

Journal für

Neurologie, Neurochirurgie und Psychiatrie

www.kup.at/
JNeurolNeurochirPsychiatr

Zeitschrift für Erkrankungen des Nervensystems

**Premiere in der österreichischen
Neurochirurgie:**

**Magnetresonanztomographisch
gesteuerte laserinduzierte
interstitielle Thermotherapie
(LITT) // Magnetic resonance
imaging-guided laser-induced
interstitial thermotherapy (LITT)**

Herta J, Tomschik M, Dorfer C
Rössler K

Journal für Neurologie

Neurochirurgie und Psychiatrie

2021; 22 (1), 12-16

Homepage:

www.kup.at/

JNeurolNeurochirPsychiatr

Online-Datenbank
mit Autoren-
und Stichwortsuche

Indexed in
EMBASE/Excerpta Medica/BIOBASE/SCOPUS

Krause & Pachernegg GmbH • Verlag für Medizin und Wirtschaft • A-3003 Gablitz

P.b.b. 02Z031117M,

Verlagsort: 3003 Gablitz, Linzerstraße 177A/21

Preis: EUR 10,-

77. Jahrestagung

Deutsche Gesellschaft für Neurochirurgie



2026
7.–10. Juni
AACHEN

Personalisierte Neurochirurgie – digital, kompetent, vernetzt

dgnc-kongress.de

Joint Meeting with the Belgian Society and the Dutch
Society of Neurosurgery and Neurosurgeons of Luxembourg

*Werfen Sie einen
Blick ins Programm!*



*Registrieren
Sie sich jetzt!*



Premiere in der österreichischen Neurochirurgie: Magnetresonanztomographisch gesteuerte laserinduzierte interstitielle Thermotherapie (LITT)

J. Herta, M. Tomschik, C. Dorfer, K. Rössler

Kurzfassung: Die Magnetresonanztomographie- (MRT-) gesteuerte laserinduzierte interstitielle Thermotherapie (LITT) ist ein minimal invasives Verfahren, bei dem mittels einer lokal eingebrachten Laserfaser eine räumlich selektive Gewebsablation erzeugt wird. Obwohl ablativ Eingriffe von ZNS-Läsionen bereits seit Jahrzehnten durchgeführt werden, haben erst aktuelle Weiterentwicklungen im Bereich der Bildgebung eine Echtzeit-Überwachung der thermisch eingebrachten Energie ermöglicht. Dadurch wird eine kontrollierte Behandlung von einer Vielzahl an ZNS-Erkrankungen, wie z. B. von Gliomen, Hirnmetastasen, Strahlennekrosen, aber auch bei bestimmten Formen der Epilepsie möglich.

Durch die geringe Invasivität und Morbidität der LITT stellt sie bei Patienten, die keinen of-

fenen chirurgischen Eingriff tolerieren würden, aber auch bei Patienten mit tief und schwer zugänglichen Läsionen, eine erfolgsversprechende Alternative zur offenen Hirnchirurgie dar.

Schlüsselwörter: Laserinduzierte Thermotherapie, Epilepsiechirurgie, Gliomchirurgie, Ablation

Abstract: Magnetic resonance imaging-guided laser-induced interstitial thermotherapy (LITT). Magnetic resonance imaging-guided laser-induced interstitial thermotherapy (LITT) is a minimally invasive procedure in which a locally introduced laser fiber is used to produce a selective tissue ablation. Although ablative

interventions on CNS lesions have been carried out for decades, only recent developments in the field of imaging have enabled real-time monitoring of the emitted thermal energy. This enables the controlled treatment of a large number of CNS diseases such as gliomas, brain metastases, radiation necrosis, but also certain forms of epilepsy.

Due to the low invasiveness and morbidity of LITT, it represents a promising alternative to open brain surgery in patients who would not tolerate an open surgical intervention but also in patients with deep and difficult to access lesions. **J Neurol Neurochir Psychiatrie 2021; 22 (1): 12–6,**

Keywords: laser-induced interstitial thermotherapy, epilepsy surgery, glioma surgery, ablation

Abkürzungsverzeichnis

MRT:	Magnetresonanztomographie
LITT:	laserinduzierte interstitielle Thermotherapie
Nd:YAG:	Neodym-dotierter Yttrium-Aluminium-Granat-Laser

■ Einleitung

Bei der Magnetresonanztomographie- (MRT-) gezielten laserinduzierten interstitiellen Thermotherapie (LITT) kann mittels einer lokal in das Gehirn eingebrachten Laserfaser eine selektive Thermoablation einer Läsion oder von Gewebe durchgeführt werden [1].

Die Verwendung von Lasern in der Neurochirurgie ist nicht neu. Bereits 1966 wurde erstmals ein Hirntumor am Menschen mit einem gepulsten Rubinlaser inkomplett thermokoaguliert [2]. Diese erste Beschreibung zeigte die Machbarkeit des Eingriffs neben einer Reihe von Problemen auf: 1) die Schwierigkeit einer gezielten Laserpositionierung, 2) eine explosive Gewebsinteraktion durch die unkontrollierte Freisetzung der Laserenergie und 3) die fehlende Kontrolle und Überwachung der abgegebenen thermischen Energie.

Die heute zur klinischen Anwendung zugelassenen LITT-Systeme Visualase™ (Medtronic) und NeuroBlate™ (Monteris Medical Inc.) meistern all diese Problemstellungen. Die Laserfaser wird

nach präoperativer Bildgebung und Planung navigationsgestützt in das zu ablatierende Gewebe eingebracht. Anschließend wird die Laserenergie kontinuierlich über einen Neodym-dotierten Yttrium-Aluminium-Granat-Laser (Nd:YAG) mit einer Wellenlänge von 980 nm oder 1064 nm abgegeben. Die Eindringtiefe des Lasers in das Gewebe entspricht 2 bis 10 mm [3]. Das Laserlicht wird dabei vom Gewebe absorbiert und in thermische Energie umgewandelt. Bei Temperaturen zwischen 50 °C und 80 °C kommt es zur Denaturierung von Proteinen und zum Gewebsschaden [4]. Die Größe der Läsion hängt von der zugeführten Temperatur und der Ablationszeit ab. Auf Basis der Arrhenius-Gleichung kann nun eine thermische „Schadenskarte“ im MRT visualisiert werden [4–6].

■ LITT-Technik

Planung

Für die Eingriffsplanung wird eine Computertomographie wie auch eine MRT mit zumindest T1-gewichteten Sequenzen mit und ohne Kontrastmittel benötigt. Dies ermöglicht dem Neurochirurgen die korrekte und sichere Trajektplanung der zu implantierenden Laserfaser. Am AKH Wien werden die MRT-Bilder bereits in Narkose im intraoperativen MRT durchgeführt. Die Bilder werden an eine Navigationssoftware geschickt und der Eintrittspunkt wie auch der Zielpunkt der Lasersonde bestimmt (Abbildung 1A). Dies erfolgt unter besonderer Berücksichtigung der Knochendicke, der Gefäßanatomie wie auch der Sulcusarchitektur, um potentielle Komplikationen zu vermeiden. Der Eintrittswinkel der Sonde sollte hier 30° nicht überschreiten, um eine stabile Implantation des Knochenankers gewährleisten zu können.

Implantation

An der Neurochirurgie am AKH Wien kommt das Visualase™-System von Medtronic zur Anwendung (Abbildung 1C). In

Eingelangt am 05.02.2021, angenommen am 11.02.2021

Aus der Universitätsklinik für Neurochirurgie, Medizinische Universität Wien

Korrespondenzadresse: DDr. Johannes Bernd Herta, Universitätsklinik für Neurochirurgie, Medizinische Universität Wien, AKH-Wien, A-1090 Wien, Währinger Gürtel 18–20, E-Mail: johannes.herta@meduniwien.ac.at

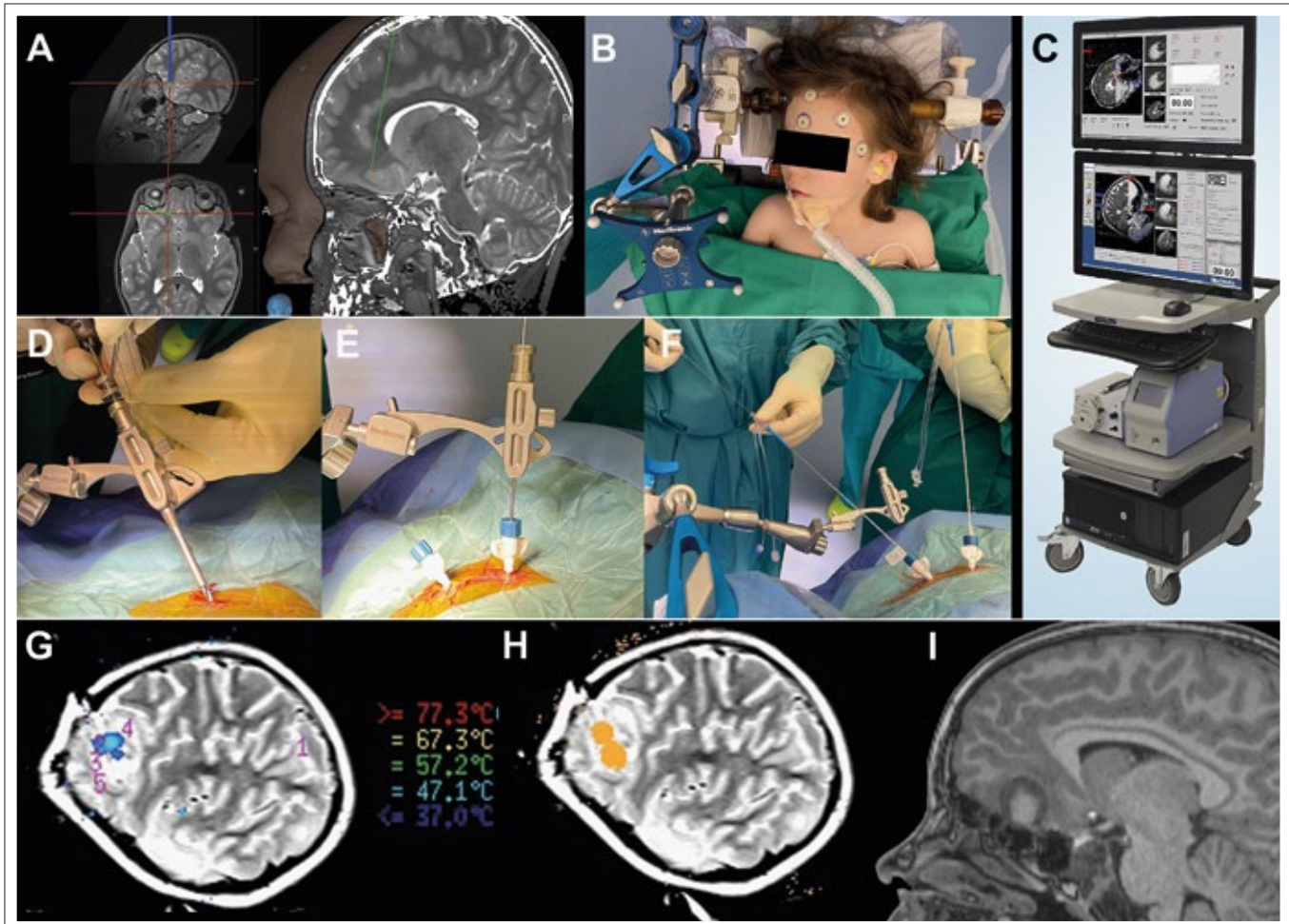


Abbildung 1: Technik und Ablauf der Laser induzierten interstitiellen Thermotherapie (Beschreibung siehe Abschnitt: LITT-Technik)

einem ersten Schritt wird nach dem Referenzieren der MRT-Bilder (Abbildung 1B) mittels Navigationsarm das geplante Trajekt eingestellt. Ist der Eintrittspunkt bestimmt, erfolgt ein kleiner Hautschnitt und das Anlegen eines über den Navigationsarm geführten und 3,2 mm messenden Drillbohrlochs (Abbildung 1D).

Nach monopolarer Koagulation der harten Hirnhaut wird ein Knochanker (Abbildung 1E) befestigt. Über diesen kann nun der 1,65 mm dünne Laser-Applikator mitsamt Laserfaser (Abbildung 1F) eingeführt und befestigt werden. Sollten mehrere Trajekte geplant worden sein, wiederholt sich dieser Schritt für jedes geplante Trajekt.

Laserablation

Nun erfolgt der Transfer in das intraoperative MRT. Bevor mit der Ablation begonnen werden kann, sollten diagnostische MRT-Bilder zur korrekten Lageüberprüfung der Laserfaser durchgeführt werden. Weiters wird eine T1-gewichtete oder eine FLAIR-Sequenz aufgenommen. Sie dient als anatomisches Referenzbild und Hintergrundbild für die Überlagerung mit den sich alle 6 Sekunden aktualisierenden Echtzeit-Wärmekarten (Abbildung 1G) erzeugt. Mit Hilfe der Arrhe-

nius-Gleichung wird auf Grundlage der Ablationszeit und der Temperatur vom Computer eine „Schadenskarte“ (Abbildung 1H) erstellt und über das Referenzbild projiziert. Ein Zurückziehen der Laserfaser ist zu jeder Zeit möglich. Damit können mehrere Läsionen im Verlauf des geplanten Trajekts gesetzt werden.

Eingriffsende
Ist die erwünschte Ablationsgröße erreicht, wird eine Post-LITT-Subtraktionssequenz durchgeführt, um den Ablationsumfang beurteilen zu können.

Anschließend wird die Lasersonde samt Knochanker entfernt und die Wunde mit einer Hautnaht verschlossen.

Postoperatives MRT

Die postoperative MRT-Untersuchung weist unmittelbar bis 3 Monate nach dem Eingriff eine charakteristische Verteilung mit einer zentralen Nekrosezone (T1 hyperintens, T2 hypointens) und einer peripheren nekrotisierenden Ödemzone (T1 hypointens, T2 hyperintens) auf (Abbildung 1I) [7, 8]. Um die periphere Ödemzone herum zeigt sich in den unmittelbar postoperativen MRT-Bildern ein dünner Kontrastmittel aufnehmender Randsaum, der das ablatierte Totalvolumen definiert (Abbildung 2F*). Das bestehende periläsionale Ödem zeigt sich im Laufe von zwei bis neun Wochen reversibel [9].

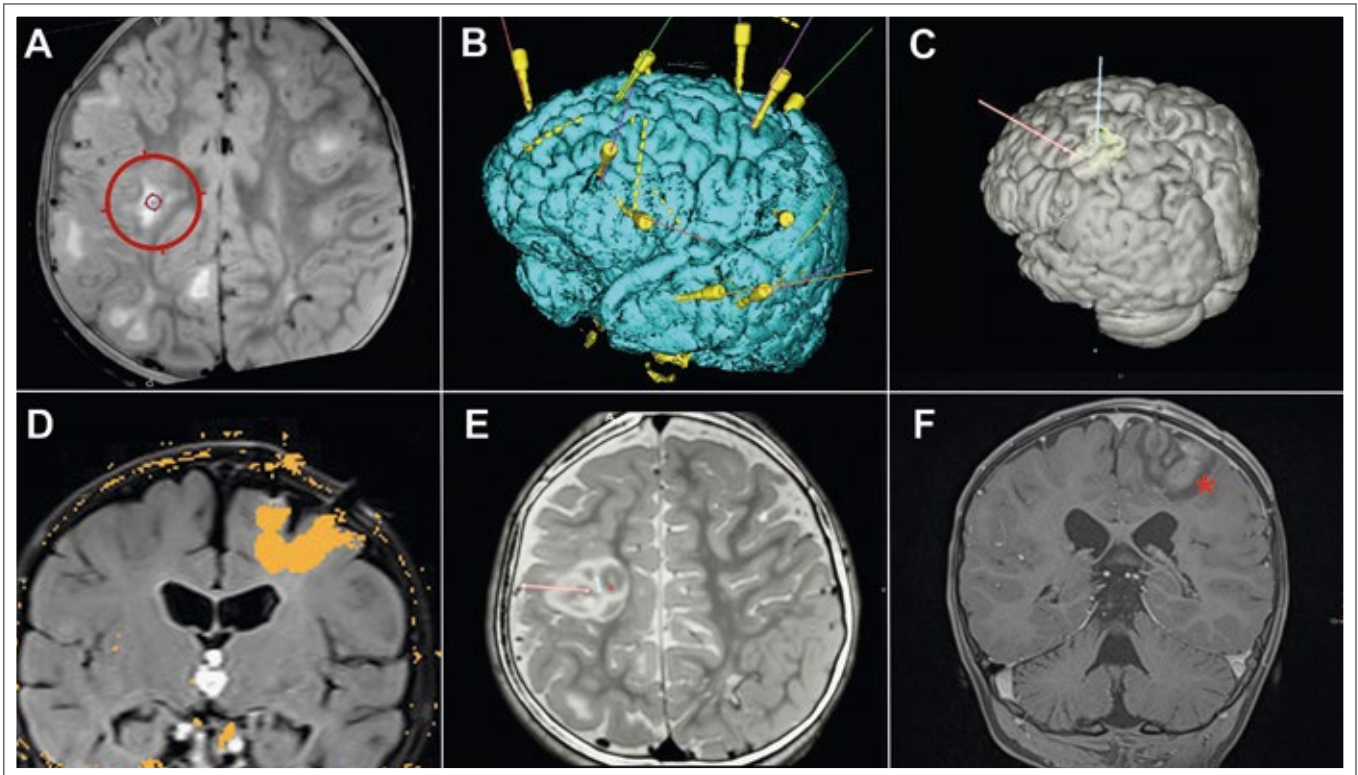


Abbildung 2: Fallbeispiel einer 6 Jahre alten Patientin mit therapierefraktärer Epilepsie auf der Basis einer tuberösen Sklerose. **2A:** In der zerebralen Bildgebung zeigten sich multiple supratentorielle, bihemisphärische kortikale Tubera. Der Anfalls-Onset konnte im Video-EEG-Monitoring lediglich auf die linke Hemisphäre begrenzt werden. **2B:** Im Phase-II-Monitoring mit Tiefenelektroden konnte der Anfallsursprung auf einen links-frontozentral gelegenen Tuber eingegrenzt werden. **2C:** Nach der Planung zweier Trajekte wurde die LITT erfolgreich durchgeführt. **2D:** Die ausreichende Läsionsgröße des frontozentralen Tubers wird intraoperativ mittels „Schadenskarte“ visualisiert. **2E:** In den T2-gewichteten Sequenzen zeigt sich nach dem Eingriff die zentrale Nekrosezone hypointens und die nekrotisierende Ödemzone hyperintens. **2F:** In den T1-gewichteten Sequenzen mit Kontrastmittel zeigt sich ein dünner Randsaum um die Läsion (2F*). Dieser definiert das ablatierte Totalvolumen.

■ Anwendungsgebiete und Erfolgsraten

Die Indikationen der LITT sind vielfältig, doch besteht zur Zeit noch ein Mangel an größeren Studien. Während in kleinen Fallserien die Durchführbarkeit und Sicherheit der Technik gezeigt werden konnte, fehlen zur Zeit noch Daten, die einen Überlebensvorteil der Methode im Vergleich mit herkömmlichen Therapien belegen.

Die häufigste Anwendung der LITT fand bisher bei Patienten mit Glioblastomrezidiv statt. Hier liegt es nahe, kleinere tiefliegende Prozesse zu behandeln, die durch die herkömmliche chirurgische Therapie nur schwer zugänglich und/oder mit einer zu hohen Morbidität vergesellschaftet sind [10]. Die mittlere Überlebenszeit der so behandelten Patienten lag zwischen 5,2 und 20,9 Monaten [11–13].

Nach einer zerebralen Bestrahlung kann es oft Monate bis Jahre nach der Therapie zu einer manchmal auch progredienten Strahlennekrose kommen [14]. Ist die Strahlennekrose refraktär gegenüber einer Behandlung mit Kortikosteroiden, so ist eine chirurgische Sanierung indiziert. Bei tief liegenden und schwer erreichbaren Nekrosen könnte die LITT in Zukunft eine Rolle spielen. Zur Zeit existieren vor allem Fallberichte, welche einen positiven Effekt der LITT zeigen konnten, jedoch die Diagnose der Strahlennekrose rein radiologisch stellten [15, 16]. In einer retrospektiven Kohorte von 20 Patienten mit histologisch verifizierter Strahlennekrose konnte die Wichtigkeit der radikalen, ausgedehnten Ablation gezeigt werden. Hier

fand sich ein signifikant längeres progressionsfreies Überleben wie auch eine signifikant längere mittlere Überlebenszeit der Patienten gegenüber der subtotalen Ablation [17].

Eine weitere Indikation ist die Behandlung von wiederkehrenden oder therapieresistenten Hirnmetastasen. In einem Review von Banerjee et al. konnte jedoch für Patienten mit zerebralen Lungen- oder Brustkrebsmetastasen kein Überlebensvorteil zur herkömmlichen Therapie gezeigt werden [13]. Nach LITT kam es zu einer medianen Überlebenszeit zwischen 9 und 19,8 Monaten, während diese nach Ganzhirnbestrahlung oder stereotaktischer Radiochirurgie zwischen 7 und 28,6 Monaten lag.

Die Laserablation wurde bereits häufig in der Epilepsiechirurgie eingesetzt, um einen epileptogenen Fokus zu veröden oder um Diskonnektionen durchzuführen. So zeigte sich z. B. bei Patienten mit mesialer Temporallappenepilepsie nach LITT in 53 % bis 62 % aller Fälle eine Remission von beeinträchtigenden epileptischen Anfällen [18–21]. Somit stellt durch die geringere Rate an erzielter Anfallsfreiheit die anteromesiale Temporallappenresektion weiterhin den Goldstandard in der Behandlung der Temporallappenepilepsie dar [22]. Durch die geringe Invasivität der LITT ist diese aber eine gute Alternative bei Patienten, welche eine offene Operation scheuen. Ein weiterer Vorteil der LITT könnte in einem besseren neuropsychologischen Outcome liegen. In einer kleinen Serie von 26 Patienten mit mesialer Temporallappenepilepsie (14 dominant) konnte 6 bis 12 Monate nach LITT bei der Mehrzahl der

Patienten eine signifikante Verbesserung von Gedächtnis- und Lernleistung wie auch in der exekutiven Funktion nachgewiesen werden [23]. Weitere Untersuchungen sind hier notwendig, um endgültige Aussagen treffen zu können.

Neben der Temporallappenepilepsie gibt es aber auch weitere Anwendungsgebiete in der Epilepsiechirurgie. Bei therapieresistanter Epilepsie auf Basis der tuberösen Sklerose konnte die gezielte kortikale Tuberablation bei 71,4 % aller Patienten eine bedeutende Reduktion der Anfälle erzielen (Abbildung 2) [24]. Bei Sturzanfällen wurde bei zehn Patienten die LITT verwendet, um eine Kallosotomie durchzuführen. Hier zeigte sich neben einem kurzen medianen Krankenhausaufenthalt von zwei Tagen ein ähnlicher funktioneller Outcome wie bei der offenen Kallosotomie [25].

Komplikationen treten im Vergleich mit der offenen Schädelchirurgie selten auf. In einer Fallserie von 102 mit LITT behandelten Patienten kam es aufgrund eines refraktären postoperativen Ödems zu einem therapieassoziierten Todesfall [26]. Um dies zu vermeiden, wird empfohlen, nur Läsionen unter drei Zentimeter pro Eingriff zu behandeln [27]. Andere Risiken, wie iatrogene Blutungen oder thermische Schädigung von eloquenten Arealen, können durch eine präzise und kompetente Trajektplanung stark reduziert werden. Aufgrund der minimalen Invasivität und Sicherheit des Eingriffs stellt die LITT auch bei geriatrischen Patienten eine sehr komplikationsarme Behandlungsmethode dar [28].

Fallbeispiel (Abbildung 2)

Bei der sechs Jahre jungen Patientin bestand seit dem 15. Lebensmonat eine therapieresistente Epilepsie auf der Basis einer tuberösen Sklerose mit Mutation im *TSC2*-Gen. Die Anfälle äußerten sich mit Fausten und Beugen der rechten Oberextremität, anschließend Augenblinzeln und Tonusverlust des ganzen Körpers. Bei einer Anfallsfrequenz von 5–8 Anfällen pro Tag wurden zahlreiche Antiepileptika wie auch eine ketogene Diät versucht. Darunter kam es bei der schon einzelne Wörter sprechenden Patientin zu einer kompletten Regression der Sprachentwicklung. Weiters wies die Patientin ein selbstverletzendes Verhalten auf. Im neurologischen Status bestand eine distal betonte rechtsseitige Parese der Oberextremität.

In der zerebralen Bildgebung zeigten sich multiple supratentorielle, bihemisphärische kortikale Tubera (Abb. 2A). Im Video-EEG-Monitoring konnte der Anfalls-Onset lediglich auf die linke Hemisphäre begrenzt werden. Im Phase-II-Monitoring mit Tiefenelektroden (Abb. 2B) zeigte sich ein gut lokalisierbarer, links frontozentraler Anfallsursprung. Somit wurde die Indikation zur LITT gestellt.

Über zwei Trajekte (Abb. 2C) konnte eine ausreichende Ablation (Abb. 2D, errechnete intraoperative Läsionsdarstellung) des frontozentralen Tubers erreicht werden (Abb. 2E u. 2F).

Klinisch präsentierte sich die Patientin postoperativ mit einer leichten Zunahme der vorbestehenden Parese. Anfälle traten bis zum Zeitpunkt der Entlassung und unter unveränderter antiepileptischer Therapie keine auf.

Ausblick

Die LITT stellt eine minimal invasive, komplikationsarme Alternative zur offenen Gehirnochirurgie dar. Dies gilt vor allem bei tief liegenden, schwer zugänglichen Läsionen oder nach dem Scheitern von standardmäßig durchgeführten Behandlungsoptionen. Prospektive randomisierte Studien, die einen Überlebensvorteil der LITT gegenüber herkömmlichen Therapiemethoden aufzeigen, sind zur Zeit noch nicht vorhanden. Technologische Weiterentwicklungen der LITT durch z. B. das Einbringen von Nanopartikeln zur Thermosensitivierung von Tumorgewebe könnten diese Technik in Zukunft noch effektiver machen [29]. Durch die von der Gewebsablation ausgelösten und mehrere Tage andauernden Störung der Blut-Hirn- wie auch Blut-Tumor-Schranke könnten neue onkologische Therapieansätze entstehen und das Anwendungsgebiet der LITT erweitern [30, 31].

Relevanz für die Praxis

- Die LITT stellt eine minimal invasive Therapie bei tief gelegenen, chirurgisch schwer erreichbaren Läsionen wie z. B. Tumoren dar.
- Die LITT ermöglicht häufig eine chirurgische Alternative in der Epilepsiechirurgie bei Patienten, die eine offene Operation ablehnen.
- Die LITT zeigt gute Behandlungserfolge bei progredienter therapieresistenter Strahlennekrose.
- Die LITT könnte in Zukunft als Kombinationstherapie in der Onkologie eingesetzt werden, um die ZNS-Gängigkeit von Chemotherapeutika zu ermöglichen.

DDr. Johannes Bernd Herta



Promotion an der Medizinischen Universität Wien 2011, Doktoratsstudium Clinical Neurosciences bis 2018.

Seit 2018 Facharzt für Neurochirurgie, seit 2020 Oberarzt der Univ.-Klinik für Neurochirurgie der Medizinischen Universität Wien.

Interessenkonflikte

Bei keinem der Autoren besteht ein Interessenkonflikt.

Literatur:

1. Norred SE, Johnson JA. Magnetic resonance-guided laser induced thermal therapy for glioblastoma multiforme: a review. *Biomed Res Int* 2014; 2014: 761312.
2. Rosomoff HL, Carroll F. Reaction of neoplasm and brain to laser. *Arch Neurol* 1966; 14: 143–8.
3. Mensel B, Weigel C, Hosten N. Laser-induced thermotherapy. *Recent Results Cancer Res* 2006; 167: 69–75.
4. Rieke V, Butts Pauly K. MR thermometry. *J Magn Reson Imaging* 2008; 27: 376–90.
5. McNichols RJ et al. MR thermometry-based feedback control of laser interstitial thermal therapy at 980 nm. *Lasers Surg Med* 2004; 34: 48–55.
6. McNichols RJ et al. Technical developments for cerebral thermal treatment: water-cooled diffusing laser fibre tips and temperature-sensitive MRI using intersecting image planes. *Int J Hyperthermia* 2004; 20: 45–56.
7. Tracz RA et al. Magnetic resonance imaging of interstitial laser photocoagulation in brain. *Lasers Surg Med* 1992; 12: 165–73.
8. Schober R et al. Fine structure of zonal changes in experimental Nd:YAG laser-induced interstitial hyperthermia. *Lasers Surg Med* 1993; 13: 234–41.
9. Kahn T et al. MRI-guided laser-induced interstitial thermotherapy of cerebral neoplasms. *J Comput Assist Tomogr* 1994; 18: 519–32.

10. Murayi R et al. Laser Interstitial Thermal Therapy in the Treatment of Thalamic Brain Tumors: A Case Series. *Oper Neurosurg* (Hagerstown) 2020; opaa206 [online ahead of print].
11. Schwarzmaier HJ et al. MR-guided laser-induced interstitial thermotherapy of recurrent glioblastoma multiforme: preliminary results in 16 patients. *Eur J Radiol* 2006; 59: 208–15.
12. Carpentier A et al. MR-guided laser-induced thermal therapy (LITT) for recurrent glioblastomas. *Lasers Surg Med* 2012; 44: 361–8.
13. Banerjee C et al. The role of magnetic resonance-guided laser ablation in neuro-oncology. *Br J Neurosurg* 2015; 29: 192–6.
14. Loganadane G et al. Brain radiation necrosis: current management with a focus on non-small cell lung cancer patients. *Front Oncol* 2018; 8: 336.
15. Rahmathulla G et al. Laser interstitial thermal therapy for focal cerebral radiation necrosis: a case report and literature review. *Stereotact Funct Neurosurg* 2012; 90: 192–200.
16. Torres-Reveron J et al. Stereotactic laser induced thermotherapy (LITT): a novel treatment for brain lesions regrowing after radiosurgery. *J Neurooncol* 2013; 113: 495–503.
17. Luther E et al. Radical laser interstitial thermal therapy ablation volumes increase progression-free survival in biopsy-proven radiation necrosis. *World Neurosurg* 2020; 136: e646–e659.
18. Willie JT et al. Real-time magnetic resonance-guided stereotactic laser amygdalohippocampotomy for mesial temporal lobe epilepsy. *Neurosurgery* 2014; 74: 569–84; discussion 584–5.
19. Waseem H et al. Laser ablation therapy: An alternative treatment for medically resistant mesial temporal lobe epilepsy after age 50. *Epilepsy Behav* 2015; 51: 152–7.
20. Kang JY et al. Laser interstitial thermal therapy for medically intractable mesial temporal lobe epilepsy. *Epilepsia* 2016; 57: 325–34.
21. Le S et al. Laser interstitial thermal therapy (LITT): Seizure outcomes for refractory mesial temporal lobe epilepsy. *Epilepsy Behav* 2018; 89: 37–41.
22. Tellez-Zenteno JF, Dhar R, Wiebe S. Long-term seizure outcomes following epilepsy surgery: a systematic review and meta-analysis. *Brain* 2005; 128: 1188–98.
23. Bermudez CI et al. Cognitive outcomes following laser interstitial therapy for mesiotemporal epilepsies. *Neurol Clin Pract* 2020; 10: 314–23.
24. Tovar-Spinoza Z, Ziehmman R, Zyck S. Single and staged laser interstitial thermal therapy ablation for cortical tubers causing refractory epilepsy in pediatric patients. *Neurosurg Focus* 2018; 45: E9.
25. Roland JL et al. Corpus callosotomy performed with laser interstitial thermal therapy. *J Neurosurg* 2019; doi: 10.3171/2019.9.JNS191769 [online ahead of print].
26. Patel P, Patel NV, Danish SF. Intracranial MR-guided laser-induced thermal therapy: single-center experience with the Visualase thermal therapy system. *J Neurosurg* 2016; 125: 853–60.
27. Pruitt R et al. Complication avoidance in laser interstitial thermal therapy: lessons learned. *J Neurosurg* 2017; 126: 1238–45.
28. Ginalis EE, Danish SF. Magnetic resonance-guided laser interstitial thermal therapy for brain tumors in geriatric patients. *Neurosurg Focus* 2020; 49: E12.
29. Hirsch LR et al. Nanoshell-mediated near-infrared thermal therapy of tumors under magnetic resonance guidance. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2003; 100: 13549–54.
30. Salehi A et al. Therapeutic enhancement of blood-brain and blood-tumor barriers permeability by laser interstitial thermal therapy. *Neurooncol Adv* 2020; 2: vdaa071.
31. Shin DH et al. In-situ vaccination with laser interstitial thermal therapy augments immunotherapy in malignant gliomas. *J Neurooncol* 2021; 151: 85–92.

Mitteilungen aus der Redaktion

Besuchen Sie unsere zeitschriftenübergreifende Datenbank

☒ [Bilddatenbank](#)

☒ [Artikeldatenbank](#)

☒ [Fallberichte](#)

e-Journal-Abo

Beziehen Sie die elektronischen Ausgaben dieser Zeitschrift hier.

Die Lieferung umfasst 4–5 Ausgaben pro Jahr zzgl. allfälliger Sonderhefte.

Unsere e-Journale stehen als PDF-Datei zur Verfügung und sind auf den meisten der marktüblichen e-Book-Readern, Tablets sowie auf iPad funktionsfähig.

☒ [Bestellung e-Journal-Abo](#)

Haftungsausschluss

Die in unseren Webseiten publizierten Informationen richten sich **ausschließlich an geprüfte und autorisierte medizinische Berufsgruppen** und entbinden nicht von der ärztlichen Sorgfaltspflicht sowie von einer ausführlichen Patientenaufklärung über therapeutische Optionen und deren Wirkungen bzw. Nebenwirkungen. Die entsprechenden Angaben werden von den Autoren mit der größten Sorgfalt recherchiert und zusammengestellt. Die angegebenen Dosierungen sind im Einzelfall anhand der Fachinformationen zu überprüfen. Weder die Autoren, noch die tragenden Gesellschaften noch der Verlag übernehmen irgendwelche Haftungsansprüche.

Bitte beachten Sie auch diese Seiten:

[Impressum](#)

[Disclaimers & Copyright](#)

[Datenschutzerklärung](#)