

Titel:

Grundlagen der (Funktionellen) Elektrostimulation – Von der Neuroprothetik zur Neuromodulation

Vortragender:

Prof. Dr. Rüdiger Rupp
Universitätsklinikum Heidelberg – Klinik für Paraplegiologie

Zusammenfassung (300 Zeichen)

Mittels der Funktionellen Elektrostimulation (FES) können elektrisch aktivierbare Strukturen des zentralen Nervensystems physiologisch angeregt werden. Neben der Neuroprothetik zur Unterstützung motorischer Funktionen gewinnen neuromodulatorische FES-Therapieeffekte immer mehr an Bedeutung.

Einführung (1000 Zeichen)

Die Funktionelle Elektrostimulation ist ein seit langem etabliertes Verfahren zur Aktivierung von elektrisch erregbaren Strukturen des zentralen Nervensystems (ZNS). Seit den 70-er Jahren des letzten Jahrhunderts stehen vor allem neuroprothetische Verfahren zur Wiederherstellung von ausgefallenen motorischen Funktionen im Vordergrund [1], zu denen hauptsächlich die Verbesserung des Fallfußes, der Atem- und Greiffunktion bei Hoch-Querschnittgelähmten, des Transfers, der Steh- und im begrenzten Maße auch der Gehfunktion, und der Blasenentleerung zählen [2]. Über die letzten Jahre wurden zunehmend strukturierte Studien durchgeführt, um die immer wieder bei neuroprothetischen Anwendungen anekdotisch beschriebenen Verbesserungen auf die Willkürmotorik zu untersuchen. Auf deren Basis hat sich mittlerweile die Erkenntnis durchgesetzt, dass mit der Kombination aus FES und aufgabenspezifischen Training die Neuroplastizität im ZNS weit zielgerichteter gefördert werden kann als bisher angenommen.

Methodik (1000 Zeichen)

Aufgrund der niedrigeren Erregungsschwelle lösen Elektrostimulationsimpulse immer zuerst auf Nerven Aktionspotenziale aus [3]. Daher ist die Bezeichnung ‚Muskelstimulation‘ oft irreführend, da die Muskelfasern nicht direkt, sondern über die sie innervierenden motorischen Nervenäste aktiviert werden. Nicht mehr durch periphere Nerven innervierte Muskulatur kann zwar mittels Elektrostimulation prinzipiell zur Kontraktion angeregt werden, allerdings werden um den Faktor 500 größere Ladungsmengen bzw. Pulsbreiten mit dem Risiko von Hautschädigungen aufgrund zu hoher Stromdichten benötigt. Außerdem ist die Kraftentwicklung denervierter Muskulatur für neuroprothetische Anwendungen auch bei intensivem FES-Training nur bedingt ausreichend [4]. Mittels FES werden aber nicht nur motorische Antworten ausgelöst, sondern auch sensible Reize entweder direkt - durch die Stimulation von sensiblen Nervenfasern - oder indirekt - durch Muskelkontraktionen aktivierte muskeleigene Sensorik - gesetzt.

Ergebnisse (1500 Zeichen)

Der Anwendungsbereich der FES deckt eine Vielzahl von Applikationen ab, die von der einfachen, einkanaligen Stimulation zum Muskeltraining bis hin zur komplexen, mehrkanaligen (Greif-)Neuroprothese reichen. Bei Berücksichtigung der individuellen Nutzergegebenheiten und -prioritäten und einer qualifizierten Therapieeinrichtung und Nachbetreuung können Neuroprothesen eine wesentliche Komponente in der Rehabilitation von Patienten mit Lähmungen darstellen.

Implantierte Neuroprothesen haben sich bisher nicht in der Regelversorgung durchsetzen können. Die Gründe hierfür liegen in der nur unzureichend für neuroprothetische Versorgungen ausgelegten klinischen Infrastruktur, dem Kostenaufwand und der Nutzerunzufriedenheit mit nicht vollständig implantierten Systemen. Ein generelles Problem der FES besteht in der im Vergleich zur physiologischen Aktivierung schnell einsetzenden Muskelermüdung, auch wenn sich diese mit einem adäquaten Stimulationstraining und der damit verbundenen Umbildung von schnell in langsam ermüdende Muskelfasern effektiv verringern lässt.

Bei den neuromodulativen Verfahren haben sich die sensibel über-, aber motorisch unterschwellige Stimulation der Hand [5] und die transkutane oder epidurale Stimulation der Hinterwurzeln des lumbalen Rückenmarks [6] als vielversprechend herausgestellt. Bei Verfahren stellen aber im Gegensatz zur motorischen FES keine eigenständige Therapie dar, sondern fungieren als Booster für aufgabenspezifische Trainingsverfahren.

Schlussfolgerungen (1500 Zeichen)

Die Funktionelle Elektrostimulation stellt eine etablierte Option in der Behandlung und Rehabilitation von Menschen mit Schädigungen des zentralen Nervensystems dar. Eine genaue Kenntnis der Wirkungsweise der Stimulation bei innervierter und denervierter Muskulatur ist eine unabdingbare Voraussetzung für die richtige Geräte- und Stimulationsparameterauswahl. Bei den neuroprothetischen Anwendungen der FES sind es hauptsächlich Handhabbarkeitsaspekte, die über die Nutzerakzeptanz entscheiden. Während die FES in der Vergangenheit hauptsächlich für therapeutische oder neuroprothetische Fragestellungen eingesetzt wurden, findet momentan ein Paradigmenwechsel in Richtung Neuromodulation statt. Erste Studien bei Querschnittgelähmten zeigen, dass eine Verbesserung von Willkürfunktionen durch eine afferente Stimulation während aufgabenspezifischer Therapien möglich ist. Hiervon profitieren hauptsächlich Patienten mit noch erhaltenen motorischen Restfunktionen. Die Evidenzlage bei neuromodulatorischen Verfahren ist generell spärlich, da die Studiendesigns sehr heterogen und damit nicht vergleichbar sind. Auch können sich die Behandlungsergebnisse von neuromodulatorischen Behandlungsverfahren von Patient zu Patient erheblich unterscheiden. Um diese Verfahren zukünftig in der klinischen Routine etablieren zu können, ist die Erarbeitung von klinischen Algorithmen zur Patientenauswahl und individuellen Einstellung der Stimulationsparameter von größter Wichtigkeit.

Referenzen (1500 Zeichen)

[1] Rupp R (2017) Neuroprosthetics. In: Weidner N, Rupp R, Tansey KE (Eds) Neurological aspects of spinal cord injury. Springer International, Cham, pp 689–720. doi: 10.1007/978-3-319-46293-6_24

- [2] Eck U., Rupp R. (2021) History of Neuroprosthetics. In: Müller-Putz G., Rupp R. (eds) Neuroprosthetics and Brain-Computer Interfaces in Spinal Cord Injury. Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-030-68545-4_4
- [3] Rupp R. (2021) Functional Electrical Stimulation. In: Müller-Putz G., Rupp R. (Eds) Neuroprosthetics and Brain-Computer Interfaces in Spinal Cord Injury. Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-030-68545-4_2
- [4] Kern H, Carraro U, Adami N, Hofer C, Loeffler S, Vogelauer M, Mayr W, Rupp R, Zampieri S (2010) One year of home-based daily FES in complete lower motor neuron paraplegia: recovery of tetanic contractility drives the structural improvements of denervated muscle. *Neurol Res* 32(1):5–12. doi: 10.1179/174313209X385644
- [5] Golaszewski SM, Bergmann J, Christova M, Kunz AB, Kronbichler M, Rafolt D, Gallasch E, Staffen W, Trinka E, Nardone R (2012) Modulation of motor cortex excitability by different levels of whole-hand afferent electrical stimulation. *Clin Neurophysiol.* 123(1):193-9. doi: 10.1016/j.clinph.2011.06.010
- [6] Hofstoetter US, Freundl B, Binder H, Minassian K (2018) Common neural structures activated by epidural and transcutaneous lumbar spinal cord stimulation: Elicitation of posterior root-muscle reflexes. *PLoS One* 13(1):e0192013. doi: 10.1371/journal.pone.0192013.