

coloproctology 2025 · 47:282–285
<https://doi.org/10.1007/s00053-025-00890-5>
 Angenommen: 28. April 2025
 Online publiziert: 4. Juni 2025
 © The Author(s) 2025



Erfolgreiche präklinische implantatvermittelte Elektrostimulation und simultane Motilitätsanalyse des Kolon

Jonas F. Schiemer^{1,2} · Karen Stumm³ · Nadine Baumgart³ · Jan Baumgart³ · Werner Kneist^{2,4}

¹ Allgemein- und Viszeralchirurgie, St. Josefs-Hospital Wiesbaden, Wiesbaden, Deutschland

² Allgemein-, Viszeral- und Transplantationschirurgie, Universitätsmedizin Mainz, Mainz, Deutschland

³ Translational Animal Research Center, Universitätsmedizin Mainz, Mainz, Deutschland

⁴ Allgemein-, Viszeral- und Thoraxchirurgie, Klinikum Darmstadt GmbH, Darmstadt, Deutschland

Zusammenfassung

In der Therapie intestinaler Motilitätsstörungen stellt die implantatvermittelte Elektrostimulation (ES) einen vielversprechenden Ansatz dar. Die präklinische Anwendung eines Prototyp-Implantats verlief technisch erfolgreich. Eine deutliche Kontraktion im Colon ascendens wurde in der Videoanalyse synchron zur Elektromyographie nach ES mit 5 mA detektiert.

Schlüsselwörter

Intestinale Motilität · Motilitätsstörungen · Colon ascendens · Experimentelle Implantate · Slow-Transit-Obstipation

Hintergrund und Fragestellung

Intestinale Motilitätsstörungen manifestieren sich durch ein breites Symptompektrum und beeinträchtigen die Lebensqualität der Betroffenen durch physische und soziale Einschränkungen erheblich [1]. Therapierefraktäre Krankheitsbilder können u. a. durch eine Slow-Transit-Obstipation oder chronische idiopathische kolonische Pseudoobstruktion (CICP) bedingt sein. Dekompressive Verfahren wie die Zökostomie oder eine subtotale Kolektomie mit ileo- oder zökorektaler Anastomose finden aktuell therapeutische Anwendung [2–4]. Die sakrale Nervenstimulation hat keinen nachgewiesenen Nutzen in der Behandlung der Slow-Transit-Obstipation [5, 6].

Eine vielversprechende Alternative für therapierefraktäre Fälle stellt die direkte implantatvermittelte Elektrostimulation (ES) dar, deren Anwendung im Bereich des Kolons jedoch derzeit noch Gegenstand experimenteller Forschung ist [7].

Das interdisziplinäre Projekt „Interaktive Mikroimplantate“ (INTAKT) verfolgt den innovativen Ansatz, aktive vernetzte Implantate mit intelligenter Sensortechnologie und ES-basierter Motilitätsmodulation zu entwickeln, um Motilitätsstörungen gezielt zu überwachen und zu behandeln [8–10].

Studiendesign und Untersuchungsmethoden

Grundlegender Aufbau des Prototyp-Implantats

Die Cermet-Grundplatte mit einem Durchmesser von 22 mm ist mit 6 Flächenelektroden ausgestattet. Im Rahmen des präklinischen Experiments ist das Implantat mittels Drahtzuführung direkt an den Messverstärker und den Signalgenerator (ISIS Xpress, inomed Medizintechnik GmbH, Emmendingen, Deutschland) angeschlossen. Durch die Abdeckung aus thermoplastischem Polyurethan (TPU) er-



QR-Code scannen & Beitrag online lesen

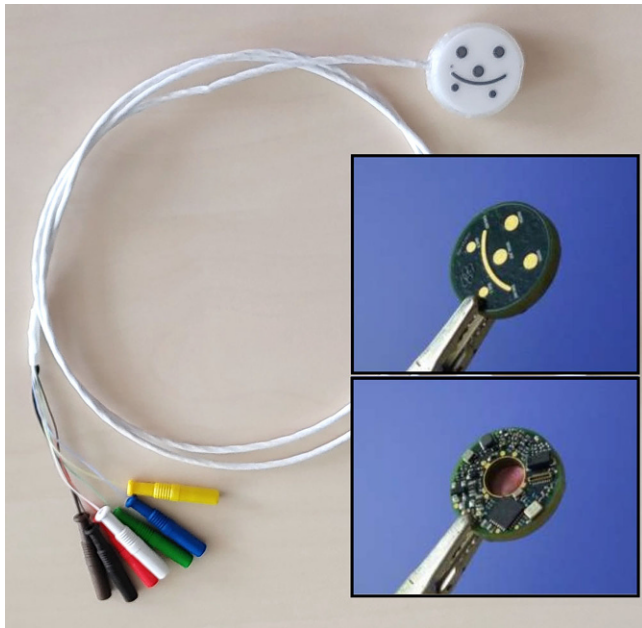


Abb. 1 ◀ Darstellung des kabelgebundenen Prototyp-Implantats mit Detailaufnahmen der elektronischen Komponenten (inomed Medizintechnik GmbH, Emmendingen, Deutschland; Fraunhofer Institut für Biomedizinische Technik)

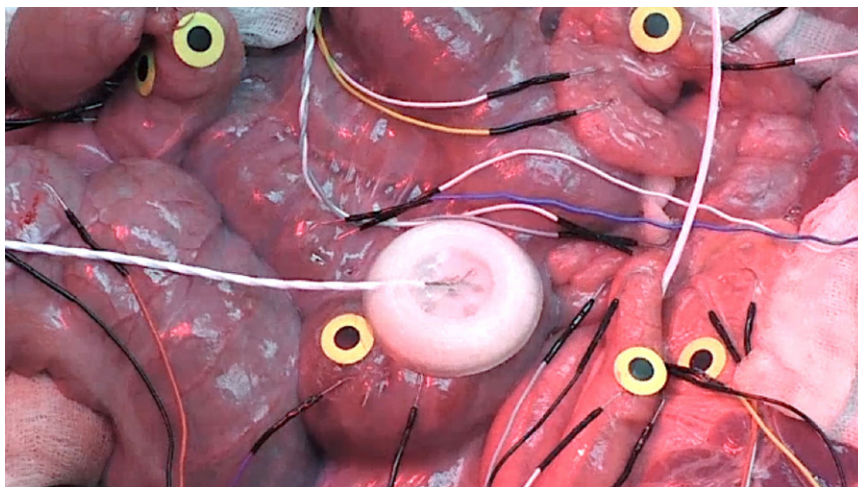


Abb. 2 ▲ Über eine mediane Laparotomie wurde das Implantat am Colon ascendens angebracht. Optische Marker dienen der Videoanalyse und Hakenelektroden einer elektrophysiologischen Basisuntersuchung

gibt sich eine Implantathöhe von 10 mm, die nach vollständiger Silikonvergussversiegelung zu einem Gesamtdurchmesser von 30 mm führt (■ Abb. 1).

Anästhesiologisches und chirurgisches Vorgehen

Das Akutexperiment wurde an einem gesunden Schwein (Körpergewicht: 39 kg) unter Allgemeinanästhesie mit Propofol und Fentanyl nach vorheriger Prämedikation mit Midazolam durchgeführt, wobei die Vitalparameter kontinuierlich überwacht wurden. Über eine mediane Laparotomie

wurde das Implantat auf das Colon ascendens aufgelegt.

Anschließend erfolgten am offenen Abdomen elektromyographische (EMG) Ableitungen sowie Elektrostimulationen, bei denen Stimulationsparameter mit schrittweise ansteigender Energie auf das Zielorgan appliziert wurden (Stromstärken: 2,5 und 5 mA; Frequenz: 30 Hz; Pulsbreite: 200 µs; Stimulationsdauer: 30 s). Zur elektrophysiologischen Basisuntersuchung wurden zusätzlich mehrere bipolare Hakenelektroden subserosal am terminalen Ileum, Zökum und Colon ascendens positioniert.

Datenanalyse

Die Analyse basiert auf 3 Zeitfenstern von jeweils 30 s: vor, während und nach der elektrischen Stimulation. Diese Intervalle wurden für beide Stimulationsintensitäten (2,5 und 5 mA) systematisch untersucht.

Für die komplexe Auswertung der EMG-Daten wurde eine Multiresolutionsanalyse zur Erkennung von Slow-Waves eingesetzt. Durch die Zerlegung der Signale in Frequenzbandkomponenten können Artefakte und Störungen unter Berücksichtigung des Energiedichtespektrums wirksam gefiltert werden. Dieser Prozess wurde in Python unter Verwendung der Bibliotheken numpy, scipy, scipy.signal und matplotlib implementiert (Python Software Foundation, <http://www.python.org>) [12]. Zur Quantifizierung der muskulären Aktivität wurde das EMG-Signal über die definierten Zeitfenster hinweg integriert, um ein Maß für die Gesamtaktivität innerhalb jedes Intervalls zu erhalten.

» Die Kolonmotilität wurde mithilfe einer markergestützten Videoanalyse untersucht

Die Kolonmotilität wurde mithilfe einer markergestützten Videoanalyse untersucht ([11]; ■ Abb. 2). Optische Marker wurden auf der Kolonserosa positioniert und ihre Bewegungen videobasiert erfasst. Die Auswertung erfolgte für die drei definierten Zeitintervalle relativ zu einem initialen Referenzpunkt, wobei die maximale Verschiebung der Markerpositionen in Pixeln gemessen wurde.

Ergebnisse

Intraoperativ traten weder chirurgische noch anästhesiologische Komplikationen auf. Über die Implantat-Flächenelektroden wurden Impedanzen von unter 5 kΩ gemessen, und die aufgezeichneten EMG-Signale wiesen eine hohe Signalqualität auf.

Die implantatvermittelte ES mit Stromstärken von 2,5 und 5 mA verlief technisch erfolgreich. In der Implantat-EMG wurden während der Stimulation hochfrequente Artefakte beobachtet, die sich als transiente Spitzen zu Beginn und am Ende der Stimulationsphase manifestierten

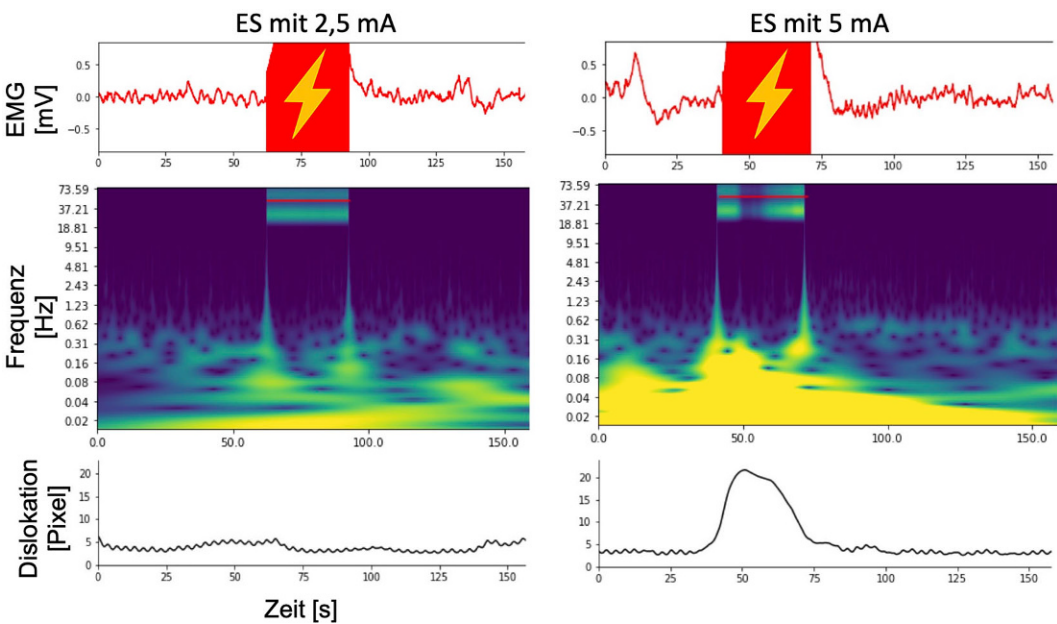


Abb. 3 ◀ Implantatvermittelte Elektrostimulation mit 2,5 und 5 mA für 30 s mit Elektromyographie(EMG)-Frequenzanalyse und markergestützter Videoanalyse

Tab. 1 Zur Quantifizierung der muskulären Aktivität wurde das Signal in der Elektromyographie (EMG) über 30-Sekunden-Intervalle integriert. Die Kolonmotilität wurde mithilfe einer markergestützten Videoanalyse relativ zu einem initialen Referenzpunkt untersucht ($n = 1$)				
	Stromstärke	Prästimulation [30 s]	Stimulation [30 s]	Poststimulation [30 s]
Integrierte EMG (mVs)	2,5 mA	202	194	178
	5 mA	286	509	129
Markerauslenkung (Pixel)	2,5 mA	3,7	4,9	3,3
	5 mA	3,3	16,4	5,3

(▣ **Abb. 3**). Unter einer Stimulationsintensität von 2,5 mA zeigte die Multiresolutionsanalyse eine Verstärkung der niederfrequenten Komponenten, insbesondere im Bereich von 0,04–0,08 Hz, die auch nach Beendigung der Stimulation persistierte. Zusätzlich traten weitere niederfrequente Signalanteile auf. Die Videoanalyse ergab dabei keine signifikante Markerdislokation.

Bei einer Stimulationsstärke von 5 mA war eine markante Zunahme der Aktivität im Frequenzbereich von 0,08–0,31 Hz nachweisbar, begleitet von einer erhöhten Grundaktivität. Nach dem Stimulationsende zeigte sich ein verzögertes Abklingen der niederfrequenten Signalanteile im Bereich von 0,02–0,08 Hz. Die markerbasierte Videoanalyse detektierte, synchron zur Multiresolutionsanalyse, eine deutliche Dislokation von 4 auf 22 Pixel.

In der integrierten EMG zeigte sich bei implantatvermittelter ES mit 2,5 mA eine relativ konstante elektrische Aktivität über

die drei definierten Zeitfenster (jeweils 30 s vor, während und nach der ES). Die höhere Intensität von 5 mA führte zu einer deutlich erhöhten Aktivität während der ES (▣ **Tab. 1**).

Die Videoanalyse zeigte bei ES mit 2,5 mA nur eine geringfügige Dislokation der optischen Marker in Bezug auf den initialen Bezugspunkt, während es bei ES mit 5 mA zu einer markanten Auslenkung innerhalb des 30-sekündigen Analysefensters kam.

Diskussion

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen eine Modulation der myoelektrischen Aktivität und der intestinalen Motilität durch die implantatvermittelte ES. Der in der EMG-Aufzeichnung beobachtete Stimulationsartefakt stellt ein bekanntes Phänomen dar und erfordert eine differenzierte Signalanalyse, um physiologische Reaktio-

nen eindeutig von technischen Interferenzen abzugrenzen [13].

» Die Messung der Slow-Wave-Aktivität des Kolons ist komplex

Die Messung der Slow-Wave-Aktivität des Kolons, welche eine zentrale Rolle in der koordinierten Peristaltik spielt, ist komplex, da sowohl Amplitude als auch Frequenz zeitlichen Schwankungen unterliegen [14–18]. Die in dieser Studie registrierte Zunahme der niederfrequenten Aktivität weist auf eine gezielte Beeinflussung dieser Slow-Wave-Dynamik durch die implantatvermittelte ES hin. Die markante Markerdislokation durch die ES mit 5 mA impliziert eine direkte motorische Antwort des Colon ascendens. Dieser zeitliche Zusammenhang von EMG-Aktivität und Markerauslenkung wurde in einer präklinischen Studie bereits hergestellt [19].

In der Analyse der integrierten EMG zeigte sich eine deutlich erhöhte Gesamtmuskelaktivität nach ES mit 5 mA. Die markante Markerdislokation durch die ES mit 5 mA impliziert eine direkte motorische Antwort des Colon ascendens. Eine motilitätsinduzierende Wirkung wurde mit 5 mA ES erreicht, wohingegen eine ES mit 2,5 mA offenbar unterhalb des Schwellenwerts lag und nicht zu diesen Effekten führte. Da der Verdauungstrakt des Schweins funktionelle und pathologische Ähnlichkeiten mit

dem menschlichen Verdauungstrakt aufweist [20], könnte sich klinische Relevanz ergeben.

Die Ergebnisse dieser Studie unterstreichen das Potenzial der implantatvermittelten ES als gezielte Intervention zur Modulation der Kolonmotilität, sind jedoch im Kontext eines Einzelexperiments limitiert. Zukünftige Forschungsarbeiten mit größeren Stichproben sollten sich auf die Optimierung der Stimulationsparameter, Schwellenwerte, Signalanalyse und weitere technische Optimierungen konzentrieren.

Fazit für die Praxis

- Die implantatvermittelte Elektrostimulation (ES) zeigt vielversprechende Ansätze zur Modulation der intestinalen Motilität.
- Die Elektromyographie (EMG) ermöglicht eine Erfassung der Motilitätsantwort für neue Therapieansätze.
- Diese neue Technologie könnte bestehende Therapien ergänzen und die Behandlung für die Betroffenen verbessern.

Korrespondenzadresse

Dr. rer. nat. Karen Stumm

Translational Animal Research Center,
Universitätsmedizin Mainz
Hanns-Dieter-Hüsch-Weg 19, 55128 Mainz,
Deutschland
karstumm@uni-mainz.de

Förderung. Das Verbundprojekt: Innovationscluster Interaktive Mikroimplantate (INTAKT) – Teilprojekt: Experimentelle Untersuchungen zur Etablierung interaktiver Mikroimplantate als Therapieoption am motilitätsgestörten Intestinaltrakt wurde vom BMBF gefördert. (FKZ: 16SV7638)

Datenverfügbarkeit. Die in dieser Studie erhobenen Datensätze können auf begründete Anfrage beim Korrespondenzautor angefordert werden.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. J.F. Schiemer, K. Stumm, N. Baumgart, J. Baumgart und W. Kneist geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden keine Studien an Menschen durchgeführt. Die projektbezogenen Studien am Tier sind aufgeführt und wurden vom Landesamt für Tierschutz, Koblenz, Rheinland-Pfalz, Deutschland zugelassen (Kennzeichen G-17–1-008).

Open Access. Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung - Nicht kommerziell - Keine Bearbeitung 4.0 International Lizenz veröffentlicht.

Successful preclinical implant-mediated electrical stimulation and simultaneous motility analysis of the colon

Implant-mediated electrical stimulation (ES) is a promising approach in the treatment of intestinal motility disorders. The preclinical application of a prototype implant was technically successful. A clear contraction in the ascending colon was detected in the video analysis synchronized with the electromyography after ES with 5 mA.

Keywords

Intestinal motility · Motility disorders · Ascending colon · Experimental implants · Slow-transit obstruction

fentlicht, welche die nicht-kommerzielle Nutzung, Vervielfältigung, 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 Lizenz gibt Ihnen nicht das Recht, bearbeitete oder sonst wie umgestaltete Fassungen dieses Werkes zu verbreiten oder öffentlich wiederzugeben. 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 <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.

Literatur

1. Raubinger S, Allworth S, Carey S (2023) When you are living and dying at the same time: a qualitative exploration of living with gastrointestinal motility disorders. *J Hum Nutr Diet* 36:622–631
2. Perivoliotis K, Baloyiannis I, Tzouvaras G (2022) Cecorectal (CRA) versus ileorectal (IRA) anastomosis after colectomy for slow transit constipation (STC): a meta-analysis. *Int J Colorectal Dis* 37:531–539
3. Miyazaki K, Torashima Y, Mochizuki S et al (2014) Hand-assisted laparoscopic subtotal colectomy with cecorectal anastomosis for chronic idiopathic colonic pseudo-obstruction: report of a case. *Surg Today* 44:581–585
4. Yoshimura K, Ohge H, Shimada N et al (2020) Successful surgical procedure based on careful preoperative imaging for chronic idiopathic colonic pseudo-obstruction: a case report. *Surg case rep* 6:275
5. Patton V, Stewart P, Lubowski DZ et al (2016) Sacral Nerve Stimulation Fails to Offer Long-term Benefit in Patients With Slow-Transit Constipation. *Dis Colon Rectum* 59:878–885
6. Dinning PG, Hunt L, Patton V et al (2015) Treatment efficacy of sacral nerve stimulation in slow transit constipation: a two-phase, double-blind randomized controlled crossover study. *Am J Gastroenterol* 110:733–740
7. Ortega-Isasa I, Ortega-Morán JF, Lozano H et al (2024) Colonic Electrical Stimulation for Chronic Constipation: A Perspective Review. *Biomedicines* 12:481

8. Schiemer JF, Stumm K, Ruta M et al (2022) INTAKT: Interaktive vernetzte Theraonstik-Implantate bei intestinalen Motilitätsstörungen. *coloproctology* 44:339–342
9. Hoffmann KP, Olze H, Kneist W et al (2019) Technical, medical and ethical challenges in networks of smart active implants. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2019:1484–1487
10. inomed Medizintechnik (2022) inomed Medizintechnik. <http://intakt-projekt.de>. Zugriffen: 25. März 2025
11. Lente K, Somerlik-Fuchs KH, Schiemer JF et al (2018) Motility analysis by means of video tracked markers. *Curr Dir Biomed Eng* 4:341–344
12. Schiemer JF, Stumm K, Olsommer Y, Lang H, Baumgart N, Baumgart J, Kneist W (2025) Robotic Placement of Experimental Prototypes for Wireless Gastric Electrical Stimulation Implants. *Eur Surg Res*
13. Mandrile F, Farina D, Pozzo M et al (2003) Stimulation artifact in surface EMG signal: effect of the stimulation waveform, detection system, and current amplitude using hybrid stimulation technique. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng* 11:407–415
14. Fioramonti J, Bueno L, Sarna SK et al (1980) Origin of high slow-wave frequency in the dog colon. *Reproduction Nutr Développement* 20:983–990
15. Huizinga JD, Stern HS, Chow E et al (1985) Electrophysiologic control of motility in the human colon. *Gastroenterology* 88:500–511
16. Smith TK, Reed JB, Sanders KM (1987) Interaction of two electrical pacemakers in muscularis of canine proximal colon. *Am J Physiol* 252:290–299
17. Sarna SK, Bardakjian BL, Waterfall WE et al (1980) Human colonic electrical control activity (ECA). *Gastroenterology* 78:1526–1536
18. Taylor I, Duthie HL, Smallwood R et al (1975) Large bowel myoelectrical activity in man. *Gut* 16:808–814
19. Schiemer JF, Heimann A, Somerlik-Fuchs KH et al (2018) Electrical stimulation with motility analysis of five parts of the gastrointestinal tract. *Curr Dir Biomed Eng* 4:9–11
20. Brown DR, Timmermans JP (2004) Lessons from the porcine enteric nervous system. *Neurogastroenterol Motil* 16:50–54

Hinweis des Verlags. Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.