

Titel:

Assistive Neurotechnologie für die Rehabilitation von Menschen mit Querschnittlähmung – Was gibt's Neues?

Vortragender:

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

Zusammenfassung (300 Zeichen)

Klassischerweise verhelfen Hilfsmittel Menschen mit Querschnittlähmung zu mehr Selbständigkeit. In neuerer Zeit rücken zunehmend neurotechnologische Assistenzsysteme in den Fokus, die Funktionsverbesserungen in einem bisher nicht für möglich gehaltenem Ausmaß versprechen.

Einführung (1000 Zeichen)

Leider existiert keine ursächliche Therapie der Rückenmarkschädigung. Bisher sind es vor allem klassische Hilfsmittel wie Rollstühle oder Orthesen, die Menschen mit Querschnittlähmung zu mehr Selbständigkeit bei Alltagsaufgaben verhelfen. In neuester Zeit rücken immer mehr neurotechnologische Assistenzsysteme sowohl zur Kompensation von vollständig ausgefallenen als auch zur bestmöglichen Restitution von Funktionen in den Fokus. Letzteres steht bei Patienten mit erhaltenen Restfunktionen im Vordergrund, die in Industrieländern durch die Zunahme von nicht-traumatischen Lähmungsursachen die Mehrzahl bilden [1]. Erste klinische Ergebnisse dieser direkt mit dem zentralen Nervensystem inklusive Rückenmarks interagierenden Systeme lassen auf einen über das übliche Maß hinausgehenden Funktionsgewinn hoffen [2]. Derzeitige Anwendungen umfassen innovative Systeme zur Steuerung von Exoskeletten oder Roboterarmen, aber auch zur gezielten Neuromodulation und Verbesserung der Neuroplastizität.

Methodik (1000 Zeichen)

Speziell für Hoch-Querschnittgelähmte mit vollständiger Lähmung beider Arme bieten invasive Brain-Computer Interfaces (BCIs, auch Brain-Machine Interfaces (BMIs) genannt) die Möglichkeit zur intuitiven Steuerung von mehrgelenkigen Roboterarmen [3]. Mit der gleichen Technologie ist auch die Gedankensteuerung eines Tablet-Computer möglich [4].

Eine vielversprechende Methode zur Wiederherstellung der Gehfunktion auch bei vollständiger Lähmung der unteren Extremitäten stellt die Epidurale Rückenmarkstimulation (engl. Epidural Spinal Cord Stimulation eSCS) dar [5]. Sind noch motorische Restfunktionen unterhalb der Läsionsstelle vorhanden, so können die Effekte eines intensiven, funktionsorientierten Trainings mit der eSCS weiter verstärkt werden [6]. Präklinische Studien zeigen, dass mit der Vagusnervstimulation ebenfalls neuromodulatorische Effekte und im Sinne einer Boosterung von aufgabenspezifischen Therapien erzielt werden können [7].

Ergebnisse (1500 Zeichen)

Mit invasiven BCIs sind Hoch-Querschnittgelähmte grundsätzlich in der Lage, Roboterarme mit bis zu 10 Freiheitsgraden für die Ausführung von Alltagsaufgaben wie Essen zu steuern. Allerdings besteht noch großer Verbesserungsbedarf hinsichtlich der Langzeitstabilität der Elektroden, der Fehleranfälligkeit der Steuerung und dem Zeitbedarf für das Training [3, 4].

Vor kurzem konnte an 3 Menschen mit kompletter Paraplegie gezeigt werden, dass mittels individuell optimierter eSCS des tieftorakalen Rückenmarks eine Steh- und Gehfunktion unmittelbar nach der Implantation erreicht werden kann. Allerdings scheint bei Gehstrecken von < 70m eher eine innerhäusliche Anwendung realistisch [5]. Anders sieht die Situation bei Menschen mit inkompletter Lähmung aus, bei denen es neben dem unmittelbaren Stimulationseffekt langfristig auch zur Verbesserung der Willkürfunktion durch neuroplastische Veränderungen kommen kann [6]. Allerdings sind dafür hohe Trainingsintensitäten notwendig, so dass die eSCS eher als Booster für aufgabenspezifische Trainingsverfahren und weniger als eigenständige Therapieform anzusehen ist. Eine vielversprechende Methode zur Steigerung der Plastizität des Gehirns besteht in einer closed-loop Anwendung der afferenten Vagusnervstimulation. Hier konnte in präklinischen Anwendungen gezeigt werden, dass durch eine mit einer Bewegungsaufgabe zeitlich und ergebnisbezogen koordinierten Stimulation zusätzliche Lerneffekte in Gang gesetzt werden [7].

Schlussfolgerungen (1500 Zeichen)

Neurotechnologische Assistenzsysteme, die direkt mit Strukturen des Nervensystems interagieren, bieten das Potenzial, Menschen mit Querschnittlähmung zu mehr Selbständigkeit zu verhelfen. Besonders vielversprechend ist die Rückenmarkstimulation von afferenten Nervenwurzeln in Kombination mit aufgabenspezifischen Therapien, wovon hauptsächlich Patienten mit noch erhaltenen motorischen Restfunktionen profitieren. Allerdings ist die Gruppe der bisherigen Anwender klein und es fehlen Langzeiterfahrungen mit der Alltagsanwendung der Systeme außerhalb des klinischen Settings durch Betroffene selbst. Generell besteht großer Bedarf zur Verbesserung der Praxistauglichkeit der Systeme, die letztlich ausschlaggebend für die Akzeptanz bei Endnutzern und klinischen Experten ist. Die neuen gesetzlichen Rahmenbedingungen der Medical Device Regulation machen die Testung und das User-Centered Design von innovativen Neurotechnologien im Rahmen von klinischen Prüfungen extrem aufwändig und langwierig, so dass nicht davon auszugehen ist, dass diese für den Patienten sehr vielversprechenden Systeme in Bälde in der breiten klinischen Routine eingesetzt werden können.

Referenzen (1500 Zeichen)

- [1] Rupp R. (2020) Spinal cord lesions. Handb Clin Neurol. 168:51-65.
- [2] Rupp R (2021) Technische Assistenzsysteme für die motorische Rehabilitation von Querschnittgelähmten, Orthopädiotechnik 72(9):36-43.
- [3] Rapeaux AB, Constandinou TG. Implantable brain machine interfaces: first-in-human studies, technology challenges and trends. Curr Opin Biotechnol. 2021 Dec;72:102-111.
- [4] Nuyujukian P, Albitres Sanabria J, Saab J, Pandarinath C, Jarosiewicz B, Blabe CH et al. (2018) Cortical control of a tablet computer by people with paralysis. PLoS One 13(11):e0204566.

[5] Paoles E, Montanaro H, Cassara A, Becce F, Lloyd B, Newton T, et al. (2022) Activity-dependent spinal cord neuromodulation rapidly restores trunk and leg motor functions after complete paralysis. *Nat Med.* 28(2):260-271.

[6] Wagner FB, Mignardot JB, Le Goff-Mignardot CG, Demesmaeker R, Komi S, Capogrosso M et al. (2018) Targeted neurotechnology restores walking in humans with spinal cord injury. *Nature* 563(7729):65-71.

[7] Ganzer PD, Darrow MJ, Meyers EC, Solorzano BR, Ruiz AD, Robertson NM et al. (2018) Closed-loop neuromodulation restores network connectivity and motor control after spinal cord injury. *Elife* 13;7:e32058.