Passive repetitive sensible elektrische Stimulation zur Verbesserung motorischer Funktionen nach Schlaganfall – eine Pilotstudie

Neurol Rehabil 2017; 23(1): xx–xx
© Hippocampus Verlag 2017

A. Sehle[1], I. Büsching[1], H. R. Dinse[2,3], J. Liepert

1 Kliniken Schmieder Allensbach
2 Ruhr-Universität Bochum, Institut für Neuroinformatik
3 Neurologische Klinik am Berufsgenossenschaftlichen Universitätsklinikum Bergmannsheil, Ruhr-Universität Bochum

Zusammenfassung

Hintergrund: Elektrotherapie wird seit Jahren zur Verbesserung sensomotorischer Defizite bei Schlaganfallpatienten eingesetzt. Die meisten Verfahren nutzen neuro-muskuläre Stimulationen. In dieser Studie erfolgte eine passive repetitive elektrische Stimulation der Fingerspitzen mittels eines intermittierenden hochfrequenten Stimulationsprotokolls. Ziel dieser Pilotstudie in placebo-kontrolliertem Design war die Überprüfung der Machbarkeit der Studie und Untersuchung der Effekte dieser Art von Stimulation auf motorische Funktionen der betroffenen oberen Extremität bei Schlaganfallpatienten. Die Ergebnisse sollten als Basis für eine Kalkulation der Effekt-Stärke dienen, um die Stichprobengröße für eine zukünftige größere randomisierte placebo-kontrollierte Studie zu ermitteln.

Methode: Insgesamt nahmen an dieser Pilotstudie acht subakute Schlaganfallpatienten mit einer schweren armbetonten Hemiparese teil. Vier Patienten erhielten über vier Wochen (45 Minuten pro Tag, 5 Tage pro Woche) eine echte Stimulation. Vier weitere Patienten, die hinsichtlich des Schweregrades der initialen Funktionseinschränkung gematcht worden waren, erhielten eine Scheinstimulation (Case-Control Study Design). Der Wolf Motor Function Test (WMFT) wurde für die Erfassung der motorischen Funktionsveränderungen der betroffenen oberen Extremität eingesetzt.

Ergebnisse: Die passive repetitive sensible elektrische Stimulationsbehandlung war sowohl technisch als auch in Bezug auf Kooperation der Patienten machbar. Der WMFT zeigte funktionelle Veränderungen und scheint somit änderungssensitiv zu sein. Patienten der Verumgruppe zeigten größere funktionelle Veränderungen als die Patienten der Placebogruppe. Zur Untersuchung der Wirksamkeit der Stimulationsbehandlung ist eine randomisierte, placebo-kontrollierte Studie mit mindestens 25 Teilnehmern erforderlich.

Schlüsselwörter: Intervention; Wolf Motor Function Test, motorische Rehabilitation, Hand-Arm-Training, Schlaganfall, repetitive sensorische Stimulation

Einleitung

In Deutschland ereignen sich jährlich ca. 196.000 erstmalige und 66.000 wiederholte Schlaganfälle [8]. Die Patienten haben in vielen Fällen mit bleibenden körperlichen, psychischen und sozialen Folgen der Erkrankung zu kämpfen [11]. Motorische Defizite stellen mit 82 % die häufigste Einschränkung dar [18]. Die Wiederherstellung der Hand-Arm-Funktion ist ein wesentliches Ziel der neurologischen Rehabilitation [7]. Insbesondere bei schweren Paresen sind die therapeutischen Möglichkeiten begrenzt. Die bekanntesten Konzepte sind robotergestützte Therapien [12], Spiegeltherapie [21] und Arm-Basis-Therapie [16]. Zudem können periphere elektrische neuro-muskuläre Stimulationen therapeutisch eingesetzt [22] werden. Diese Art der Stimulation zielt darauf ab, die den paretischen Muskel versorgenden Nerven zu stimulieren, sodass die entstehenden Muskelkontraktionen einer funktionellen Aufgabe ähneln [22]. In der hier präsentierten Pilotstudie wurde ein andersartiges Stimulationsdesign verwendet, indem eine repetitive passive elektrische Stimulation der Fingerspitzen zur Verbesserung der motorischen Leistungen des Arm-Hand-Systems erfolgte. Durch eine hoch-frequente elektrische Ko-Aktivierung rezeptiver Felder konnte tierexperimentell eine durch Langzeitpotenzierung (long-term potentiation, LTP) hervorgerufene Reorganisation im somatosensiblen Cortex nachgewiesen werden [5]. Auch bei gesunden Probanden konnten LTP-artige Veränderungen im senso-motorischen Cortex [z. B. 17], die durch glutamaterge Transmission vermittelt werden [3] und zu einer verbesserten Zwei-Punkt-Diskrimination in den Fingerspitzen führen [6], nachgewiesen werden. Zudem konnten alterungs-assoziierte Verschlechterungen der

Passive repetitive sensory electrical stimulation to improve motor function after stroke – a pilot study

A. Sehle, I. Büsching, H. R. Dinse, J. Liepert

Abstract

Background: Electrical stimulation has been used in stroke patients to improve motor deficits, mostly by neuro-muscular stimulations. In this study, we applied passive repetitive electrical stimulation of the fingertips using a intermittent, highfrequency stimulation protocol. The aim of this placebo-controlled pilot study was to evaluate the feasibility of the study design and to assess the effects of this kind of stimulation on motor functions of the affected upper extremity in stroke patients. The results of the study should serve as starting point for the calculation of the sample size for a larger randomized placebo-controlled trial in the future.

Method: Eight subacute stroke patients with a severe hemiparesis participated in our study. Four patients received verum stimulation for four weeks (45 minutes per day, 5 days a week). Four other patients were given a sham stimulation. They were matched to the patients receiving real stimulation in regard to the severity of the motor deficit of the upper extremity at baseline, thus realizing a case control study design. The Wolf Motor Function Test (WMFT) was used to assess changes in motor function of the affected upper extremity.

Results: Results show that the passive repetitive sensory electric stimulation was feasible in regard to technical aspects as well as concerning the cooperation of the patients. WMFT indicated functional changes and thus seems to be an adequate tool for assessing therapeutical effects of the stimulation. Patients in the stimulation group showed more extensive functional changes than patients in the sham group. To evaluate the effectiveness of the stimulation treatment a randomized, placebo-controlled study with at least 25 participants is needed.

Keywords: intervention, Wolf Motor Function Test, motor rehabilitation, training of the upper extremity, stroke, repetitive sensory stimulation

Neurol Rehabil 2017; 23(1): xx –xx
© Hippocampus Verlag 2017

sensiblen Diskriminationsfähigkeit durch ein elektrisches Ko-Aktivierungstraining rückgängig gemacht werden [4]. In der Vergangenheit wurde bereits von unterschiedlichen Arbeitsgruppen über positive Effekte somatosensibler Stimulationen bei Schlaganfall-Patienten berichtet [2, 10, 14, 15, 20, 24]. Es handelte sich dabei allerdings z. T. um andere Stimulationsprotokolle; die Patienten waren in der chronischen Phase und wiesen eine mäßige Parese auf.

Das Ziel dieser Pilotstudie war eine Überprüfung, ob eine passive repetitive elektrische Stimulation bei *schwer betroffenen* Schlaganfallpatienten in der subakuten Phase möglich ist und ob der verwendete Wolf Motor Function Test (WMFT) dafür geeignet ist, Verbesserun-gen motorischer Funktionen im Behandlungszeitraum abzubilden. Auch war das Ziel, motorische Funktionsveränderungen vor und nach einer 4-wöchigen echten passiven elektrischen Stimulation der paretischen Hand bei Schlaganfallpatienten im Vergleich zu einer Scheinsti-mulation zu untersuchen. Diese Ergebnisse sollten dann dazu dienen, eine Effektstärken-Berechnung durchführen zu können und so die notwendige Stichprobengröße für eine randomisierte, placebo-kontrollierte Studie zur Wirksamkeit von passiven repetitiven sensiblen elektrischen Stimulationen bei Schlaganfall-Patienten zu ermitteln.

Patienten und Methoden

Teilnehmer

An dieser Untersuchung nahmen acht Schlaganfallpatienten teil, während sie sich in einer stationären neurologischen Rehabilitation befanden. Für die Teilnahme an der Studie waren folgende Einschlusskriterien zu erfüllen: erster Schlaganfall (Ischämie oder Blutung); eine hochgradige Parese der oberen Extremität ohne funktionelle Einsetzbarkeit der Hand; Erkrankungsdauer < 6 Monate; Fähigkeit der Einwilligung zur Teilnahme an der Studie, Wahrnehmung der elektrischen Impulse an den Fingerspitzen. Als Ausschlusskriterien galten: mangelnde Compliance; Schmerzen in der oberen Extremität; Epilepsie; Herzschrittmacher und Schwangerschaft. Nach der Überprüfung der Ein- und Ausschlusskriterien sowie der ausführlichen Aufklärung der Patienten über den Ablauf der Studie wurden geeignete Patienten in die Studie eingeschlossen. Es bestand ein positives Ethik-Kommissionsvotum der Universität Konstanz.

Die Patienten wurden in einem Case Control Study Design in zwei Gruppen eingeteilt: Verum- und Placebogruppe. Somit waren in jeder Gruppe jeweils vier Patienten. Das Hauptkriterium des Matching waren die Werte in der Bewegungsgeschwindigkeit des WMFT. Die Verumgruppe bestand aus zwei Männern und zwei Frauen, das durchschnittliche Alter betrug 43,1 Jahre (± 10,1 SA); bei allen vier Patienten war der rechte Arm betroffen. In der Placebogruppe befanden sich eine Frau und drei Männer, das durchschnittliche Alter war 64 Jahre (± 6,3 SA). Bei einer Person war der rechte Arm, bei drei Personen der linke Arm betroffen. Alle acht Patienten waren Rechtshänder. Sieben Personen hatten einen Schlaganfall mit ischämischer Ursache und eine Person eine Hirnblutung.

Studienablauf

1. Zunächst absolvierten alle Patienten eine Baseline-Untersuchung der motorischen Funktionen der betroffenen oberen Extremität. Mit Hilfe des Wolf Motor Function Tests (WMFT) wurden Bewegungsgeschwindigkeit, Kraft und Bewegungsqualität erfasst.
2. Nach der Baseline-Untersuchung wurde mit vier Patienten der Verumgruppe über vier Wochen eine sensible Stimulation der Finger der betroffenen oberen Extremität mit dem tipstim®-Stimulationsgerät durchgeführt. Vier Patienten der Placebogruppe erhielten in dieser Zeit eine Scheinstimulation. Somit bekam jeder Patient zusätzlich zur rehabilitativen Standardtherapie der neurologischen Einrichtung an fünf Tagen pro Woche eine jeweils 45-minütige Stimulationsbehandlung (Verum oder Placebo).

3. Nach 4-wöchigem Training wurden mit Hilfe des WMFT die motorischen Funktionen der betroffenen oberen Extremität erneut erfasst.

Wolf Motor Funktion Test (WMFT)

Der WMFT ist ein sogenannter Leistungstest, der die Funktionen der oberen Extremitäten sowohl in Bezug auf die Zeit durch Ein- oder Mehrgelenk-Bewegungen als auch durch funktionelle Aufgaben mit hoher Reliabilität und Validität bewerten kann [13, 23]. Der Test kann auch bei Patienten eingesetzt werden, die nicht alle 17 Aufgaben erfüllen können. Der WMFT besteht insgesamt aus 17 verschiedenen Aufgaben von sehr einfachen Eingelenk-Bewegungen bis zu komplexeren Bewegungen. Bei 15 von 17 Aufgaben werden sowohl die Bewegungsgeschwindigkeit (WMFT-Zeit) als auch die Bewegungsqualität (WMFT-Qualität) bewertet. Die Bewegungsgeschwindigkeit bildet die Zeit ab, welche der Patient für die Ausführung der Aufgabe benötigt. Diese Zeit ist jedoch auf maximal 120 Sekunden beschränkt. Kann der Patient die Aufgabe nicht durchführen, werden ebenfalls 120 Sekunden gerechnet. Das Gesamtergebnis in der Bewegungsgeschwindigkeit errechnet sich aus der Summe der benötigten Sekunden, dividiert durch 15.

Die Qualität der Bewegung wird mit Hilfe der Funktionsfähigkeitsskala (von 0 = kein Versuch/nicht durchführbar bis 5 = normale Bewegung) beurteilt. Das Gesamtergebnis der Bewegungsqualität im WMFT ergibt sich jeweils aus der Summe der Ergebnisse bei allen durchgeführten Aufgaben. Bei der Bewegungsqualität können im WMFT maximal 75 Punkte erreicht werden. Bei zwei Aufgaben des WMFT wird die proximale und distale Kraft der Muskulatur gemessen (WMFT-Kraft). Bei nicht erfüllten Kraft-Aufgaben wird dies mit der Zahl 0 bewertet.

Stimulationsgerät tipstim®

Das Stimulationsgerät tipstim® (BOSANA Medizintechnik GmbH, Deutschland) besteht aus einem Impulsgeber und einem dazugehörigen HighTech-Handschuh (tipstim® glove) **(Abb. 1).**

Der Impulsgeber sendet elektrische Signale an den Handschuh. Über, in den Handschuh eingearbeitete, Elektroden werden diese Impulse an die Fingerspitzen übertragen. Der Stimulationsstrom war biphasisch und die Stimulationsstärke betrug in dieser Pilotstudie zwischen 7 mA und 20 mA. Die Stimulationsstärke wurde in der Verumgruppe bei jedem Anlegen des Handschuhs neu bestimmt. Dabei wurde die Stärke von dem Behandler schrittweise so weit erhöht, bis der Patient rückmeldete, dass die Stimulation unangenehm sei. Von diesem Wert ausgehend wurde die Stimulationsstärke dann um 1–2 mA auf ein für den Patienten angenehmes Maß reduziert. Die Stimulationsdauer betrug 2 Sekunden mit

Abb. 1: Stimulationsgerät und Anwendung von tipstim®

5 Sekunden Pause zwischen den Stimulationen für insgesamt 45 Minuten. Die Frequenz lag bei 20 Hz. Bei der Scheinstimulation war der Therapieaufbau mit der Verumgruppe identisch mit der Ausnahme, dass die Patienten keine Stimulation verspürten. Die Patienten konnten auf dem Impulsgeber die Stimulationsstärke sehen, jedoch wurde diese technisch so umgeleitet, dass keine Stimulation der Fingerspitzen erfolgte. Die Patienten der Placebogruppe wurden für die Intervention verblindet, indem ihnen gesagt wurde, dass bei ihnen die Stimulation direkt unter der für sie spürbaren Schwelle erfolge. Eine Aufmerksamkeit auf die obere Extremität war während der Therapie bei beiden Gruppen nicht erforderlich.

Ergebnisse

Keiner der acht Patienten gab im Rahmen der Stimulationsbehandlungen Nebenwirkungen an. Generell konnten bei den Patienten der Verumgruppe deutlichere Verbesserungen in den motorischen Testungen sowohl in der qualitativen Ausführung der Bewegungen als auch hinsichtlich der Schnelligkeit festgestellt werden.

Tabelle 1 fasst die Ergebnisse des WMFT für beide Gruppen zusammen.

Alle Schlaganfallpatienten zeigten eine schwere Hemiparese, was die Baseline-Werte des WMFT widerspiegeln. Keiner der Patienten konnte alle 17 Aufgaben des WMFT durchführen.

Abbildung 2 veranschaulicht die Ergebnisse von WMFT-Zeit für beide Gruppen.

Wie aus der **Abbildung 2** zu erkennen ist, zeigten Schlaganfallpatienten der beiden Gruppen zum Zeitpunkt der Baseline-Testung ähnlich starke motorische Defizite für die betroffene obere Extremität. Nach dem Training zeigte die Verumgruppe sowohl bei den Rohwerten der WMFT-Zeit als auch bei Darstellung der

Tab. 1: Ergebnisse des Wolf Motor Function Tests (WMFT) für Verum- und Placebogruppe. Der Baseline-Wert wird als 100 % gesetzt

	Rohwerte		Veränderung zur Baseline in Prozent	
WMFT	Verum (MW ± 1SA)	Placebo (MW ± 1SA)	Verum (%)	Placebo (%)
Zeit Baseline (s)	79,0 ± 13,3	76,0 ± 11,9		
Zeit nach 4-wöchigem Training (s)	66,8 ± 20,5	72,9 ± 9,2	15,4	4,0
Qualität Baseline (Punkte)	14,3 ± 5,9	15,3 ± 5,7		
Qualität nach 4-wöchigem Training (Punkte)	20,3 ± 8,2	17,8 ± 3,8	41,9	16,3
Kraft Baseline (kg)	0,5 ± 0,7	0,13 ± 0,3		
Kraft nach 4-wöchigem Training (kg)	1,1 ± 1,2	0,4 ± 0,3	120	208

MW: Mittelwert; SA: Standardabweichung

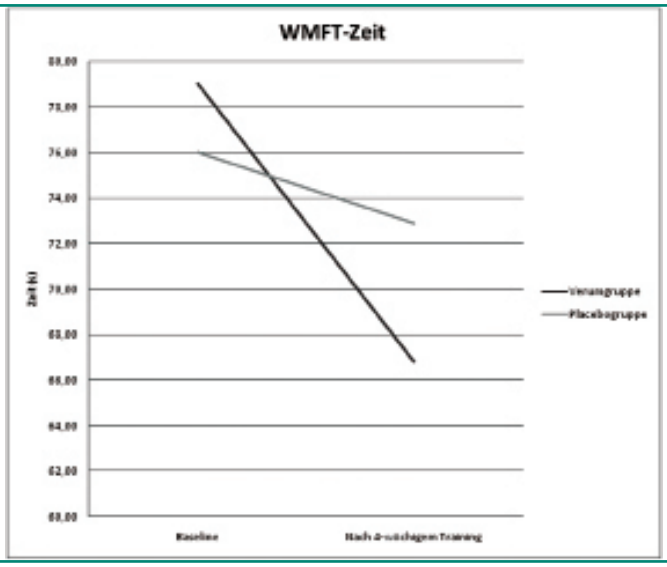

Abb. 2: Ergebnisse für WMFT-Zeit der Verum- und Placebogruppe, gemessen in Sekunden

Ergebnisse in Prozent der Ausgangsleistung eine stärkere Verbesserung als die Placebogruppe.

Bei der Bewegungsqualität im WMFT war das Ausgangsniveau der beiden Gruppen ebenfalls sehr ähnlich. Nach 4-wöchigem Training verbesserten sich die Patienten der Verumgruppe um 6 Punkte und zeigten somit eine stärkere Verbesserung der Bewegungsqualität als die Placebogruppe, welche eine Verbesserung um 2,5 Punkte erreichen konnte.

In der Kategorie Kraft ergaben sich deutliche Leistungssteigerungen sowohl in der Verum- als auch der Placebogruppe.

Der Berechnung der Mindestgröße des Stichprobenumfangs für eine Folgestudie wurden die Ergebnisse der Variablen WMFT Zeit zugrunde gelegt. Der Stichprobenumfang wurde mit der Formel $n = (z_\beta - z_{1-\alpha})^2$ ermittelt. Ein Signifikanzniveau von $\alpha = 0{,}05$ entspricht $z_{5\%} = -1{,}65$. Bei einer geforderten Teststärke von 0,95 ist für $z_\beta = -1{,}65$ anzusetzen. Der z-Wert als Ablehnungsbereich der Nullhypothese liegt bei $z = 1{,}65$, was $z_{1-\alpha} = 1{,}65$ entspricht. Die standardisierte Effektgröße ist mit δ definiert [1]. In unserer Studie beträgt $\delta = 0{,}663$, was eine mittelgroße Effektstärke anzeigt [19]. Die errechnete Stichprobengröße lag entsprechend $n = (-1{,}65 - 1{,}65)^2$ bei $n = 24{,}8$ Teilnehmer.

Schlussfolgerungen

Das Hauptergebnis der vorliegenden Pilotstudie ist die erfolgreiche Anwendung einer passiven repetitiven elektrischen Stimulation bei schwer betroffenen Schlaganfallpatienten. Bei allen Patienten konnte diese Stimulationsart während ihres Aufenthaltes in der neurologischen Einrichtung als Zusatztherapie durchgeführt werden. Keiner der Patienten brach die Therapie vorzeitig ab, auch wurden keine Nebenwirkungen berichtet. Die Handhabung des Gerätes erwies sich bei schwerbetroffenen Patienten als sehr gut.

Weiterhin konnte in dieser Studie gezeigt werden, dass der verwendete WMFT im Stande ist, Verbesserungen motorischer Funktionen im Behandlungszeitraum bei schwer betroffenen Patienten nachzuweisen. Mit diesem Test können drei wichtige motorische Funktionen der betroffenen oberen Extremität getestet werden: Bewegungsgeschwindigkeit, Bewegungsqualität und Kraft.

Zudem konnten in dieser Pilotstudie motorische Funktionsveränderungen vor und nach einer 4-wöchigen echten passiven repetitiven elektrischen Stimulation der paretischen Hand bei Schlaganfallpatienten im Vergleich zu einer Scheinstimulation untersucht werden. Wie erwartet, verbesserten sich alle Patienten innerhalb ihres 4-wöchigen Rehabilitationsaufenthaltes. Allerdings verbesserten sich die Patienten der Verumgruppe in allen drei erfassten Parametern des WMFT am stärksten. Aufgrund der kleinen Fallzahl wurde auf eine über die deskriptive Berechnung hinausgehende statistische Analyse verzichtet. Die Effekte sollten in einer verblindeten, randomisierten und kontrollierten Studie genauer untersucht werden. Unsere Berechnung ergab, dass hierfür eine Fallzahl von mindestens 25 Patienten erforderlich sein wird.

Smith et al. [20] hatten bei vier chronischen Schlaganfallpatienten ein ähnliches Stimulationsprotokoll wie in unserer Studie angewandt und sowohl Verbesserungen der sensiblen Diskrimination als auch motorischer Funktionen gefunden. Dieses Ergebnis unterstützt die Sinnhaftigkeit einer ausreichend großen randomisierten kontrollierten Studie.

Limitationen

Die Limitationen dieser Pilotstudie bestehen hauptsächlich aus der begrenzten Anzahl der Patienten und dem Studiendesign als nicht randomisierte sowie nicht Untersucher-verblindete Versuchsanordnung. Ferner ist der Altersdurchschnitt bei der Verumgruppe deutlich geringer als bei der Placebogruppe. Hier könnte intuitiv vermutet werden, dass das jüngere Alter in der Verumgruppe mit einer größeren Verbesserung in den gemessenen Werten zusammenhängen könnte. Um dies zu überprüfen, wurde eine Detailanalyse der Verumgruppe durchgeführt. Hier zeigte sich, dass sich entgegen der Annahme die älteren Patienten stärker verbessert hatten als die jüngeren. Dies kann als Hinweis dafür genommen werden, dass der Altersunterschied keine wesentliche Rolle zu spielen scheint.

Zusammenfassend ist zu betonen, dass Ziel dieser Pilotstudie nicht der Beleg einer Wirksamkeit der Stimulation war, sondern die Machbarkeit getestet wurde und eine Fallzahlschätzung möglich wurde. Die ersten Ergebnisse zu den motorischen Leistungen der Studienteilnehmer sind ermutigend und geben Anlass zu der Annahme, dass bei einer ausreichenden Fallzahl Hinweise zur Wirksamkeit gefunden werden könnten.

Danksagung
Wir danken der Firma Bosana für die Zurverfügungstellung der tipstim® Handschuhe, den Ergotherapeuten der Kliniken Schmieder für die Hilfe bei der Rekrutierung der Patienten und den Patienten für ihre Teilnahme.

Literatur

1. Bortz J, Schuster C. Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler. 7. überarb. Aufl., Springer, Berlin Heidelberg 2010; 109f.
2. Conforto AB, Kaelin-Lang A, Cohen LG. Increase in hand muscle strength of stroke patients after somatosensory stimulation. Ann Neurol. Jan 2002; 51(1): 122–125.
3. Dinse HR, Ragert P, Pleger B, Schwenkreis P, Tegenthoff M. Pharmacological modulation of perceptual learning and associated cortical reorganization. Science 2003; 301: 91–94.
4. Dinse HR, Kleibel N, Kalisch T, Ragert P, Wilimzig C, Tegenthoff M. Tactile coactivation resets age-related decline of human tactile discrimination. Ann Neurol. Jul 2006; 60(1): 88–94.
5. Godde B, Spengler F, Dinse HR: Associative pairinz of tactile stimulation induces somatosensory cortical reorganization in rats and humans. Neuroreport 1996 Dec 20; 8(1): 281–285.
6. Godde B, Stauffenberg B, Spengler F, Dinse HR. Tactile coactivation-induced changes in spatial discrimination performance. J Neurosci 2000; 20: 1597–1604.
7. Hesse S, Mehrholz J, Werner C. Roboter- und gerätegestützte Rehabilitation nach Schlaganfall. Dtsch Arztebl 2008; 18: 330–336.
8. Heuschmann P, Busse O, Wagner M, Endres M, Villringer A, Röther J et al. Schlaganfallhäufigkeit und Versorgung von Schlaganfallpatienten in Deutschland. Aktuelle Neurologie 2010; 37: 333–340.
9. Hummelsheim H: Neurologische Rehabilitation. Springer, Berlin Heidelberg 1998; 34–37.
10. Kattenstroth JC, Kalisch T, Peters S, Tegenthoff M, Dinse HR. Long-term sensory stimulation therapy improves hand function and restores cortical responsiveness in patients with chronic cerebral lesions. Three single case studies. Front Hum Neurosci. 2012 Aug 25; 6: 244. doi: 10.3389/fnhum.2012.00244
11. Mäurer HC, Diener HC. Der Schlaganfall. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1996.
12. Mehrholz J: Neuroreha nach Schlaganfall. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2011.
13. Morris DM, Uswatte G, Crago JE, Cook EW 3rd, Taub E. The reliability of the Wolf Motor Function Test for assessing upper extremity function after stroke. Arch Phys Med Rehabil 2001; 82: 750–755.
14. Page SJ, Levin L, Hermann V, Dunning K, Levine P. Longer versus shorter daily durations of electrical stimulation during task-specific practice in moderately impaired stroke. Arch Phys Med Rehabil. Feb 2012; 93(2): 200–206.
15. Peurala SH, Pitkänen K, Sivenius J, Tarkka IM. Cutaneous electrical stimulation may enhance sensorimotor recovery in chronic stroke. Clin Rehabil. Nov 2002; 16(7): 709–716.
16. Platz T, Eickhof C, van Kaick S, Engel U, Pinkowski C, Kalok S, Pause M. Impairment-oriented training or Bobath therapy for severe arm paresis after stroke: a single-blind, multicentre randomized controlled trial. Clin Rehabil. Oct 2005; 19(7): 714–274.
17. Pleger B, Foerster AF, Ragert P, Dinse HR, Schwenkreis P, Malin JP, Nicolas V, Tegenthoff M. Functional imaging of perceptual learning in human primary and secondary somatosensory cortex. Neuron 2003; 40: 643–653.
18. Rathore SS, Hinn AR, Cooper LS, Tyroler HA, Rosamond WD: Characterization of incident stroke signs and symptoms: findings from the atherosclerosis risk in communities study. Stroke 2002; 33(11): 2718–2721.
19. Rosenthal R. In: Cooper H, Hedges LV (ed): The handbook of research synthesis. Russell Sage Foundation, New York 1994; 231–244.
20. Smith PS, Dinse HR, Kalisch T, Johnson M, Walker-Batson D. Effects of repetitive electrical stimulation to treat sensory loss in persons poststroke. Arch Phys Med Rehabil. Dec 2009; 90(12): 2108–2111.
21. Thieme H, Mehrholz J, Pohl M, Behrens J, Dohle C. Mirror therapy for improving motor function after stroke. Stroke. 2013; 44(1): e1–2.
22. Vafadar AK, Côté JN, Archambault PS. Effectiveness of functional electrical stimulation in improving clinical outcomes in the upper arm followingstroke: a systematic review and meta-analysis. Biomed Res Int 2015; Article ID 729768: 1–14.
23. Wolf SL, Catlin PA, Ellis M, Archer AL, Morgan B, Piacentino A: Assessing Wolf Motor Function Test as outcome measure for research in patients after stroke. Stroke 2001; 32: 1635–1639.
24. Wu CW, Seo HJ, Cohen LG. Influence of electric somatosensory stimulation on paretic-hand function in chronic stroke. Arch Phys Med Rehabil 2006; 87(3): 351–357.

Interessenvermerk
Die Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt vorliegt.

Korrespondenzadresse:
Prof. Dr. Joachim Liepert
Kliniken Schmieder Allensbach
Zum Tafelholz 8
78476 Allensbach
j.liepert@kliniken-schmieder.de