

## Neuromodulation – was müssen Anästhesisten, Chirurgen und Notfallmediziner darüber wissen?

### Emergency Medicine

## Neuromodulation – what do anaesthetists, surgeons, and emergency physicians need to know?

M. Reining<sup>1</sup> · F.A. Gonnert<sup>2</sup> · C. Stroh<sup>3</sup> · M. Kretzschmar<sup>1,4</sup>



www.ai-online.info

► **Zitierweise:** Reining M, Gonnert FA, Stroh C, Kretzschmar M: Neuromodulation – was müssen Anästhesisten, Chirurgen und Notfallmediziner darüber wissen? *Anästh Intensivmed* 2021;62:486–498. DOI: 10.19224/ai2021.486

### Zusammenfassung

Neuromodulative Verfahren sind etablierte Verfahren der invasiven Schmerztherapie. Es werden pharmakologische Verfahren („Medikamentenpumpen“) und elektrische Stimulationsverfahren („Neurostimulation“) unterschieden. Patienten mit entsprechenden Implantaten stellen sich auch in nichtspezialisierten Einrichtungen des Gesundheitswesens vor. Dieser Beitrag beschreibt die Besonderheiten der präklinischen Notfallversorgung, der klinischen Diagnostik und der perioperativen Versorgung dieser speziellen Patientengruppe.

Bereits der Rettungsdienst sollte bei entsprechenden Hinweisen den Implantat ausweis und eventuelle Patientenbediengeräte oder Ladegeräte mit in die Klinik nehmen. Neurostimulatoren müssen für EKG-Untersuchungen und EKG-Monitoring ausgeschaltet werden. Während eine Röntgendiagnostik ohne Einschränkungen möglich ist, bestehen erhebliche Einschränkungen der MRT-Zulassung der Implantate.

Perioperativ müssen die Katheter und Elektroden geschont werden. Hierfür ist eine genaue Kenntnis des Verlaufs Voraussetzung. Rückenmarksnahe Regionalanästhesien sind häufig unter Beachtung von Beschränkungen möglich. Die Patienten benötigen trotz schmerztherapeutischem Implantat eine adäquate postoperative Analgesie.

Zusätzlich gibt es spezifische Notfallsituationen im Zusammenhang mit den

Implantaten. Bei Patienten mit Medikamentenpumpen ist insbesondere an eine Opiatüberdosierung oder einen Opiatentzug zu denken, die sich mit untypischen Symptomen präsentieren können. Bei Neurostimulatoren reichen ein Abschalten der Stimulation und die anschließende elektive Vorstellung aus. Eine Vorstellung im implantierenden Zentrum ist nur bei konkreten Hinweisen auf eine Verursachung durch das Implantat erforderlich, sonst sollte das nächsterreichbare geeignete Krankenhaus angefahren werden.

### Summary

Neuromodulation covers established methods of invasive pain management. A distinction is made between pharmacological processes („drug delivery systems“) and electrical stimulation processes („neurostimulation“). Patients with corresponding implants may present to non-specialized health care facilities. This article describes the peculiarities of preclinical emergency care, clinical diagnostics, and perioperative care for this special group of patients.

Emergency medical services (EMS) should take the implant ID card and any patient control devices or chargers with them to the hospital if they become aware of the implant. Neurostimulators must be switched off for ECG examinations and ECG monitoring. While X-ray diagnostics are possible without restrictions, there are considerable restrictions on the MRI approval of the implants.

- 1 Klinik für Schmerz- und Palliativmedizin, SRH Wald-Klinikum Gera (Chefarzt: Prof. Dr. med. habil. M. Kretzschmar)
- 2 Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin, SRH Wald-Klinikum Gera (Chefarzt: Priv.-Doz. Dr. med. habil. F. A. Gonnert)
- 3 Klinik für Adipositas und Metabolische Chirurgie, SRH Wald-Klinikum Gera (Chefarztin: Prof. Dr. med. habil. C. Stroh)
- 4 SRH Hochschule für Gesundheit, Gera (Präsidentin: Prof. Dr. rer. med. habil. C. Luck-Sikorski)

### Finanzielle Unterstützung

Keine

### Erklärung zur Autorenschaft

Das Manuskript wurde von M. Reining nach einer Idee von Prof. M. Kretzschmar entworfen. Prof. Kretzschmar, Priv.-Doz. Gonnert und Prof. Stroh haben durch zahlreiche Korrekturhinweise und Literaturempfehlungen einen wesentlichen wissenschaftlichen Beitrag geleistet.

### Interessenkonflikt

M. Reining und M. Kretzschmar erklären, dass sie innerhalb der vergangenen 2 Jahre als Co-Investigator bzw. Principal Investigator an Studien der Firma Abbott Laboratories beteiligt waren. Priv.-Doz. Gonnert und Prof. Stroh erklären, dass kein Interessenkonflikt besteht.

### Einhaltung ethischer Richtlinien

Dieser Beitrag beinhaltet keine von den Autoren durchgeführten Studien an Menschen oder Tieren.

### Schlüsselwörter

Implantierbare Medikamentenpumpen – Implantierbare Neurostimulatoren – Patientensicherheit – Perioperative Versorgung – Notfallmedizin

### Keywords

Drug Delivery Systems – Implantable Neurostimulators – Patient Safety – Perioperative Care – Emergency Medicine



Catheters and electrodes must be conserved perioperatively; precise knowledge of the location is a prerequisite. Regional anaesthesia close to the spinal cord is often possible, but subject to restrictions. Despite having an implant for pain therapy, patients require adequate postoperative analgesia.

Additionally, there are specific emergency situations related to the implants. In terms of patients harboring drug delivery systems, opiate overdose or opiate withdrawal should be considered – both of which can present with atypical symptoms. With neurostimulators, it is sufficient to switch off the stimulation and arrange for elective follow-up. Presenting the patient to the implanting center is only necessary if there are specific indications that the implant was causative, otherwise the nearest suitable hospital should be approached.

### Einleitung

Unter dem Begriff „Neuromodulation“ werden verschiedene nicht destruktive Verfahren zur Beeinflussung der Weiterleitung von Schmerzreizen im zentralen und peripheren Nervensystem zusammengefasst [1]. Man unterscheidet pharmakologische Verfahren (Pumpensysteme zur Applikation von Medikamenten direkt in den Liquor cerebrospinalis) von elektrischen Stimulationsverfahren („Neurostimulatoren“). In der Notfall- sowie der perioperativen Versorgung dieser Patienten ist die Kenntnis beider Verfahren unverzichtbar.

Zahlen zur Prävalenz solcher Systeme in der deutschen Bevölkerung fehlen. Im Jahr 2019 wurden in Deutschland 1.090 Medikamentenpumpen sowie 1.954 Generatoren zur rückenmarksnahen Neurostimulation implantiert [2]. Basierend auf unseren Erfahrungen zur Lebensdauer der Systeme schätzen wir, dass in Deutschland aktuell mindestens 8.000 Patienten mit einer Medikamentenpumpe und 10.000 Patienten mit einem Neurostimulator leben. In den letzten Jahren hat die Zahl der implantierenden Zentren zugenommen, auch werden die verschiedenen Verfahren der Neuromo-

dulation bei neuen Krankheitsbildern erprobt. Aktuell wird zum Beispiel diskutiert, ob eine frühzeitige Rückenmarkstimulation bei traumatischer Querschnittlähmung zu einem besseren motorischen Outcome führt [3]. In der Viszeralchirurgie ist die sakrale Stimulation inzwischen ein etabliertes Verfahren zur Behandlung von Stuhlinkontinenz [4]. Somit ist mit weiter steigenden Zahlen zu rechnen. Die größeren implantierenden Zentren haben regelmäßig einen überregionalen Einzugsbereich, sodass jeder klinisch tätige Arzt mit diesen Patienten konfrontiert werden kann.

In unserer täglichen Praxis zeugen zahlreiche telefonische Anfragen von Klinikärzten aller Fachgebiete zu Patienten mit Neuromodulationsverfahren von einem hohen Informationsbedarf. In der Literatur finden sich zum perioperativen Umgang mit diesen Patienten bzw. deren Implantaten nur zwei englischsprachige Übersichtsarbeiten und ein Fallbericht [5–7]. Die gegebenen Empfehlungen sind durch abweichende Zulassungen und auch Rechtssysteme im angloamerikanischen Raum geprägt. Diese Übersichtsarbeit basiert daher in wesentlichen Teilen auf jahrelangen Erfahrungen und bewährten Therapiestandards in unserem Zentrum.

### Grundlagen der elektrischen Neuromodulation

Indikationen für eine elektrische Neuromodulation sind Erkrankungen mit überwiegend neuropathischen Schmerzen, z. B. das Failed-Back-Surgery-Syndrom, Phantomschmerzen oder Polyneuropathien. Auch bei sympathisch unterhaltenen Schmerzen (Komplexes regionales Schmerzsyndrom, CRPS I und II) ist die elektrische Neuromodulation nach Versagen einer multimodalen konservativen Therapie ein vielversprechender Ansatz. Bei ischämischen Schmerzen (KHK und pAVK) ohne kausale Interventionsmöglichkeit kann durch eine Rückenmarkstimulation eine deutliche Verbesserung der Durchblutung und Schmerzlinderung erreicht werden, wobei die exakte Wirkungsweise noch unbekannt ist [8].

Auch einige Kopfschmerzerkrankungen, insbesondere Migräne und Clusterkopfschmerz, können durch eine Neurostimulation günstig beeinflusst werden [9].

Grundsätzlich besteht jeder Neurostimulator aus einer oder mehreren Elektrode(n) und einem Generator. Der Generator wird häufig gluteal oder abdominell subcutan implantiert, aber auch eine infraclaviculäre Lage ist möglich. Je nach Lage der Elektrode und des Generators sind möglicherweise auch Verlängerungsleitungen implantiert.

Die Elektroden gibt es in unterschiedlichen Formen (Stabelektrode, Platten-elektrode), Längen und Kontaktzahl (meist 8, aber auch 4 oder 16). Je nach Lokalisation der Elektroden unterscheidet man die Rückenmarkstimulation (Spinal Cord Stimulation, SCS) als häufigstes Verfahren (Abb. 1), die Stimulation des Spinalganglions (dorsal root ganglion stimulation, DRG-S), die periphere Nervenstimulation (PNS), die periphere Nervenfeldstimulation (PNFS) und die Hirnrinden- und Tiefenhirnstimulation [10]. Diese Einteilung ist nicht nur für den Spezialisten relevant, sondern auch für andere Fachkollegen. So kann z. B. der Anästhesist mit diesem Wissen die Möglichkeit einer Regionalanästhesie ableiten.

Abbildung 1



Schematische Darstellung eines SCS-Systems.

Bei den meisten Verfahren der Neuro-modulation ist eine Testphase mit einem temporären Katheter bzw. einer zumeist temporären Elektrode üblich. Diese kann auch teilweise unter häuslichen Bedingungen erfolgen. Die Patienten werden dann mit einer ausgeleiteten Elektrode, die mit einem externen Generator verbunden ist, beurlaubt oder entlassen und stellen sich nach einigen Tagen zur Auswertung des Testergebnisses und Entfernung der temporären Elektroden wieder vor. Indikation für die permanente Implantation ist der eindeutige Nachweis der Wirksamkeit in der Testphase, lediglich bei KHK und pAVK kommt aufgrund exzellenter Erfolgsaussichten eine Implantation eines SCS-Systems ohne Testphase in Frage.

Es gibt verschiedene Stimulationsformen, die sich durch die Art und Weise der Stromabgabe unterscheiden. Es gibt Stimulationsformen, bei denen die Patienten ein schwaches Kribbeln spüren sollen, bei anderen Stimulationsformen dagegen bedeutet ein schwaches Kribbeln bereits eine Überstimulation, welche das Gegenteil, nämlich eine Schmerzverstärkung, bewirken kann. Die Patienten sind regelmäßig darüber informiert, ob sie die Stimulation spüren sollen.

Es gibt neben wartungsarmen batteriebetriebenen auch wiederaufladbare Generatoren, deren Akku ähnlich modernen Smartphones mittels Induktion durch die intakte Haut aufgeladen werden kann. Die meisten Patienten kommen damit sehr gut zurecht. Neuerdings wird auch ein System mit einer in die Elektrode integrierten Empfangseinheit angeboten, das ebenfalls durch Induktion funktioniert. Die Sende- und Steuereinheit muss bei diesem System ständig mit einem Gürtel fixiert über der implantierten Empfangseinheit getragen werden.

Alle Patienten mit einem Neurostimulator erhalten bei der Implantation einen Implantatusweis, ein Patienten-Bediengerät, ein Handbuch und eine ausführliche Einweisung in die Bedienung ihres Neurostimulators. Leider unterscheiden sich die Geräte von Hersteller zu Hersteller, sodass es keine allgemeingültige

Anleitung gibt. Die Anzeige der Geräte ist frei programmierbar und sagt nichts über die tatsächliche Intensität oder Lokalisation der Stimulation aus. **Bei Fragen und Problemen scheuen Sie sich nicht, das implantierende Zentrum oder die Hotline des Herstellers anzurufen.**

### Mein Notfallpatient hat einen Neurostimulator – was nun?

**Fallbeispiel 1:** Herr Z. (62 Jahre) stellt sich etwa 2 Monate nach der Implantation eines SCS-Systems zur Nachprogrammierung bei Schmerzverstärkung vor. Indikation für die Neurostimulation war ein typisches Postnukleotomiesyndrom nach Sequesterektomie L4/5 mit L4-Radikulopathie, es bestanden zum Zeitpunkt der Implantation keine neurologischen Ausfälle. Bereits beim Betreten des Behandlungszimmers fallen ein hinkendes Gangbild und eine offensichtliche Schonhaltung auf. Herr Z. berichtet, dass er nach der SCS-Implantation nahezu schmerzfrei gewesen sei. Vor 5 Tagen habe er erneut eine plötzliche, massive Verstärkung der bekannten Schmerzen gehabt. Zusätzlich bestehe seit diesem Zeitpunkt ein neues Taubheitsgefühl im Dermatom L4 links und eine ausgeprägte Kraftminderung des linken Beines. Eine Blasen-Mastdarm-Lähmung besteht nicht. Bei der Untersuchung ist neben der Kraftminderung der Hüftbeuger und Kniestrecker ein massiver Klopfschmerz lumbal auffällig.

**Grundsätzlich sollte jeder Notfallpatient mit Neurostimulator genauso behandelt werden wie ein Patient mit gleichen Symptomen ohne Neurostimulator.** In den meisten Fällen ist die Hinzuziehung eines Schmerztherapeuten also nicht erforderlich und führt zur Verzögerung der weiteren Behandlung. Der Notarzt sollte soweit möglich den Implantatusweis, das Bediengerät und – sofern vorhanden – das Ladegerät in die Klinik mitnehmen. Transportziel wird in den meisten Fällen nicht das implantierende Zentrum, sondern das nächstgelegene geeignete Krankenhaus sein, das bei

Bedarf Kontakt mit den Spezialisten im implantierenden Zentrum aufnehmen kann. Bei Verursachung des Notfalls durch den Neurostimulator muss ein Primärtransport ins implantierende Zentrum unter Berücksichtigung des aktuellen Patientenzustandes und einsatztaktischer Aspekte (Aufnahmebereitschaft und Entfernung des implantierenden Zentrums, Absicherung bei längerer Abwesenheit der eingesetzten Rettungsmittel) gegen einen Transport in ein lokales Krankenhaus zur Notfalldiagnostik und Stabilisierung für eine spätere Sekundärverlegung abgewogen werden.

Notfälle, die durch den Neurostimulator selbst verursacht werden, sind eher selten. Der einzige zeitkritische Notfall ist die Infektion des Implantats, die auch noch Jahre nach der Implantation auftreten kann. Die Diagnose wird klinisch gestellt (Rötung, Schwellung, Schmerz, später im Verlauf Hautperforation im Bereich des Implantates), die Labordiagnostik (Leukozyten, CRP) weist häufig Normwerte auf. Es sollte eine zügige Verlegung in das betreuende Zentrum zur operativen Sanierung angestrebt werden.

Wie im obigen Fallbeispiel stellen sich Patienten häufig mit einer Schmerzverstärkung vor. Bei der Anamnese sollten der zeitliche Verlauf, die Lokalisation und der Schmerzcharakter zum jetzigen Zeitpunkt und vor der Implantation eruiert werden, bei der klinischen Untersuchung ist insbesondere auf neue sensomotorische Defizite zu achten. Ist der gleiche Schmerz wie sonst aktuell nur schleichend verstärkt, ist meist eine Vorstellung im betreuenden Schmerzzentrum zur Systemkontrolle und weiteren Behandlung am nächsten Werktag ausreichend. Bei akut einsetzenden Schmerzen, Änderungen des Schmerzcharakters oder der Lokalisation sowie bei neuen sensomotorischen Defiziten ist eine neue Pathologie als Ursache der Beschwerden sehr wahrscheinlich, es muss eine Diagnostik wie bei jedem anderen Patienten auch erfolgen. Zusätzlich muss differenzialdiagnostisch an eine Reizung von Rückenmark bzw. Spinalganglien durch dislozierte Elektroden gedacht werden.



Stellt sich der Patient wegen heftigen Stromstößen oder anderen unangenehmen Sensationen vor, wird das System mit dem Patientenbediengerät abgeschaltet. Persistieren die Sensationen nach dem Abschalten, scheidet der Neurostimulator als Ursache aus und es ist weitere Diagnostik entsprechend der Beschwerden erforderlich. Bei Sistieren der Sensationen durch Ausschalten des Stimulators oder Ausfall der Stimulation kann eine elektive Vorstellung im betreuenden Schmerzzentrum zur Systemkontrolle am nächsten Werktag organisiert werden.

### Diagnostik mit Neurostimulator

Alle derzeit verfügbaren Neurostimulatoren haben keine oder eine eingeschränkte Zulassung für MRT-Untersuchungen [11,12]. Aufgrund der Vielzahl der Implantate können hier keine allgemeingültigen Aussagen getroffen werden. Informationen zum Zulassungsstatus und zur Vorbereitung des Implantates finden sich in den MRT-Informationen, die meist auf der Homepage des Herstellers zum Download angeboten werden.

Die Durchführung einer MRT-Untersuchung ist nach individueller Nutzen-

Risiko-Abwägung unter Berücksichtigung von zugelassenen Alternativen und entsprechender Aufklärung auch außerhalb der Zulassung denkbar [13]. Theoretisch mögliche Komplikationen sind eine Induktion von Strömen mit resultierenden Verbrennungen im Verlauf der Elektroden sowie eine Beschädigung der Elektronik des Generators [14]. In der Literatur finden sich nur vier Studien mit überwiegend veralteten Implantaten [13,15–17] sowie einige Fallberichte mit und ohne Komplikationen.

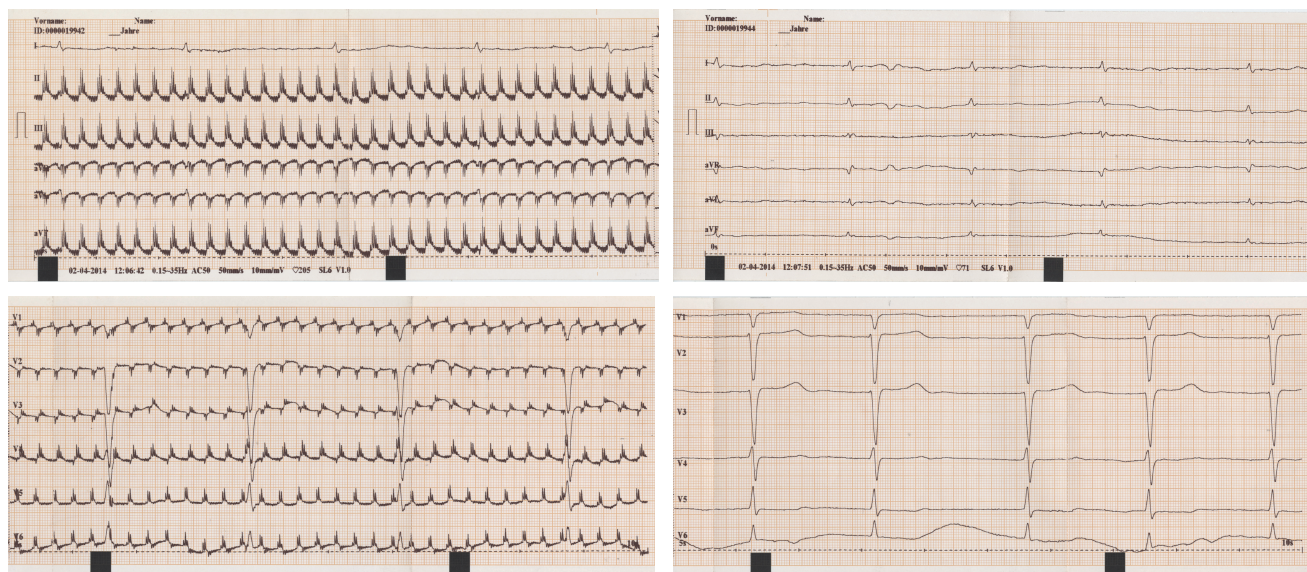
In Notfallsituationen sollte der Nicht-Spezialist wo immer möglich auf alternative bildgebende Verfahren (CT, Röntgen, Sonographie) ausweichen. Jegliche MRT-Diagnostik sollte nur in enger Absprache mit der implantierenden Einrichtung und ggf. unter Hinzuziehung eines Außendienstmitarbeiters des Herstellers zur Vorbereitung des Implantats nach den Vorgaben des jeweiligen Herstellers erfolgen. Die MRT-Untersuchung sollte ausschließlich am wachen, kooperativen Patienten erfolgen [13]. Abbruchkriterien sind ein lokales Hitzegefühl oder ein lokaler Schmerz im Bereich des Systems sowie elektrisierende Sensationen oder motorische Reaktionen während der

Untersuchung. Nach der Untersuchung muss nochmals eine vollständige Systemkontrolle durch den Hersteller oder die implantierende Einrichtung erfolgen.

Sämtliche Röntgenuntersuchungen einschließlich Computertomographie können wie sonst üblich durchgeführt werden [6].

Der durch den Neurostimulator erzeugte Strom kann alle elektrophysiologischen Untersuchungen (z. B. EKG, Elektoneurographie) erheblich stören (Abb. 2), daher sollte vor diesen Untersuchungen die Stimulation möglichst mit dem Patientenbediengerät ausgeschaltet werden [18]. Die meisten Generatoren haben einen Magnetschalter zur Notabschaltung bei fehlendem Bediengerät. Durch einmaliges Überstreichen des Generators mit einem starken Magneten (z. B. Schrittmachermagnet) kann so die Stimulation aus- und je nach Programmierung auch eingeschaltet werden: Der Magnet wird etwa 10 cm neben dem Generator positioniert und dann mit einer Geschwindigkeit von 5–10 cm pro Sekunde über den Generator auf die andere Seite neben diesen bewegt. Allerdings ist eine sichere Kontrolle der Abschaltung auf diesem Weg nicht möglich.

Abbildung 2



Links: EKG mit laufender Burst-Stimulation (oben periphere Ableitungen, unten Brustwandableitungen); rechts: EKG beim gleichen Patienten nach Abschalten der Stimulation.



**Fortsetzung Fallbeispiel 1:** Aufgrund der akuten Schmerzexazerbation mit neu aufgetretenen neurologischen Ausfallerscheinungen besteht der Verdacht auf eine neue Pathologie. Entsprechend der NVL Rückenschmerz [19] bestehen sog. „Red Flags“, damit besteht eine eindeutige Indikation für eine neue Bildgebung. Das implantierte SCS-System besitzt eine eingeschränkte MRT-Zulassung für Untersuchungen des gesamten Körpers, daher entscheiden sich der in der Nachsorge erfahrene Schmerztherapeut und der Neurochirurg gemeinsam zur MRT-Diagnostik der LWS. Das SCS-System wird vom Schmerztherapeuten in den MRT-Modus versetzt, anschließend erfolgt das MRT komplikationslos. Es findet sich ein ausgedehnter Rezidiv-BSV L4/5, seitens der zunächst konsiliarisch hinzugezogenen Neurochirurgen wird die Indikation zur erneuten operativen Dekompression mit anschließender PLIF L4/5 gestellt. Der Patient wird zur OP-Vorbereitung in die Wirbelsäulenchirurgie verlegt.

### Perioperative Versorgung von Patienten mit Neurostimulator

Schon während der Prämedikationsvisite sollten zusätzlich zum sonst üblichen Vorgehen auch die Daten zur Neurostimulation erhoben werden [6]: Welche Implantate hat der Patient? Wo liegt der Generator? Wie genau verlaufen die Kabel? Wo liegt der Zugang zur Wirbelsäule? Wo liegt die Elektroden spitze? Diese Informationen finden sich meist in den Entlassungsbriefen und in den OP-Berichten der Implantation. Im Zweifel kann eine Röntgenaufnahme in 2 Ebenen hilfreich sein.

Ist eine (rückenmarksnahe) Regionalanästhesie möglich? Zur Beantwortung dieser Frage ist die exakte Kenntnis der Lage aller Komponenten des Neurostimulationssystems zwingend erforderlich. **Im Verlauf der Elektroden darf keinesfalls eine Punktion erfolgen.** Bei SCS-Systemen ist eine Spinalanästhesie oftmals unterhalb des Zugangs für die

Elektroden möglich [20], eventuell ist der laterale Zugang nach Taylor erforderlich. Die Anlage eines Periduralkatheters kann 1–2 Segmente oberhalb der Elektroden spitze erfolgen. Bei DRG-Systemen wird in der Regel eine epidurale Entlastungsschleife über 2–3 Segmente nach cranial gelegt, eine Punktion ist häufig 2 Segmente oberhalb des cranialen Endes der Schleife oder unterhalb des Zugangs möglich, wobei der individuelle Elektrodenverlauf berücksichtigt werden muss [6].

Bei der streng durchzuführenden Nutzen-Risiko-Abwägung der Regionalanästhesie sind folgende zusätzliche Risiken zu bedenken:

- Im Falle einer Beschädigung oder Dislokation der Elektrode kommt es zum Wirkverlust der Stimulation, es ist eine Revisions-OP erforderlich.
- Das Infektionsrisiko ist bei einliegendem Fremdmaterial deutlich erhöht. Im Falle eines epiduralen Abszesses ist eine Explantation des Neurostimulators unumgänglich.

Der Patient soll sein Bediengerät in den OP mitbringen. Vor Einleitung der Anästhesie sollte der Neurostimulator aufgrund möglicher EKG-Veränderungen, sofern möglich, in den OP-Modus versetzt oder alternativ ausgeschaltet werden. Eine Wiederinbetriebnahme kann nach Verlegung auf die Normalstation erfolgen.

Bei der Hochfrequenz-Chirurgie darf ausschließlich die bipolare Technik verwendet werden [21]. In unserem Patientengut gab es mehrere defekte Generatoren nach Anwendung der monopolaren Technik. Der Operateur soll bei Operationen im Verlauf der Elektroden diese schonen, trotzdem lässt sich eine Beschädigung nicht mit absoluter Sicherheit vermeiden. Sollte es zu einer Beschädigung der Elektrode(n) kommen, so ist dies im OP-Bericht korrekt zu dokumentieren und der Patient darüber zu informieren. In implantierenden Zentren kann möglicherweise eine Reparatur in gleicher Sitzung erfolgen, daher sollte dort der Schmerztherapeut hinzugezogen werden. Vor der Entlassung sollte Kontakt mit dem betreuenden Neuromodulationszentrum aufgenommen werden, der Patient soll sich dort nach der Entlassung zeitnah zur Planung des weiteren Vorgehens vorstellen.

Postoperativ benötigen die Patienten trotz Neurostimulator grundsätzlich eine Behandlung der typischen postoperativen Schmerzen nach den üblichen Algorithmen der Abteilung, bei vorbestehender Opiattherapie sind häufig vorübergehend höhere Dosierungen erforderlich. Der Neurostimulator beeinflusst den Wundschmerz nicht.

**Fortsetzung Fallbeispiel 1:** Zunächst fragt der prämedizierende Anästhesist an, was bei der geplanten OP zu beachten ist. Gemeinsam wird festgelegt, dass der Neurostimulator sofort in den OP-Modus versetzt wird. Zudem wird er gebeten, an die Verwendung bipolaren Stromes zu erinnern. Wenige Minuten später informiert sich der zuständige Neurochirurg über das implantierte System und den genauen Kabelverlauf. Die Entlastungsschleife grenzt cranial an das OP-Gebiet. Auch er wird um ausschließliche Verwendung von bipolarem Strom und um Schonung der Elektrode gebeten. Die Operation verläuft komplikationslos, die postoperative Schmerztherapie erfolgt entsprechend dem Standard der Wirbelsäulenchirurgen mit einem Nichtopioidanalgetikum und einem WHO-Stufe-3-Opioid. Nach der Verlegung aus dem Aufwachraum wird am nächsten Tag das SCS-System wieder reaktiviert. Der Patient kann wenige Tage später mit einem Nicht-opioidanalgetikum (Wundschmerz!) nahezu schmerzfrei nach Hause entlassen werden.

### Grundlagen der pharmakologischen Neuromodulation

Die pharmakologische Neuromodulation erfolgt durch kontinuierliche Applikation von Medikamenten in den Liquor cerebrospinalis. In den meisten Fällen wird ein Katheter über einen lumbalen Zugang intrathekal mit der Spitze im Bereich der mittleren Brustwirbelsäule (häufig BWK 7) platziert, aber auch eine



Lage der Katheterspitze in der Cisterna cerebellomedullaris oder im Ventrikelsystem ist möglich. Dieser wird mit einer implantierten Medikamentenpumpe (implantable drug delivery system, IDDS) verbunden (Abb. 3), die üblicherweise im Bauchbereich epifascial implantiert wird [10]. In hochpalliativen Situationen mit kurzer Lebenserwartung kann der Spinalkatheter auch mit einem Portsystem verbunden werden, die Therapie erfolgt dann mit einer externen Medikamentenpumpe. In diesen Fällen wird die Portkammer – im Unterschied zu intravenösen Portsystemen – im Bereich der unteren Thoraxapertur platziert. Indikationen für die Testung einer intrathekalen Medikamentengabe mittels temporärem Katheter und externer Pumpe (in einzelnen Zentren auch mit Portsystem oder als Einmalinjektion) sind die Therapie der Spastik und nicht tolerable Nebenwirkungen durch eine systemische Opiattherapie in ausreichender Dosis. Auch ein gut lokalisierter Tumorschmerz, zum Beispiel bei Knochenmetastasen, kann eine hervorragende Indikation für eine intrathekale Therapie sein. Indikation für die Implantation eines dauerhaften IDDS-Systems ist die erfolgreiche Testung [22].

Technisch unterscheidet man Gasdruckpumpen von motorgetriebenen Pumpen.

Bei Gasdruckpumpen wird bei der Füllung mit dem Medikament ein Gas (zumeist n-Butan) komprimiert, der entstehende Überdruck presst das Medikament über den Regelmechanismus in das Kathetersystem. Gasdruckpumpen gibt es mit konstanter Flussrate, die Regulation erfolgt hier ausschließlich über eine Kapillare. Programmierbare Gasdruckpumpen haben zusätzlich einen Ventilmechanismus, über den die Öffnungszeit der Kapillare reguliert wird.

Motorgetriebene Pumpen sind immer programmierbar. Sie ermöglichen eine Variation der Flussrate im Tagesverlauf sowie fakultativ eine nach Vorgaben des Arztes durch den Patienten bedienbare Bolusfunktion und eignen sich daher in besonderer Weise für onkologische Patienten. Limitierender Faktor ist die Batteriekapazität. Sowohl Gasdruckpumpen als auch motorgetriebene Pumpen sind mit unterschiedlichen Volumina erhältlich.

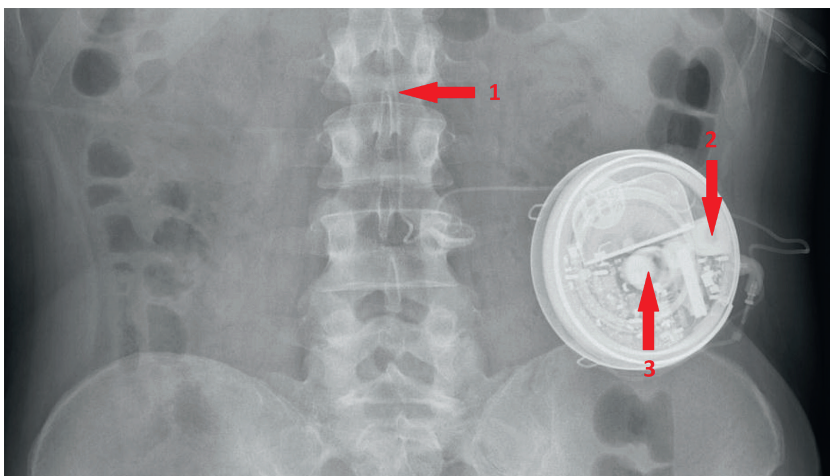
Zugelassene Medikamente sind in der Regel nur Morphinsulfat und Baclofen, für einige Pumpen auch Ziconotid und NaCl 0,9 %. Trotzdem werden Off-Label häufig auch Hydromorphon, Sufentanil, Clonidin, Ropivacain 1 % und Bupivacain 4 % verwendet.

Die Patienten erhalten unmittelbar nach der Implantation einen Patientenausweis, in den alle relevanten Daten der Pumpenfüllungen (Datum, Medikamente, aktuelle Tagesdosis, nächster Fülltermin) eingetragen werden. Die Neubefüllung wird regelmäßig von den implantierenden Zentren vor der Entlassung organisiert und ist je nach Größe der Pumpe, Inhalt und Dosierung alle 4–13 Wochen erforderlich. **Alle Pumpentypen dürfen ausschließlich durch einen Spezialisten mit Spezialnadeln punktiert werden!**

### Notfall IDDS-Patient – was tun?

**Fallbeispiel 2:** Frau A. (72 Jahre) stellt sich selbst außerhalb der regulären Arbeitszeiten mit einer Einweisung wegen AZ-Verschlechterung in der Notaufnahme vor. Zwei Wochen zuvor sei eine MRT-Untersuchung des Kniegelenks beim niedergelassenen Radiologen erfolgt, kurz darauf habe sie sich wegen Übelkeit, Erbrechen und Durchfall beim Hausarzt vorgestellt. Es sei eine Einweisung bei V. a. Gastroenteritis ins Krankenhaus vor Ort erfolgt. Unter einer Infusionstherapie habe sich der AZ weiter verschlechtert, sie habe zusätzlich starke Rückenschmerzen bekommen und sei seit der Krankenhausaufnahme immobil. Nach 7 Tagen sei sie in unverändert schlechtem AZ wegen Erfolglosigkeit der Therapie nach Hause entlassen worden. Seit einigen Tagen habe sie auch linksseitige Thoraxschmerzen. Aktuell bestünden auch Sehstörungen und eine allgemeine Kraftminderung. Der Hausarzt habe sie nun eingewiesen, da sie ihre Tabletten wegen der anhaltenden Übelkeit nicht mehr einnehmen könne. Es sind zahlreiche Vorerkrankungen bekannt (Z. n. Herzinfarkt mit Stentimplantation 4 Jahre zuvor, art. Hypertonie, Diabetes mellitus Typ II, Niereninsuffizienz Stadium III), zwei Jahre zuvor wurde wegen Failed-Back-Syndrom eine programmierbare Medikamentenpumpe implantiert, welche eine zufriedenstellende Schmerzlinderung brachte.

Abbildung 3



Röntgen-Übersichtsaufnahme eines IDDS-Systems (MedStream®, Codman & Shurtleff, Inc., Raynham, MA, USA).

1: Spinalkatheter; 2: Bolusport der Pumpe; 3: Füllport der Pumpe.



**Auch beim Notfallpatienten mit einem IDDS-System gilt, dass dieser genauso behandelt werden soll wie ein Patient mit gleichen Symptomen ohne Pumpe.** Der Schmerztherapeut sollte hinzugezogen werden, wenn es einen begründeten Verdacht auf eine Verursachung der Beschwerden durch die laufende Therapie gibt. Dieser Aspekt sollte auch schon durch den Notarzt bei der Auswahl des Transportziels bedacht werden, der Pumpenausweis sollte immer ins Krankenhaus mitgenommen werden.

**Bei jeder Opiattherapie muss unabhängig vom Applikationsweg immer an eine Opiatüberdosierung und an einen Opiatentzug gedacht werden.** Eine Überdosierung kündigt sich häufig durch Übelkeit und Erbrechen an, es folgen zügig die typischen Kardinalsymptome Miosis, Bewusstseinsstörung und Atemdepression [23]. Der Opiatentzug ist bei intrathekalen Opiattherapie eher untypisch und unspezifisch: Erstes Zeichen ist neben einer Verstärkung der bekannten Schmerzen meist eine gastrointestinale Symptomatik, die an eine Gastroenteritis denken lässt. Die vegetative Entgleisung ist im Vergleich zu oralen oder intravenösen Opiaten oft geringer ausgeprägt, kann aber im häufig älteren Patientengut bis zum manifesten Herzinfarkt führen [24].

**Die häufigsten Ursachen für einen Opiatentzug bei IDDS-System sind:**

- Pumpe ausgeschaltet (Füllung, MRT...) und Neustart vergessen
- zusätzliche orale Opiate abgesetzt
- Pumpenfülltermin vergessen oder falsch berechnet
- Pumpe falsch befüllt
- Katheterproblem (Dislokation, Leckage)
- Defekt der Pumpe.

Bei dringendem Verdacht auf eine Fehlfunktion der implantierten Medikamentenpumpe sollte diese schnellstmöglich im implantierenden Zentrum überprüft werden. Programmierbare Medikamentenpumpen haben üblicherweise eine Alarmfunktion. Eine piepsende Pumpe ist immer als Hinweis auf einen manifesten oder kurzfristig drohenden Ausfall

der Pumpe zu deuten. Bei der Anamnese und Untersuchung des Patienten sollte auch gezielt nach Entzugssymptomen gesucht werden.

Entzugssymptome können durch orale oder intravenöse Gabe eines Opiats innerhalb weniger Minuten beseitigt werden. Die Umrechnungsfaktoren zwischen intrathekalem und oralem Morphin werden je nach Umrechnungstabelle bzw. Literaturstelle zwischen 1:12 und 1:300 angegeben [25], sind jedoch nach unserer Erfahrung für die Substitution in der Praxis kaum nutzbar. Die Entzugssymptome lassen sich regelmäßig mit unerwartet niedrigen Dosen beseitigen, der verstärkte Schmerz ist jedoch in der Regel auch mit erheblich höheren Dosen kaum beeinflussbar. Wir empfehlen daher eine intravenöse Dosistitration bis zum Sistieren der Entzugssymptomatik. Bleibt der gewünschte Effekt auch nach 50–60 mg Morphinäquivalent oder Einsetzen der opiattypischen Nebenwirkungen aus, sollte die Diagnose Opiatentzug kritisch hinterfragt werden.

Stellt sich der Patient bei laufender intrathekalen Therapie aufgrund einer Verstärkung der Schmerzen vor, liefern die ausführliche Anamnese und Untersuchung wertvolle Hinweise. Eine Emp-

fehlung für das differenzialdiagnostische Vorgehen finden Sie in Tabelle 1.

Eine besondere Beachtung verdient die intrathekale Behandlung der Spastik: **Sowohl der Baclofenentzug als auch die Baclofenüberdosierung sind potenziell lebensbedrohliche Notfallsituationen** [26]. Alle Maßnahmen, die die Funktion des Systems gefährden können (z. B. MRT-Bildgebung, rückenmarksnahen Regionalanästhesien), sollten vermieden werden oder gehören in die Hand des erfahrenen Spezialisten, der auch mit den Komplikationen umgehen kann. Während die Überdosierung in fast allen Fällen mit einer vorherigen Neubefüllung oder Umprogrammierung der Pumpe einhergeht, kann der Entzug jederzeit auftreten. Symptome, Differenzialdiagnosen und Therapieempfehlungen sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Ebenfalls ein akuter Notfall ist die Infektion des IDDS-Systems, die ebenfalls häufig erst Jahre nach der Implantation auftritt. Auch beim IDDS-System wird die Diagnose klinisch gestellt. Die Laborwerte sind bei Infektionen der Pumpentasche nach unserer Erfahrung häufig weitgehend unauffällig, bei Infektionen des Kathetersystems oder Meningitis dagegen in den meisten Fällen deutlich erhöht. Es ist eine dringliche Vorstellung im implantierenden Zentrum zur

**Tabelle 1**  
Differenzialdiagnostik bei Schmerzzunahme unter laufender intrathekalen Therapie.

Symptome	Ursachen	Empfehlung
schleichende Zunahme der bekannten Beschwerden, kein neues sensomotorisches Defizit	- Toleranzentwicklung - Zunahme der schmerzauslösenden (degenerativen) Veränderungen	elektive Vorstellung beim betreuenden Schmerztherapeuten
akute Zunahme der bekannten Beschwerden, kein neues sensomotorisches Defizit, keine Entzugssymptome	- Zunahme der schmerzauslösenden (degenerativen) Veränderungen - neue Pathologie möglich - erstes Symptom einer Fehlfunktion	- stationäre Überwachung (Entwicklung von Entzugsserscheinungen?) - Diagnostik nach Bedarf - Vorstellung beim betreuenden Schmerztherapeuten erwägen
Veränderung der Beschwerden oder neues sensomotorisches Defizit	- neue Pathologie wahrscheinlich	Diagnostik erforderlich
akute Beschwerdezunahme mit Entzugserscheinungen	Fehlfunktion des IDDS-Systems	Opiatsubstitution schnellstmögliche Vorstellung im implantierenden Zentrum



Tabelle 2

Differentialdiagnostik und Therapie von Notfallsituationen aufgrund einer intrathekalen Baclofentherapie (mod. nach [25]).

	Baclofentzug	Baclofenüberdosierung
Symptome	Spastik ↑ Blutdruck ↓ Herzfrequenz ↑ Körpertemperatur ↑ Juckreiz Krampfanfälle Halluzinationen Bewusstseinsstörung	Lähmung Blutdruck ↓ Delir Krampfanfälle Bewusstseinsstörung bis Koma Atemdepression
Risiken	Rhabdomyolyse Disseminierte intravasale Koagulopathie (DIC) Multiorganversagen	Hypoxie
Differentialdiagnosen	Autonome Dysreflexie Maligne Hyperthermie Malignes neuroleptisches Syndrom Serotoninsyndrom Meningitis, Sepsis	Sepsis Intrakranielle Blutung Hypoglykämie Elektrolytentgleisung
Therapie	intensivmedizinische Betreuung orale Substitution schnellstmögliche Wiederherstellung der intrathekalen Therapie	intensivmedizinische Betreuung Kontrolle und ggf. Neubefüllung der Pumpe

Entscheidung über die weitere Therapie erforderlich, in den meisten Fällen muss die Pumpe mitsamt dem Kathetersystem explantiert werden.

Diagnostik mit Medikamentenpumpe

Sämtliche verfügbare IDDS-Systeme sind zumindest eingeschränkt MRT-tauglich, die meisten Systeme sind auch für Untersuchungen am ganzen Körper mit 3 Tesla zugelassen. Für Details verweisen wir auf die Handbücher bzw. die Hersteller. Rund um die implantierte Pumpe selbst kommt es zu größeren Auslöschungen, was bei der Indikationsstellung berücksichtigt werden sollte [27]. Besondere Vorsicht ist bei laufender intrathekaler Baclofentherapie angebracht. Patienten mit programmierbaren Medikamentenpumpen müssen zwingend unmittelbar nach dem MRT den behandelnden Schmerztherapeuten zur Überprüfung der Pumpenfunktion aufsuchen, dieser Aspekt sollte schon bei der Terminplanung berücksichtigt werden.

Sämtliche Röntgendiagnostik einschließlich Computertomographie ist uneingeschränkt möglich. Während Stimulatoren alle elektrophysiologischen Untersuchungen stören, sind solche Probleme bei Medikamentenpumpen nicht zu erwarten.

**Fortsetzung Fallbeispiel 2:** Der schmerztherapeutische Rufdienst wurde informiert und traf etwa 30 Minuten später bei der noch unversorgten Patientin ein. Durch diesen wurden ein EKG und die übliche Labordiagnostik initiiert. Die Medikamentenpumpe wurde überprüft, dabei stellte sich heraus, dass die Pumpe seit 17 Tagen ausgeschaltet ist. Die Tagesdosis lag zuletzt bei 3,92 mg Morphin. Es erfolgte eine sofortige Reaktivierung der Pumpe mit reduzierter Dosis. Nach intravenöser titrierter Gabe von 10 mg Morphin kam es zu einer deutlichen Schmerzlinderung, die Sehstörungen sistierten innerhalb weniger Minuten, die Kraft war wiederhergestellt. Aufgrund ei-

nes Troponin I-Wertes von 131 pg/ml (max. nach 5 Tagen bei 459 pg/ml) wurde die Patientin auf der Chest Pain Unit aufgenommen und eine Herzkatheteruntersuchung ohne Nachweis einer Stenose durchgeführt. Es kam zu einer raschen Rekompensation, nach 7 Tagen konnte die Patientin in die geriatrische Reha verlegt werden. Retrospektiv konnte eruiert werden, dass die Medikamentenpumpe für das MRT durch den betreuenden niedergelassenen Schmerztherapeuten ausgeschaltet wurde. Offenbar wurde die Reaktivierung der Pumpe nach dem MRT vergessen oder ist fehlgeschlagen. Die gesamte beschriebene Symptomatik ist als Opiatentzugssyndrom zu deuten.

Perioperatives Management mit Medikamentenpumpe

Im Prämedikationsgespräch sollten insbesondere die aktuelle intrathekale Medikation und das Datum der nächsten Pumpenfüllung erfragt werden. Hinweise auf die exakte Modellbezeichnung sowie die Lage von Pumpe und Katheter (Zugang zur Wirbelsäule und Spitze) finden sich im Pumpenausweis sowie in den Arztbriefen und ggf. OP-Berichten der Implantation. Eine umfassende Dokumentation dieser Daten präoperativ ist empfehlenswert, dann sind auch bei prolongierter intensivmedizinischer Therapie diese Informationen verfügbar. Nur ein Teil der verfügbaren Kathetersysteme ist röntgenkontrastgebend, sodass Röntgenaufnahmen nur bei eindeutig sichtbarem Katheterverlauf hilfreich sind. Bei IDDS-Systemen sind keine speziellen Vorbereitungen des Implantates vor der OP erforderlich [26].

Grundsätzlich sind mit implantierter Medikamentenpumpe auch Regionalanästhesien möglich. Für Spinalanästhesien kann in den meisten Fällen die Punktion unterhalb des Zugangs erfolgen, je nach laufender Medikation und Lage der Katheterspitze kann durch den Spezialisten auch eine Punktion des Bolusports und Injektion über den liegenden Katheter

erfolgen. Bei der PDK-Anlage sollen der Zugang sowie die benachbarten Segmente ausgelassen werden. Bei der Nutzen-Risiko-Abwägung müssen eine mögliche Beschädigung des Kathetersystems mit resultierendem Opiatentzug und das bei einliegendem Fremdmaterial erhöhte Risiko eines spinalen Abszesses bzw. einer Meningitis mit dann erforderlicher Explantation des Gesamtsystems berücksichtigt werden [26].

**Intraoperativ muss das Kathetersystem unter allen Umständen geschont werden!** Im Falle der Beschädigung des Katheters sollte die Katheterrevision möglichst in gleicher Sitzung erfolgen. Ist dies nicht möglich, ist eine vorausschauende Substitution bis zur Revisions-OP obligatorisch. Diese Aspekte müssen bei der chirurgischen Indikationsstellung und Aufklärung ebenfalls bedacht werden. Planbare Eingriffe im Verlauf des Katheters sollten möglichst in einem implantierenden Zentrum erfolgen.

Jeglicher Akutschmerz wird durch die intrathekale Medikation in der Regel nur unzureichend gelindert. Jegliche Dosisänderung ist träge und wird teilweise erst nach mehreren Tagen wirksam. Daher benötigen fast alle Patienten zusätzlich eine orale oder intravenöse Behandlung der üblichen postoperativen Schmerzen nach Abteilungsalgorithmus, gelegentlich sind hierfür deutlich höhere Dosierungen erforderlich.

### Danksagung

Die Autoren danken dem Statistischen Bundesamt (Destatis) für die kostenlose Überlassung von Auszügen der DRG-Statistik.

### Literatur

1. International Neuromodulation Society. Welcome to the International Neuromodulation Society. [www.neuromodulation.com](http://www.neuromodulation.com) (Zugriffsdatum: 15.01.2021)
2. Fallpauschalenbezogene Krankenhausstatistik (DRG-Statistik) 2019. Statistisches Bundesamt (Destatis) 2020
3. Gill ML, Grahn PJ, Calvert JS, Linde MB, Lavrov IA, Strommen JA, et al: Neuromodulation of lumbosacral spinal networks enables independent stepping after complete paraplegia. *Nat Med* 2018;24:1677–1682
4. Brunner M, Bittorf B, Matzel K: Modern Strategies for the Treatment of Fecal Incontinence. *Zentralbl Chir* 2019;144:190–201
5. Harned ME, Gish B, Zuelzer A, Grider JS: Anesthetic Considerations and Perioperative Management of Spinal Cord Stimulators: Literature Review and Initial Recommendations. *Pain Physician* 2017;20:319–329
6. Srejic U, Larson P, Bickler PE: Little Black Boxes: Noncardiac Implantable Electronic Medical Devices and Their Anesthetic and Surgical Implications. *Anesth Analg* 2017;125:124–138
7. Hardman MJ, Hagedorn JM: Perioperative Spinal Cord Stimulation Management: A Clinical Scenario of Device Loss and Recommendations for Anesthesiologists. *Pain Med* 2020;21:865–867



8. DGA, DGA, DGK, DGNC, DGNM, DGN, DGPSF, DGSS (eds): S3-Leitlinie Epidurale Rückenmarkstimulation zur Therapie chronischer Schmerzen – Langfassung. Version 7/2013. <https://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/008-023.html> (Zugriffsdatum: 06.05.2020)
9. De Agostino R, Federspiel B, Cesnulis E, Sandor PS: High-cervical spinal cord stimulation for medically intractable chronic migraine. *Neuromodulation* 2015;18:289–296; discussion 296
10. Kugler M: Neuromodulation in der Schmerztherapie: Epidurale und subkutane Nervenstimulation – Intrathekale Medikamentengabe. Stuttgart: Thieme 2013
11. Rubino S, Adepoju A, Kumar V, Prusik J, Murphy N, Owusu-Sarpong S, et al: MRI Conditionality in Patients with Spinal Cord Stimulation Devices. *Stereotact Funct Neurosurg* 2016;94:254–258
12. Sayed D, Chakravarthy K, Amirdelfan K, Kalia H, Meacham K, Shirvalkar P, et al: A Comprehensive Practice Guideline for Magnetic Resonance Imaging Compatibility in Implanted Neuromodulation Devices. *Neuromodulation* 2020;23:893–911
13. De Andres J, Valia JC, Cerda-Olmedo G, Quiroz C, Villanueva V, Martinez-Sanjuan V, et al: Magnetic resonance imaging in patients with spinal neurostimulation systems. *Anesthesiology* 2007;106:779–786
14. Panych LP, Madore B: The physics of MRI safety. *J Magn Reson Imaging* 2018;47:28–43
15. Tronnier VM, Staubert A, Hahnel S, Sarem-Aslani A: Magnetic resonance imaging with implanted neurostimulators: an in vitro and in vivo study. *Neurosurgery* 1999;44:118–125; discussion 125–116
16. Mutter UM, Bellut D, Porchet F, Schuknecht B: Spinal magnetic resonance imaging with reduced specific absorption rate in patients harbouring a spinal cord stimulation device – A single-centre prospective study analysing safety, tolerability and image quality. *Acta Neurochir (Wien)* 2013;155:2327–2332
17. Manfield J, Bartlett R, Park N: Safety and Utility of Spinal Magnetic Resonance Imaging in Patients with High-Frequency Spinal Cord Stimulators: A Prospective Single-Centre Study. *Stereotact Funct Neurosurg* 2019;97:272–277
18. Siddiqui MA, Khan IA: Differential electrocardiographic artifact from implanted spinal cord stimulator. *Int J Cardiol* 2003;87:307–309
19. Bundesärztekammer (BÄK), Kassenärztliche Bundesvereinigung (KBV), Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF): Nationale VersorgungsLeitlinie Nicht-spezifischer Kreuzschmerz – Langfassung, 2. Auflage. Version 1. 2017 DOI: 10.6101/AZQ/000353. [www.kreuzschmerz.versorgungsleitlinien.de](http://www.kreuzschmerz.versorgungsleitlinien.de)
20. Reining M, Voigt K, Gonnert F, Stolarczyk Y, Kretschmar M: Spinalanästhesie bei Patienten mit Spinal Cord Stimulation (SCS) – ein Fallbericht. *Anaesth Intensivmed* 2021;62:S140
21. Walsh KM, Machado AG, Krishnaney AA: Spinal cord stimulation: a review of the safety literature and proposal for perioperative evaluation and management. *Spine J* 2015;15:1864–1869
22. De Andres J, Asensio-Samper JM, Fabregat-Cid G: Intrathecal delivery of analgesics. *Methods Mol Biol* 2014;1141:249–278
23. Parthvi R, Agrawal A, Khanijo S, Tsegaye A, Talwar A: Acute Opiate Overdose: An Update on Management Strategies in Emergency Department and Critical Care Unit. *Am J Ther* 2019;26:e380–e387
24. Jackson TP, Loneragan DF, Todd RD, Martin PR: Intentional intrathecal opioid detoxification in 3 patients: characterization of the intrathecal opioid withdrawal syndrome. *Pain Pract* 2013;13:297–309
25. Sylvester RK, Lindsay SM, Schauer C: The conversion challenge: from intrathecal to oral morphine. *Am J Hosp Palliat Care* 2004;21:143–147
26. Nadherny W, Anderson B, Abd-Elseyed A: Perioperative and Periprocedural Care of Patients With Intrathecal Pump Therapy. *Neuromodulation* 2019;22:775–780
27. Hargreaves BA, Worters PW, Pauly KB, Pauly JM, Koch KM, Gold GE: Metal-induced artifacts in MRI. *AJR Am J Roentgenol* 2011;197:547–555.

### Korrespondenz- adresse



#### Marco Reining

Klinik für Schmerz- und Palliativ-  
medizin  
SRH Wald-Klinikum Gera  
Straße des Friedens 122  
07548 Gera, Deutschland  
E-Mail: [Marco.Reining@srh.de](mailto:Marco.Reining@srh.de)  
ORCID-ID: 0000-0003-1755-7465