentenpenetration zeigt.

Für den klinischen Alltag sind die sorgfältige Patientenselektion (gut umschriebene, sphärische oder längliche Läsionen <3 cm Durchmesser, tief liegende oder eloquente Lokalisation mit erhöhtem Risiko für offene Resektion, kontrollierte systemische Tumorlast bei Metastasen), die interdisziplinäre Indikationsstellung und die Expertise des Behandlungsteams entscheidend für den Erfolg der Therapie. Zukünftige Forschung wird sich auf die Optimierung der Kombinationstherapien, die Verbesserung der Patientenselektion und Langzeitergebnisse konzentrieren.

Prof. Dr. Oliver Bozinov

Chefarzt, Klinik für Neurochirurgie
HOCH Health Ostschweiz
Rorschacher Strasse 95
9000 St. Gallen, Schweiz
oliver.bozinov@h-och.ch

+ Interessenkonflikte

Die Autorenschaft hat keine Interessenkonflikte im Zusammenhang mit diesem Artikel deklariert.

DOI: <https://doi.org/10.23785/PRAXIS.2026.06.003>

Abkürzungen

LITT Laser-interstitielle Thermotherapie

VEGF Vascular Endothelial Growth Factor

Historie

Manuskript eingegangen: 20.11.2025

Angenommen nach Revision: 25.03.2026

Literatur

- Seaton MP, Schmidt JC, Brown NJ, Sahyouni R, Khalessi AA, Ben-Haim S, et al. Contemporary Applications of Laser Interstitial Thermal Therapy: A Comprehensive Systematic Review. *World Neurosurgery*. 2025 Jan;193:356–72.
- Desclides M, Ozenne V, Bour P, Fallier T, Machinet G, Pierre C, et al. Real-time automatic temperature regulation during in vivo MRT-guided laser-induced thermotherapy (MR-LITT). *Sci Rep*. 2023 Feb;13(1):3279.
- Nosova K, Quiceno E, Hussein A, Bozinov O, Nakaji P. History of Ablation Therapies in Neurosurgery. *Neurosurgery Clinics of North America*. 2023 Apr;34(2):193–8.
- Nielsen SH, Skjæth-Rasmussen J, Moldrup SD, Engelmann CM, Jespersen B, Rasmussen R. Awake Laser Ablation with Continuous Neuropsychological Testing During Treatment of Brain Tumors and Epilepsy. *Neurosurgery Clinics of North America*. 2023 Apr;34(2):239–45.
- Sanvito F, Telesca D, Cho NS, Sayari JT, Nagaraj R, Raymond C, et al. Small pretreatment lesion size and high sphericity as favorable prognostic factors after laser interstitial thermal therapy in brain metastases. *Journal of Neurosurgery*. 2024 Feb 1;140(2):338–49.
- Beaumont TL, Mohammadi AM, Kim AH, Barnett GH, Leuthardt EC. Magnetic Resonance Imaging-Guided Laser Interstitial Thermal Therapy for Glioblastoma of the Corpus Callosum. *Neurosurgery*. 2018 Sep;83(3):556–65.
- Hoyningen A, Koster KL, Neidert MC, Bozinov O, Lauber A, Kim OCH, et al. Laser Interstitial Thermal Therapy in a Large Thalamic Glioma with Long-Term Remission: A Case Report. *Oncol Res Treat*. 2024;47(1–2):42–8.
- Weller M, Wen PY, Chang SM, Dirven L, Lim M, Monje M, et al. Glioma. *Nat Rev Dis Primers*. 2024 May 9;10(1):33.
- Patel P, Patel NV, Danish SF. Intracranial MR-guided laser-induced thermal therapy: single-center experience with the Visualase thermal therapy system. *JNS*. 2016 Oct;125(4):853–60.
- Leonardi MA, Lumenta CB. Stereotactic Guided Laser-Induced Interstitial Thermotherapy (SLITT) in Gliomas with Intraoperative Morphologic Monitoring in an Open MR: Clinical Experience. *Minim Invasive Neurosurg*. 2002 Dec;45(4):201–7. Available from: <http://www.thieme-connect.de/DOI/DOI?10.1055/s-2002-36203>
- Strauss I, Gabay S, Roth J. Laser interstitial thermal therapy (LITT) for pediatric low-grade glioma—case presentations and lessons learned. *Childs Nerv Syst*. 2024 Oct;40(10):3119–27.
- Stupp R, Mason WP, van den Bent MJ, Weller M, Fisher B, Taphoorn MJB, et al. Radiotherapy plus concomitant and adjuvant temozolomide for glioblastoma. *N Engl J Med*. 2005 Mar 10;352(10):987–96.
- Stupp R, Taillibert S, Kanner A, Read W, Steinberg DM, Lhermitte B, et al. Effect of Tumor-Treating Fields Plus Maintenance Temozolomide vs Maintenance Temozolomide Alone on Survival in Patients With Glioblastoma: A Randomized Clinical Trial. *JAMA*. 2017 Dec 19;318(23):2306.
- Seaton MP, Schmidt JC, Brown NJ, Sahyouni R, Khalessi AA, Ben-Haim S, et al. Contemporary Applications of Laser Interstitial Thermal Therapy: A Comprehensive Systematic Review. *World Neurosurgery*. 2025 Jan;193:356–72.
- De Groot JF, Kim AH, Prabhu S, Rao G, Laxton AW, Fecci PE, et al. Efficacy of laser interstitial thermal therapy (LITT) for newly diagnosed and recurrent IDH wild-type glioblastoma. *Neuro-Oncology Advances*. 2022 Jan 1;4(1):vdac040.
- Montemurro N, Anania Y, Cagnazzo F, Perrini P. Survival outcomes in patients with recurrent glioblastoma treated with Laser Interstitial Thermal Therapy (LITT): A systematic review. *Clinical Neurology and Neurosurgery*. 2020 Aug;195:105942.
- Kamath AA, Friedman DD, Akbari SHA, Kim AH, Tao Y, Luo J, et al. Glioblastoma Treated With Magnetic Resonance Imaging-Guided Laser Interstitial Thermal Therapy: Safety, Efficacy, and Outcomes. *Neurosurg*. 2019 Apr ;84(4):836–43.
- Lerner EC, Edwards RM, Wilkinson DS, Fecci PE. Laser ablation: Heating up the anti-tumor response in the intracranial compartment. *Advanced Drug Delivery Reviews*. 2022 June;185:114311.
- Sharma E, Sahin OK, Łajczak P, Rajab N, Ahmed AR, Silva YP, et al. Synergistic effects of laser interstitial thermal therapy (LITT) and immunotherapy for brain tumor recurrence: A systematic review and meta-analysis. *Neurochirurgie*. 2025 Mar;71(2):101629.
- Hwang H, Huang J, Khaddour K, Butt OH, Ansstas G, Chen J, et al. Prolonged response of recurrent IDH -wild-type glioblastoma to laser interstitial thermal therapy with pembrolizumab. *CNS Oncol*. 2022 Mar 31;11(1):CNS81.
- Ali FS, Arevalo O, Zorofchian S, Patrizzi A, Riascos R, Tandon N, et al. Cerebral Radiation Necrosis: Incidence, Pathogenesis, Diagnostic Challenges, and Future Opportunities. *Curr Oncol Rep*. 2019 Aug [cited 2025 Oct 25];21(8):66.
- Carpentier A, McNichols RJ, Stafford RJ, Guichard J, Reizine D, Delaloge S, et al. Laser thermal therapy: Real-time MRT-guided and computer-controlled procedures for metastatic brain tumors. *Lasers Surg Med*. 2011 Dec [cited 2025 Nov 17];43(10):943–50.
- Kumar AJ, Leeds NE, Fuller GN, Van Tassel P, Maor MH, Sawaya RE, et al. Malignant Gliomas: MR Imaging Spectrum of Radiation Therapy- and Chemotherapy-induced Necrosis of the Brain after Treatment. *Radiology*. 2000 Nov;217(2):377–84.
- Kohutek ZA, Yamada Y, Chan TA, Brennan CW, Tabar V, Gutin PH, et al. Long-term risk of radionecrosis and imaging changes after stereotactic radiosurgery for brain metastases. *J Neurooncol*. 2015 Oct;125(1):149–56.
- Walker HB, Casey K, Ricci S, Kanuparthi P, Ziehmman R, Miyamoto C, et al. A Systematic Review and Meta-Analysis of Radiation Necrosis Incidence in Brain Metastasis Treated by Gamma Knife and CyberKnife Stereotactic Radiosurgery. *World Neurosurgery*. 2025 Oct;202:124390.
- Liao G, Khan M, Zhao Z, Arooj S, Yan M, Li X. Bevacizumab Treatment of Radiation-Induced Brain Necrosis: A Systematic Review. *Front Oncol*. 2021 Mar 25;11:593449.
- Ahluwalia M, Barnett GH, Deng D, Tatter SB, Laxton AW, Mohammadi AM, et al. Laser ablation after stereotactic radiosurgery: a multicenter prospective study in patients with metastatic brain tumors and radiation necrosis. *Journal of Neurosurgery*. 2019 Mar;130(3):804–11.
- Rammo R, Asmaro K, Schultz L, Scarpace L, Siddiqui S, Walbert T, et al. The safety of magnetic resonance imaging-guided laser interstitial thermal therapy for cerebral radiation necrosis. *J Neurooncol*. 2018 July;138(3):609–17.
- Hong CS, Cord BJ, Kundishora AJ, Elsamadicy AA, Beckta JM, Huttner A, et al. MRT-Guided Laser Interstitial Thermal Therapy for Radiation Necrosis in Previously Irradiated Brain Arteriovenous Malformations. *Practical Radiation Oncology*. 2020 July;10(4):e298–303.
- Gecici NN, Gurses ME, Kaye B, Jimenez NLF, Berke C, Gökalp E, et al. Comparative analysis of bevacizumab and LITT for treating radiation necrosis in previously irradiated CNS neoplasms: a systematic review and meta-analysis. *J Neurooncol*. 2024 May;168(1):1–11.