

Elektrische Rückenmarksstimulation: FAU-Studie liefert Daten für verbesserte Therapie

Forschende der FAU zeigen konzeptionelle Schwächen etablierter Verfahren auf

Die elektrische Stimulation des Rückenmarks, etwa nach einer Querschnittslähmung, hat in den vergangenen Jahren große Fortschritte gemacht. Hochfrequente Stimulationspulse, die in vielen aktuellen Anwendungen eingesetzt werden, aktivieren jedoch offenbar weniger effizient jene Nervenfasern, die vermutlich entscheidend zu therapeutischen Effekten beitragen. Zu diesem Schluss kommt eine Studie, die von einem internationalen Team unter Beteiligung der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) durchgeführt wurde. Durch elektrophysiologische Untersuchungen am Menschen sowie hochdetaillierte Computermodelle des menschlichen Körpers konnten die Forschenden sichtbar machen, welche neuronalen Strukturen durch die Stimulation aktiviert werden. Die Ergebnisse, die im Fachjournal *Nature Biomedical Engineering* publiziert wurden, sollen dazu beitragen, medizintechnische Anwendungen zu verbessern.

Eine Schädigung des Rückenmarks ist meist irreversibel. Dennoch können chronisch Gelähmte durch intensives Training und medizintechnische Unterstützung wieder motorische Funktionen erlernen. Einen Durchbruch erzielte dabei die invasive Rückenmarksstimulation. „Zunächst nutzte man dafür Stimulatoren, die sehr nah an die Nervenwurzeln geführt wurden, um gezielt Neuronenpopulationen zu aktivieren“, erklärt Prof. Dr. Andreas Rowald, Inhaber der Professur für Digital Health an der FAU. „Dieses Verfahren ist nicht nur ein invasiver medizinischer Eingriff, es ist auch mit einem enormen technologischen Aufwand verbunden.“

Aus diesen Gründen hat sich in den letzten Jahren eine erfolgversprechende Alternative entwickelt: die Stimulation durch Elektroden, die auf der Haut oberhalb des Rückenmarks platziert werden. Klinische Studien haben gezeigt, dass Menschen mit Querschnittslähmung auch durch das nicht-invasive Verfahren motorische Funktionen teilweise wiedererlangen können. „Aus diesen Arbeiten sind inzwischen erste klinische Medizinprodukte in Europa und den USA hervorgegangen“, erklärt Rowald. „Wir haben allerdings festgestellt, dass wenig fundiertes Wissen darüber vorhanden ist, warum diese Produkte überhaupt funktionieren und wie man sie gezielt anwenden sollte.“

Digitaler Zwilling ergänzt klinische Untersuchungen

Um diese Wissenslücke zu schließen, hat ein Forschungsteam der FAU, der Medizinischen Universität Wien und der Washington University in St. Louis (USA) eine Studie durchgeführt, die Untersuchungen am Menschen mit Computersimulationen des menschlichen Körpers kombiniert. Im evidenzbasierten Teil der Studie wurde an 28 gesunden Probanden getestet, welche Nerven- und Muskelaktivierungen durch nicht-invasive Elektrostimulationen ausgelöst werden. „Neben verschiedenen peripheren Nervenstimulationen an Armen und Beinen konzentrierten sich die Versuche insbesondere auf den Bereich der Hals- und Lendenwirbelsäule“, sagt Andreas Rowald. „Das sind die typischen Schwerpunktstellen bei Rückenmarksverletzungen.“

Abgeglichen wurden die klinischen Aktivierungsmuster mit hochdetaillierten Computersimulationen. Das Institut für Medizininformatik, Biometrie und Epidemiologie der FAU sowie das Department of Artificial Intelligence in Biomedical Engineering (AIBE) besitzen eine weltweit einzigartige Expertise

auf diesem Gebiet. „Wir haben in den vergangenen Jahren sukzessive digitale Zwillinge des menschlichen Körpers erstellt, in die alle verfügbaren Daten zu biophysikalischen Vorgängen fließen“, erklärt Rowald. „Die Modelle erlauben einen Einblick in Prozesse, die sich experimentell im Menschen nicht direkt beobachten lassen.“ Die Modellierung reicht vom makroskopischen Stromfluss durch den Körper bis zur mikroskopischen Modulation einzelner Ionenkanäle auf neuronalen Membranen. So können die Forschenden präzise vorhersagen, wie Nerven auf elektrische Reize unterschiedlicher Stimulationsparameter reagieren und wo Elektroden platziert werden müssen, damit der Strom gezielte Reaktionen im Nervensystem auslöst.

Anwendungen oft nicht nachhaltig

Die Ergebnisse der Studie legen nahe, dass etablierte Verfahren der nicht-invasiven Elektrostimulation mit konzeptionellen Schwächen behaftet sind. Insbesondere die verbreitete Verwendung hochfrequenter, ultrakurzwelliger Pulse sehen die Forschenden kritisch. „Entscheidend für den Therapieerfolg ist, welcher Reaktionspfad des Nervensystems angesteuert wird“, sagt Rowald. „Wir unterscheiden dabei zwischen motorischer und somatosensorischer Stimulation – erstere verläuft vom zentralen Nervensystem in den Muskel, letztere vom Muskel ins zentrale Nervensystem.“ Bekannt ist, dass nachhaltige Lernerfolge insbesondere bei der somatosensorischen Stimulation erzielt werden. Genau dieser Pfad aber wird mit kurzwelligen Pulsen weniger angesprochen als mit längeren Wellenformen. Rowald: „Wahrscheinlich werden Hochfrequenzpulse eingesetzt, weil sie tendenziell weniger Schmerzen verursachen. Allerdings benötigt man für eine wirkungsvolle Stimulation sehr viel höhere Ströme als bei längeren Pulsen, so dass sich der vermeintliche Vorteil vermutlich aufhebt.“

Die Forschenden plädieren dafür, den Einsatz hochfrequenter Pulse bei der nicht-invasiven Elektrostimulation grundsätzlich zu überdenken. „Der Ansatz ist vielversprechend, die Idee dahinter gut“, sagt Andreas Rowald. „Entscheidend jedoch ist, nicht einfach nur Muskelreaktionen auszulösen, sondern das volle Potenzial zur Wiederherstellung der motorischen Funktion nach einer Lähmung auszuschöpfen – zumal sowohl die Entwicklung der Produkte als auch die medizinische Therapie aufwändig sind und viel Geld kosten.“ Ein grundlegendes Verständnis der Wirkungszusammenhänge elektrischer Stimulation sei übrigens nicht nur bei Rückenmarksverletzungen wertvoll, sondern beispielsweise auch bei der Behandlung Multipler Sklerose oder neurologischer Erkrankungen des Gehirns.

Direkt zur Studie: <https://doi.org/10.1038/s41551-026-01684-w>