

Clin Epileptol 2023 · 36:132–138  
<https://doi.org/10.1007/s10309-023-00569-1>  
 Angenommen: 11. Januar 2023  
 Online publiziert: 13. März 2023  
 © Der/die Autor(en) 2023



# Neue epilepsiechirurgische Techniken und intraoperatives Monitoring bei nichtläsioneller MRT-negativer Epilepsie

Karl Rössler · Christian Dorfer

Neurochirurgische Klinik, Medizinische Universität Wien, Wien, Österreich

## Zusammenfassung

Durch die Einführung moderner Techniken für die neurochirurgische Intervention bei nichtläsionellen (NL) MRT-negativen medikamentös therapierefraktären Epilepsien (temporal, aber v. a. auch extratemporal) zeigte sich im letzten Jahrzehnt sowohl bei Kindern und Adoleszenten als auch bei Erwachsenen eine deutliche Zunahme diese Eingriffe um etwa 10–15 % [1]. Für die prächirurgische Evaluation von NL-Epilepsien ist das invasive Monitoring zur Diagnostik einer fokalen Epilepsie bzw. zur Definition der potenziellen epileptogenen Zone für eine mögliche Resektion oder Ablation – insbesondere extratemporal – wünschenswert. Die Technik der invasiven Abklärung von NL-Epilepsien hat im letzten Jahrzehnt eine grundsätzliche Strategieänderung erfahren, weg von über eine Kraniotomie eingebrachten subduralen Elektroden, hin zum weniger invasiven Stereo-EEG (sEEG) mit Tiefenelektroden. Das minimal-invasive und weniger komplikationsbehaftete sEEG kann auch tief gelegene Anfallsgeneratoren und unter Einbeziehung von künstlicher Intelligenz (AI) auch sterische Ausdehnung der potenziellen epileptogenen Zone darstellen, was für eine mögliche Resektion bei nichtläsionellen Epilepsien Voraussetzung ist. In sprachrelevanten Kortexarealen bleiben allerdings das Monitoring und Mapping mit Subduralelektroden alternativlos. Gleichzeitig ermöglichen neue Techniken in der Neurochirurgie wie Neuronavigation, Neuromonitoring (IONM) und intraoperative MR-Bildgebung, Robotik und Laserablation (LITT) die Schonung von eloquenten Hirnarealen in der Nachbarschaft der epileptogenen Zone. Zusätzlich können neuerdings traditionelle Techniken (Elektrokortikographie (ECoG) und Neuromonitoring (IONM)) mit der Bildgebung direkt durch Dateneinspiegelung ins Operationsmikroskop in den operativen Situs zur Resektion miteinbezogen werden. Diese Entwicklungen haben dazu geführt, dass für immer mehr NL-fokale Epilepsien die Resektion möglich ist und dass sich das postoperative Epilepsie-Outcome von NL-Epilepsien deutlich verbessert hat.

### Schlüsselwörter

Neue operative Strategien · Stereo-EEG · Subduralelektroden · Neuronavigation und Robotik · Intraoperative MR-Bildgebung



QR-Code scannen & Beitrag online lesen

## Invasive Abklärung temporaler und extratemporaler nichtläsioneller MRT-negativer Epilepsien

Nichtläsionelle MRT-negative, vor allem extratemporale Epilepsien stellen für die Epilepsiechirurgie eine große Herausforderung dar [2]. Neben der Abklärung, ob

tatsächlich eine fokale Epilepsie vorliegt, ist vor allem die Definition der potenziellen epileptogenen Zone für eine Resektion das Ziel des invasiven Monitorings mit implantierten Elektroden.

Die Frage nach der läsionellen Epilepsie war meist im Vorfeld schon zusätzlich durch zur MRT komplementären Methoden (wie z. B. durch die MR-Morphometrie)

oder Ultra-Hochfeld-MRT (7 T) oder durch den Einsatz von HD-EEG ausreichend geklärt worden.

Für temporal gelegene NL-Epilepsien ist nach wie vor die Semiologie entscheidend. Rein temporale Anfallssemiologie ermöglicht nicht dominant eine Standardresektion (Temporallappenresektion-TLR) des Temporallappens inklusive mesialer Strukturen. Für die dominanten NL-temporalen Epilepsien sind die Intaktheit der Sprach- und Gedächtnisfunktion weiterhin eine wichtige Entscheidungshilfe, ob eine standardisierte Resektion möglich ist (eine neuropsychologisch diagnostizierte ausreichende Verlagerung nach kontralateral bzw. kontralaterale Kompensation sollte durch Sprach-/Gedächtnis-fMRT oder WADA-Test abgesichert werden [3, 4]).

Für Patienten mit NL-Epilepsien mit temporaler Plus-Semiologie oder für fraglich bilaterale temporale Anfallssemiologie ist eine invasive Diagnostik unverzichtbar, um die potenzielle möglicherweise auf extratemporal ausgedehnte oder bilaterale epileptogene Zone zu definieren und zu klären, ob eine Resektion ohne Defizite möglich ist [5]. Auch hier ist eine klare Entwicklung weg von bilateralen temporalen Streifenelektroden hin zu bilateralen temporalen Tiefenelektroden insbesondere auch mit Einbeziehung von Inselektroden (orthogonal oder oblique) eingetreten [6].

Insbesondere die NL-extratemporalen Epilepsien haben von den neuen technischen Entwicklungen der Epilepsiechirurgie profitiert. Neben Semiologie (die speziell extratemporal irreführend sein kann [7]), Skalp-EEG und MRT-Bildgebung zum Ausschluss einer läsionellen Epilepsie sowie Nuklearmedizin (PET/SPECT) halten wir eine hochauflösende EEG und die Magnetoenzephalographie (MEG) für die Abklärung von extratemporalen Epilepsien für zielführend, die Seite bzw. die Lappen für die notwendige Tiefenelektrodenimplantation zu definieren [8]. Zusätzlich können auch eine Bildnachbearbeitung (Morphometrie) sowie in Einzelfällen auch eine „source localization“ (ESI durch HD-EEG) wichtige Hinweise für eine Implantationshypothese liefern. Ist die epileptogene Zone hauptsächlich im Bereich der Sprachareale zu erwarten,

verwenden wir nach wie vor Streifen- und/oder Plattenelektroden über Kraniotomien eingebracht für das invasive Monitoring, um ein extraoperatives Sprachmapping beim wachen Patienten an der Epilepsie-Monitoring-Unit (EMU) durchführen zu können (was mit Tiefenelektroden in dieser Form im Moment nicht zuverlässig möglich ist) [9].

Die so definierten sprachrelevanten Areale können dann im Rahmen der Resektion gezielt geschont werden. Eine Alternative dazu wäre eine Wachoperation (während derer allerdings das Sprachmapping nicht so ausführlich und verlässlich möglich ist als extraoperativ beim unbeeinträchtigten, wachen Patienten mit implantierten Elektroden an der EMU) [10].

### Neueste technische Entwicklungen beim invasiven Monitoring

Die Entscheidung, ob die invasive Diagnostik mit Subduralelektroden oder Tiefenelektroden (Stereo-EEG) durchgeführt werden soll, hängt sicherlich auch primär von der Fragestellung ab. Ist z. B. die angenommene epileptogene Zone in bzw. um die Sprachareale, ist eine Subduralelektrodenimplantation für die extraoperative Stimulation bzw. das präoperative Sprachmapping den Tiefenelektroden vorzuziehen.

Die Hauptargumente für Tiefenelektroden im Vergleich zu Subduralelektroden bestehen hauptsächlich in 1. den signifikant geringeren postoperativen Komplikationen, speziell weniger intrakranielle Blutungen oder Infektionen und den deutlich geringeren postoperativen klinischen Beschwerden der Patienten auf der EMU (speziell weniger Kopfschmerzen durch den geringen Liquorverlust im Vergleich zu den Kraniotomien mit Subduralelektroden), 2. der Möglichkeit, tiefe Kortexanteile im Bereich der Furchentäler bzw. der Insel erfassen zu können („Stereo EEG“), 3. größere Hirnbereiche auch bihemisphärisch gleichzeitig ableiten zu können, 4. temporal klar zwischen neokortikalen Anteilen und mesialen Strukturen unterscheiden zu können (früher nur mit Foramen-ovale-Elektroden möglich), 5. deutlich kürzeren Eingriffszeiten [11].

Allerdings verwenden wir weiterhin Subduralelektroden für Patienten mit potenziellen epileptogenen Zonen im Bereich der sprachrelevanten Kortexareale, um extraoperativ ein Sprachmapping für die Resektion zu erhalten, was mit Tiefenelektroden in dieser Form nicht möglich ist. Die früher in der invasiven Abklärung oft verwendeten epiduralen Elektroden sind zwar weniger invasiv, jedoch gegenüber subduralen und Tiefenelektroden nur von begrenzter Aussagekraft und werden daher nicht mehr verwendet. Foramen-ovale-Elektroden zur Abklärung mesialer Temporallappenepilepsien sind durch die Verwendung von Tiefenelektroden zur komplexen Abdeckung des Temporallappens ebenfalls nur mehr in Ausnahmefällen notwendig.

Für die Implantation der Tiefenelektroden spielt die Genauigkeit (Eintrittspunkt, Zielpunkt, Trajektorie durchs Gehirn) eine entscheidende Rolle, um Gefäßläsionen und damit Blutungen zu vermeiden [11]. War bis vor einigen Jahren die Implantation von Tiefenelektroden sehr zeitintensiv nur mit Rahmensystemen möglich (■ Abb. 1a), haben sich mittlerweile rahmenlose Systeme kombiniert mit Neuronavigation und Robotik (■ Abb. 1b) durchgesetzt [12].

Durch die Anwendung von intraoperativer MR-Tomographie (am Uniklinikum in Erlangen ein Einraumkonzept mit 1,5-T-Scanner, an der MedUni Wien ein Zweiraumkonzept mit einem 3-T-Scanner, ■ Abb. 2a) ließ sich die Genauigkeit der Tiefenelektrodenimplantation weiter steigern und eine intraoperative Lagekontrolle der Elektroden im sterilen Setting und damit die Möglichkeit von Lagekorrekturen intraoperativ implementieren (■ Abb. 2b, ■ Abb. 3 [11]).

### Epilepsiechirurgie Eingriffe bei NL-Epilepsiepatienten nach invasivem Monitoring

Im Vergleich zu temporalen Resektionen, die standardisiert durchgeführt werden (anteromesiale temporale Resektion [AMTLR], anterotemporale Resektion [ATR], Standardtemporallappenresektion [TLR]) [13] handelt es sich bei Patienten mit NL-extratemporalen Epilepsien nach invasivem Monitoring immer um indivi-



**Abb. 1** ▲ Rahmenlose Systeme. **a** Rahmenlos-stereotaktische Tiefenelektrodenimplantation im MRT-Operationsaal. **b** Rahmenlos stereotaktische Laser-Faser-Implantation mit dem Mini-Roboter (Mit freundl. Genehmigung, © K. Rössler, Wien. Alle Rechte vorbehalten)



**Abb. 2** ▲ 2-Raum-Konzept. **a** Intraoperatives MR-Imaging, 2-Raum-Konzept. **b** Operationssaalwechsel nach Laser-Faser-Implantation in den 3-T-MR-Raum (Mit freundl. Genehmigung, © K. Rössler, Wien. Alle Rechte vorbehalten)

dualisierte Resektionen (im Sinne einer Precision Surgery).

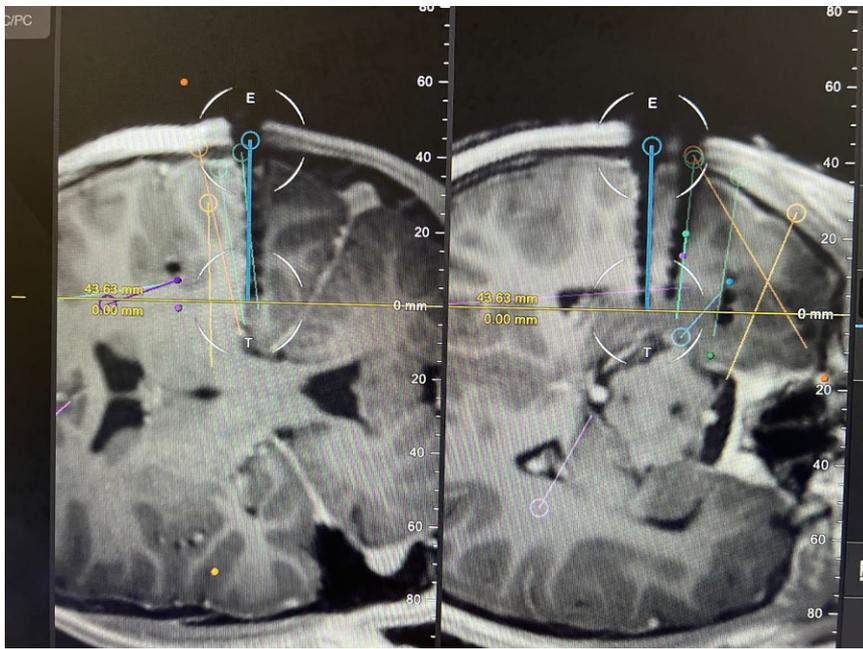
Sowohl der Implantationsplan als auch die Auswertung des invasiven Monitorings erfolgen multidisziplinär. Der Resektionsplan wird entsprechend dem detektierten Anfallsursprung zusammengesetzt aus den positiven Kontakten der verschiedenen Elektroden erstellt. Neuerdings stellen AI-Algorithmen zur 3-dimensionalen Auswertung des sEEG für die Resektion eine Hilfe dar [14]. Quantitative Methoden aus dem Bereich Machine Learning und AI sind sicherlich interessante Entwicklungen, sollten aber weiterhin mit Vorsicht klinisch angewendet werden. In einer

kürzlich erschienenen prospektiven Studie zu quantitativer Analysen des Stereo-EEGs auf Hochfrequenzoszillationen (HFO) zeigte sich z. B. überraschend keine „non-inferiority“ zur herkömmlichen Spike-Analyse [15].

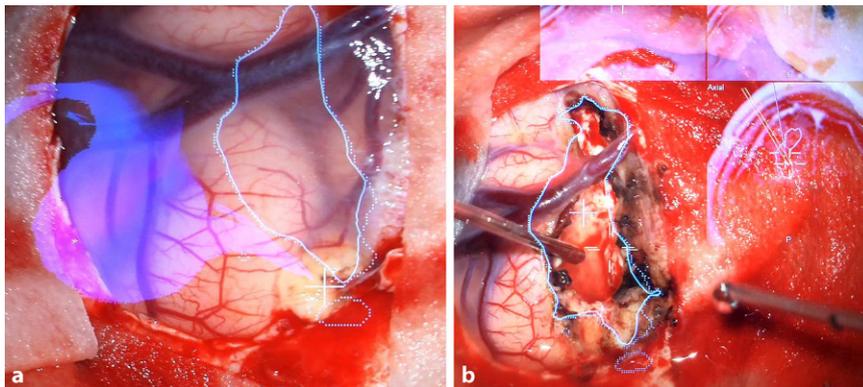
### Image-Guided Surgery (IGS) und intraoperative MR-Tomographie

Insbesondere für extratemporale NL-Epilepsien spielt funktionelles Imaging (funktionelle MRT zur Lokalisationsdiagnostik und Ausdehnung von Spracharealen bzw. Motor- und sensorischem Kortex bzw. Bahnsystemen, wie z. B. Pyramidenbahn,

Sprachbahn, Sehbahn) eine große Rolle, um keine postoperativen Defizite zu erzeugen [16, 17]. Speziell die aus Tiefenelektrodenmonitoring rekonstruierte potenzielle epileptogene Zone zur Resektion wird in unseren Händen oft so geplant, dass die Ausdehnung bis zu den angrenzenden eloquenten Arealen mit einem entsprechenden Sicherheitsabstand erfolgt, um eine maximale Chance der postoperativen Anfallsfreiheit und maximale Schonung der eloquenten Areale zu erreichen bzw. zu berücksichtigen. Das bildgeführte Operieren (Image Guided Surgery [IGS]) mit Neuronavigation (■ **Abb. 4a, b**) dient dann dazu, diese



**Abb. 3 ▲** Intraoperatives MR während der Tiefenelektrodenimplantation und Vergleich mit den geplanten Trajektorien: Die *türkise Linie* zeigt die vorgeplante Trajektorie, unterlegt von schwarzen kugeligem Artefakten der schon implantierten Tiefenelektrode. Die Abweichungen zwischen Plan und Lage der Elektrode im intraoperativen MRT sind minimal. (Mit freundl. Genehmigung, © K. Rössler, Wien. Alle Rechte vorbehalten)



**Abb. 4 ▲** Bildgeführtes Operieren. **a** Motorareal der Hand in *Blau* eingespiegelt (durch präoperatives F-MRT definiert), *Blaue Kontur* entspricht dem Zielgebiet der Resektion. **b** Einspiegelung eines durch Tiefenelektroden definierten Resektionsareals während der Operation mit Saugernavigation, eingespiegeltes MRT in 3 Ebenen mit der Resektionskontur und dem Sauger als Pointer (in *Gelb*), der sich innerhalb des Resektionsareals befindet (**b**). (Mit freundl. Genehmigung, © K. Rössler, Wien. Alle Rechte vorbehalten)

sicheren Grenzen zu den präoperativ mit funktioneller Bildgebung definierten eloquenten Kortex-/Bahnsystemen zu respektieren [18].

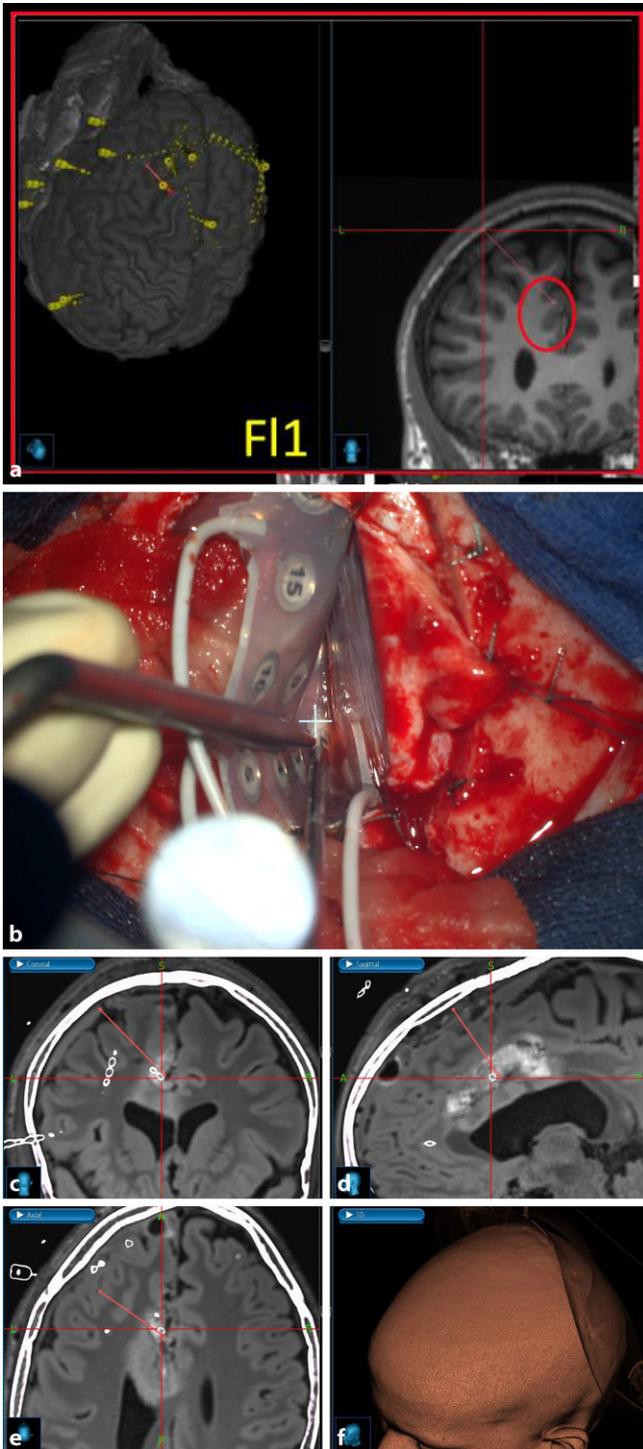
### Intraoperatives Neuromonitoring (IONM) und intraoperative Elektrokortikographie (ECoG) sowie Wachkraniotomie

Die Resektion NL-extratemporaler Epilepsien bewegt sich meist sehr nahe an eloquenten Arealen, z.B. des sprachrelevanten Kortex. Dies ist jedoch als Resektionsstrategie nach Erstellung des Elektrodenplans aus dem Tiefenelektro-

denmonitoring bzw. dem Mapping mit den Subduralelektroden zur Maximierung der Resektion bzw. dadurch Steigerung der Chance der postoperativen Anfallsfreiheit gewünscht [19]. Das erfordert allerdings intraoperative Überwachung der Funktionen bzw. intraoperative Funktionsdiagnostik, im extremen Fall der sprachrelevanten Areale als sog. „Wachkraniotomie“. Wir verwenden hierzu die „Asleep-Awake-Asleep“-Technik, d. h. der Patient wird anfangs in Narkose versetzt, kraniotomiert und nach Freilegung des Gehirns aufgeweckt, unter neuropsychologischem Testen reseziert und zum Verschließen wieder in Narkose versetzt.

Mit dem IONM stehen folgende Überwachungsmöglichkeiten zur Verfügung: somatosensorisch evozierte Potenziale (SSEPs) zur Überwachung der Integrität des Gyrus postcentralis bzw. der dorsalen Pyramidenbahn, kontinuierliche motorisch-evozierte Potenziale (kontinuierliche MEPs) zur Überwachung der Integrität des Gyrus praecentralis bzw. der Pyramidenbahn, direkte kortikale Stimulation mit Ableitung der Extremitätenkennmuskulatur für die Zugangsplanung und kortikokortikal evozierte Potenziale zur Überwachung sprachrelevanter Kortexareale [20, 21].

Die Bedeutung der intraoperativen Elektrokortikographie (ECoG) ist nicht unumstritten, insbesondere für NL-Epilepsien bzw. NL-epileptogene Zonen [22]. ECoG ist speziell für die Resektion von fokal-kortikalen Dysplasien, die sich als kontinuierliches Spiking im ECoG präsentieren, von großer Bedeutung bzw. korreliert in diesen Fällen bei vollständigen Resektion „spikender“ Kortexareale sehr gut positiv mit dem Anfallsoutcome [23]. Wir verwenden ECoG prinzipiell bei der Resektion aller NL-Epilepsien und korrelieren die intraoperativen Befunde mit dem postoperativen Anfallsoutcome und der Ausdehnung der Resektion. Intraoperative 20- bis 30%-Rest-Spike-Aktivität am Resektionsrand bzw. um die Resektion korrelieren in unseren Händen noch immer mit einem sehr guten Anfallsoutcome.



**Abb. 5** ◀ Lage der Tiefenelektroden, die Elektrode im Anfallsbeginn rot unterlegt (a), Resektion des Gyrus cinguli links über den Interhemisphärenspalt (b), postoperatives FLAIR-MRT Resektionsareal (c-f). In Korrelation mit der Elektrodenlage des Anfallsursprungs a kontinuierliches Spiking der letzten 3 Kontakte. (Mit freundl. Genehmigung, © K. Rössler, Wien. Alle Rechte vorbehalten)

### Laserablation (LITT) und Thermoablation als minimal-invasives Verfahren nach Tiefenelektroden in eloquenten Hirnregionen

Kommt nach der Definition der potenziellen epileptogenen Zone durch invasives Monitoring bei NL-Epilepsien aufgrund der

hohen Eloquenz der betroffenen Hirnanteilen ein Zugang durch eloquentes Gehirn bzw. die Resektion aufgrund der Eloquenz nicht infrage, ist schon vor Entfernung der Tiefenelektroden eine Probethermoablation der betroffenen Kontakte mittels Hochfrequenzläsionsgenerator möglich. Aufgrund des geringen Läsionsvolumens der Thermoablation über die Elektro-

denkontakte kann bei positivem Ergebnis bei Wiederauftreten der typischen Anfälle eine neuerliche ausgedehntere Thermoablation oder eine Laserablation (LITT) durchgeführt werden [24].

### Kasuistik

Ein 16-jähriger Junge erlitt mit 16 Jahren den ersten generalisierten Anfall. Im MRT fand sich keinerlei Auffälligkeit (NL-Epilepsie). Trotz medikamentöser Einstellung ereigneten sich häufig Anfälle mit frontaler Semilogie aus dem Schlaf heraus. Das Video-EEG-Monitoring zeigte die irritative Zone und auch einen Seizure-Onset im linken Frontallappen mit schneller Mitbeteiligung der linken Insel. Im FDG-PET zeigte sich ein Hypometabolismus im linken Frontallappen mesial. Es erfolgte ein invasives Monitoring mit 12 Tiefenelektroden (Abb. 5a), die den gesamten linken Frontallappen lateral, mesial und orbital abdeckten, zusätzlich Inselektroden, parietale und temporale Elektroden sowie eine frontale Elektrode kontralateral. Dabei fand sich der Anfallsbeginn im Gyrus cinguli links unterhalb der motorischen Zentralregion. Es erfolgte eine linke frontale Mittellinienkraniotomie und Zugang über den Mittelspalt zum linken Gyrus cinguli, der um die spikenden Elektroden reseziert wurde (Abb. 5b), postoperativ MRT (Abb. 5c). Histologisch zeigte sich eine FCD Typ IIa. Der Patient ist seit der Operation (2,5 Jahre Follow-up) anfallsfrei, derzeit noch mit reduzierter Antianfalls-Medikation.

### Fazit für die Praxis

Die Neurochirurgie bietet für NL-MRT-negative medikamentös refraktäre Epilepsiepatienten sowohl mit der invasiven Diagnostik (invasives Monitoring mit Tiefenelektroden, Subduralelektroden bzw. eine Kombination aus beiden) als auch für die resektive und minimal-invasive Epilepsiechirurgie neue Verfahren an, die die Chance der postoperativen Anfallsfreiheit in den letzten Jahren speziell in der pädiatrischen Gruppe signifikant gesteigert haben bei gleichzeitigem Rückgang insbesondere der permanenten neurologischen Komplikationen. Tiefenelektroden, Thermo- und Laserablationen, Neuronavigation, intraoperative MR-Bildgebung, intraoperatives Neuromonitoring inklusive ECoG und Robotik haben dafür wertvolle Beiträge geleistet.

## Korrespondenzadresse

**Univ. Prof. Dr. Karl Rössler**

Neurochirurgische Klinik, Medizinische  
Universität Wien  
Währinger Gürtel 18–20, 1090 Wien, Österreich  
karl.roessler@meduniwien.ac.at

**Funding.** Open access funding provided by Medical University of Vienna.

**Einhaltung ethischer Richtlinien**

**Interessenkonflikt.** K. Rössler und C. Dorfer geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von den Autor/-innen keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien. *Patient/-innenrechte:* Alle Patient/-innen, deren Bildmaterial anonymisiert wiedergegeben ist, haben ihre schriftliche Zustimmung zu deren Anfertigung bzw. der anonymen Wiedergabe gegeben.

**Open Access.** Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

**Literatur**

1. Barba C, Cross JH, Braun K, Cossu M, Klotz KA, De Masi S et al (2020) Trends in pediatric

**New epilepsy surgical techniques and intraoperative monitoring in non-lesional MRI negative epilepsy**

Progress in neurosurgical techniques in epilepsy surgery for non-lesional (NL) MRI negative and drug-refractory epilepsy, especially extratemporally located epilepsy, has significantly enhanced the postoperative seizure freedom rates of children, adolescents and adults. For the presurgical evaluation of NL epilepsies in most of the cases invasive monitoring is a prerequisite to confirm the focal nature of the epilepsy and to define a putative epileptogenic zone for surgical resection or ablation. The technique of invasive monitoring has significantly changed during the last decade, using more often minimally invasive depth electrodes (stereo-EEG) instead of subdural electrodes with large craniotomies. Depth electrodes have the advantage of monitoring deep seizure foci as well as reconstruction of 3-D epileptogenic volumes as a putative target for resection or ablation. This strategy may be enhanced in the future by using artificial intelligence (AI) and goes along with significantly less perioperative complications; however, considering monitoring and mapping of speech relevant cortical areas, subdural electrode implantation is still without an alternative. Additionally, new techniques in neurosurgery, such as neuronavigation (image guided surgery, IGS), intraoperative MRI, intraoperative neuromonitoring and electrocorticography and robotic as well as laser ablation are able to spare highly eloquent brain areas during access and resection/ablation; however, traditional techniques, such as intraoperative electrocorticography (ECoG) and intraoperative neuromonitoring (IONM), complement data for image-guided surgery during operations using microscopical image guidance. These developments enable us to perform surgery in significantly more and more complicated NL epilepsy patients with the result of a better postoperative seizure freedom rate.

**Keywords**

Stereo-EEG · Subdural electrodes · New operative strategies · Neuronavigation and robotics · Intraoperative MR imaging

- epilepsy surgery in Europe between 2008 and 2015: country-, center-, and age-specific variation (Report No.: 1528–1167 (Electronic) 0013–9580 (Linking) ContractNo.:2)
2. Thorsteinsdottir J, Vollmar C, Tonn JC, Kreth FW, Noachtar S, Peraud A (2019) Outcome after individualized stereoelectroencephalography (sEEG) implantation and navigated resection in patients with lesional and non-lesional focal epilepsy. *J Neurol* 266(4):910–920
  3. Hagemann A, Bien CG, Kalbhenn T, Hopf JL, Grewé P (2022) Epilepsy surgery in extratemporal vs temporal lobe epilepsy: changes in surgical volumes and seizure outcome between 1990 and 2017. *Neurology* 98(19):e1902–e12
  4. Juhasz C, John F (2020) Utility of MRI, PET, and ictal SPECT in presurgical evaluation of non-lesional pediatric epilepsy. *Seizure* 77:15–28
  5. Barba C, Rheims S, Minotti L, Grisotto L, Chabardes S, Guenot M et al (2022) Surgical outcome of temporal plus epilepsy is improved by multilobar resection. *Epilepsia* 63(4):769–776
  6. Laoprasert P, Ojemann JG, Handler MH (2017) Insular epilepsy surgery. *Epilepsia* 58(1):35–45
  7. So EL (2006) Value and limitations of seizure semiology in localizing seizure onset. *J Clin Neurophysiol* 23(4):353–357
  8. Rampp S, Stefan H, Wu X, Kaltenhauser M, Maess B, Schmitt FC et al (2019) Magnetoencephalography for epileptic focus localization in a series of 1000 cases. *Brain* 142(10):3059–3071
  9. Austerluehle A, Cocjin J, Reynolds R, Agrawal S, Sepeta L, Gaillard WD et al (2017) Language functional MRI and direct cortical stimulation in epilepsy preoperative planning. *Ann Neurol* 81(4):526–537
  10. Herta J, Winter F, Pataraja E, Feucht M, Czech T, Porsche B et al (2022) Awake brain surgery for language mapping in pediatric patients: a single-center experience. *J Neurosurg Pediatr.* <https://doi.org/10.3171/2022.1.PEDS21569>
  11. Roessler K, Sommer B, Merkel A, Rampp S, Gollwitzer S, Hamer HM et al (2016) A frameless stereotactic implantation technique for depth electrodes in refractory epilepsy using Intraoperative magnetic resonance imaging. *World Neurosurg* 94:206–210
  12. Dorfer C, Minchev G, Czech T, Stefanits H, Feucht M, Pataraja E et al (2017) A novel miniature robotic device for frameless implantation of depth electrodes in refractory epilepsy. *J Neurosurg* 126(5):1622–1628
  13. Roessler K, Kasper BS, Shawarba J, Walther K, Coras R, Brandner S et al (2021) Operative variations in temporal lobe epilepsy surgery and seizure and memory outcome in 226 patients suffering from hippocampal sclerosis. *Neurol Res* 43(11):884–893
  14. Kogias E, Evangelou P, Schmeiser B, Reinacher PC, Altmüller DM (2018) The oxymoron of image-guided resection in 3T MRI-negative extratemporal epilepsy: technique and postoperative results. *Clin Neurol Neurosurg* 166:16–22
  15. Zweiphenning W, Klooster MAV, van Klink NEC, Leijten FSS, Ferrier CH, Gebbink T et al (2022) Intraoperative electrocorticography using high-

- frequency oscillations or spikes to tailor epilepsy surgery in the Netherlands (the HFO trial): a randomised, single-blind, adaptive non-inferiority trial. *Lancet Neurol* 21(11):982–993
16. Roessler K, Hofmann A, Sommer B, Grummich P, Coras R, Kasper BS et al (2016) Resective surgery for medically refractory epilepsy using intraoperative MRI and functional neuronavigation: the Erlangen experience of 415 patients. *Neurosurg Focus* 40(3):E15
  17. Roessler K, Sommer B, Grummich P, Coras R, Kasper BS, Hamer HM et al (2014) Improved resection in lesional temporal lobe epilepsy surgery using neuronavigation and intraoperative MR imaging: favourable long term surgical and seizure outcome in 88 consecutive cases. *Seizure* 23(3):201–207
  18. Roessler K, Kasper BS, Heynold E, Coras R, Sommer B, Rampp S et al (2018) Intraoperative magnetic-resonance tomography and neuronavigation during resection of focal cortical dysplasia type II in adult epilepsy surgery offers better seizure outcomes. *World Neurosurg* 109:e43–e9
  19. Sommer B, Grummich P, Coras R, Kasper BS, Blumcke I, Hamer HM et al (2013) Integration of functional neuronavigation and intraoperative MRI in surgery for drug-resistant extratemporal epilepsy close to eloquent brain areas. *Neurosurg Focus* 34(4):E4
  20. MacDonald DB, Simon MV, Nuwer MR (2022) Neurophysiology during epilepsy surgery. *Handb Clin Neurol* 186:103–121
  21. Titov O, Bykanov A, Pitskhelauri D, Danilov G (2022) Neuromonitoring of the language pathways using cortico-cortical evoked potentials: a systematic review and meta-analysis. *Neurosurg Rev* 45(3):1883–1894
  22. Roessler K, Heynold E, Buchfelder M, Stefan H, Hamer HM (2019) Current value of intraoperative electrocorticography (iopECoG). *Epilepsy Behav* 91:20–24
  23. Jayakar P, Gotman J, Harvey AS, Palmini A, Tassi L, Schomer D et al (2016) Diagnostic utility of invasive EEG for epilepsy surgery: Indications, modalities, and techniques. *Epilepsia* 57(11):1735–1747
  24. North RY, Raskin JS, Curry DJ (2017) MRI-guided laser interstitial thermal therapy for epilepsy. *Neurosurg Clin N Am* 28(4):545–557

Hier steht eine Anzeige.