

Funktionelle Elektrostimulation am zyklischen Beinbewegungstrainer (FES-LCE) in der stationären Rehabilitation nach zerebralem ischämischem Infarkt

F. Eigler¹, A. Nachtmann², G. Huber³

¹Ladenburg; ²Herz- und Kreislaufzentrum, Klinik für Neurologische Rehabilitation, Rotenburg; ³Institut für Sport und Sportwissenschaft, Heidelberg

Zusammenfassung

Ziel: Ein Schlaganfall führt in den meisten Fällen zu erheblichen motorischen Einschränkungen. Ziel dieser Arbeit ist es, den Einsatz von motorunterstützten Bein-Bewegungstherapiegeräten (LCE) bei gleichzeitiger funktioneller Elektrostimulation (FES) in der klinischen Rehabilitation von Schlaganfallpatienten zu evaluieren.

Studiendesign: Insgesamt $n=31$ Patienten mit ischämischem Mediainfarkt wurden randomisiert der Kontrollgruppe ($n=13$; $65,31 \pm 12,33$ Jahre; $3,71 \pm 9,41$ Monate Post-Stroke) und der Interventionsgruppe ($n=18$; $66,50 \pm 10,82$ Jahre; $2,20 \pm 5,46$ Monate Post-Stroke) zugeteilt. Während des 4-wöchigen Interventionszeitraumes trainierten alle Studienteilnehmer an 5 Tagen die Woche für jeweils 15 Minuten an einem MOTomed®-Bewegungstherapiegerät mit individueller Bremsbelastung (Borg-Skala Stufe 13). Bei den Teilnehmern der Interventionsgruppe erfolgte hierbei an beiden Beinen die winkelgradabhängige Stimulation des *M. quadriceps femoris*, der *Mm. ischiocrurales*, des *M. gastrocnemius* und des *M. tibialis anterior* mittels des 8-Kanal-Stimulationsgerätes MOTIONSTIM 8 (25 Hz, 500 μ s, 20–50 mA). Zu 4 Messzeitpunkten (Aufnahme t_0 , nach 2 Wochen t_1 , Interventionsende nach 4 Wochen t_2 , Follow-Up 6 Monate nach Interventionsende t_3) wurden insgesamt 11 Diagnoseparameter erhoben. Hauptzielgröße war die motorische Verbesserung der Studienteilnehmer (u. a. durch maximale Beinkraft, durchschnittliche Leistung, maximale Gehstrecke und Gehstil). Außerdem wurden die Fähigkeit zur Selbsthilfe (Barthel-Index) und die Ausübung der Alltagsaktivitäten (Rivermead-Mobilitätsindex) sowie der psychische Gesundheitszustand (Beck Depression Inventar) und die subjektive gesundheitsbezogene Lebensqualität (SF-36) erfasst.

Ergebnisse: Über den Interventionszeitraum zeigt die FES-LCE-Gruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe statistisch signifikant höhere Verbesserungen bei den Parametern Maximalkraft im betroffenen Bein (ANOVA, $p=.005$; $\eta^2=.164$), durchschnittliche Leistung (ANOVA, $p=.022$; $\eta^2=.123$) und Barthel-Index (ANOVA, $p=.012$; $\eta^2=.197$). Die Teilnehmer der Kontrollgruppe waren nach Interventionsende zu t_2 bei der Bewältigung der maximalen Gehstrecke ($44,31 \pm 64,46$ Meter) zum Großteil immer noch auf eine Hilfsperson angewiesen (Wilcoxon, $p=.01$; $d=0,71$). Die Teilnehmer der FES-LCE-Gruppe konnten nach Interventionsende die maximale Gehstrecke von $57,67 \pm 49,87$ Metern selbstständig ohne fremde Hilfe zurücklegen (Wilcoxon, $p<.00$; $d=1,54$).

Schlussfolgerung: Die Auswertung der Ergebnisse zeigt für den Großteil aller Parameter bei mittlerer bis großer Effektstärke einen deutlichen Therapievorteil der FES-LCE-Gruppe gegenüber der Kontrollgruppe. Die Parameter maximale Beinkraft betroffenes Bein, durchschnittliche Leistung und Barthel-Index ergeben einen signifikanten rehabilitativen Mehrwert der FES-LCE-Therapie gegenüber dem isolierten Training am Bewegungstrainer. Die Therapieform liefert einen wichtigen Beitrag zur Optimierung des Rehabilitations-Outcomes und wird für den Einsatz in der stationären Rehabilitation von Schlaganfallpatienten empfohlen.

Schlüsselwörter: Funktionelle Elektrostimulation, Bewegungstherapie, FES-LCH, Schlaganfall, Rehabilitation

Functional electrical stimulated leg cycling (FES-LCE) in clinic rehabilitation of patients with post acute stroke

F. Eigler, A. Nachtmann, G. Huber

Abstract

Aim: In most cases stroke leads to substantial impairment of motoric functions. The aim of this study is to evaluate the use of functional electrical stimulated leg cycling (FES-LCE) in clinic rehabilitation on patients with post acute stroke.

Methods: Thirty-one individuals with ischemic media infarct were randomized in a control group ($n=13$; $65,31 \pm 12,33$ years; $3,71 \pm 9,41$ month post-stroke) and a FES-LCE group ($n=18$; $66,50 \pm 10,82$ years; $2,20 \pm 5,46$ month post-stroke). For four weeks both groups were performing on 5 days per week for 15 minutes on a MOTomed[®]-leg cycle trainer with individual load (Borg-scale stage 13). On the FES-LCE group thereby the *M. quadriceps femoris*, the *Mm. ischiocrurales*, the *M. gastrocnemius* and the *M. tibialis anterior* of both the legs were stimulated with an 8-channel stimulator MOTIONSTIM 8 (25 Hz, 500 μ s, 20–50 mA). Four times in all 11 diagnostic parameters were collected (start t_0 , after 2 weeks t_1 , end after 4 weeks t_2 , follow-up 6 month after end t_3). Main target was the improvement of motoric abilities (e.g. max. force leg-extension, average power, max. walking distance and walking style). Furthermore the ability of self-help (Barthel-index) and ADLs (Rivermead-mobility index), the mental health (Beck Depression Inventory) and the subjective health-related quality of living (SF-36) were recorded.

Results: After the treatment in comparison to the control group, the FES-LCE group showed statistic significant higher improvements on max. force leg-extension with affected leg (ANOVA, $p=.005$; $\eta^2=.164$), average power (ANOVA, $p=.022$; $\eta^2=.123$) and Barthel-index (ANOVA, $p=.012$; $\eta^2=.197$). At the end of treatment (t_2), most patients of the control group were dependent on personally help (Wilcoxon, $p=.01$; $d=0,71$) when performing the max. walking test ($44,31 \pm 64,46$ meter). The patients of the FES-LCE group were able to manage the max. walking test ($57,67 \pm 49,87$ meter) independently without additional personal help (Wilcoxon, $p<.00$; $d=1,54$).

Conclusion: With a medium to high effect size the majority of all parameters are showing a clear advantage of the FES-LCE group in comparison to the control group. The parameters max. force leg-extension with affected leg, average power and Barthel-index are revealing a significant additional rehabilitative outcome of the FES-LCE treatment compared to isolated cycling. The FES-LCE therapy provides a relevant contribution to optimize the rehabilitation outcome of post-stroke patients and is recommended for clinic rehabilitation.

Key words: functional electrical stimulation, leg cycle ergometer, FES-LCH, stroke, rehabilitation

© Hippocampus Verlag 2010

Einleitung

Der Schlaganfall ist eine der bedeutendsten Erkrankungen des 21. Jahrhunderts. In Deutschland liegt die Inzidenz der Erkrankung bei 150–180/100.000 Einwohner [43]. Insgesamt leiden bei uns z.Zt. ca. 800.000 Patienten an einem Schlaganfall und dessen Folgen [1, 51]. Sinkende Mortalitätsraten und die Verschiebung der Altersstruktur prognostizieren für die kommenden Jahre einen deutlichen Anstieg der Prävalenz [5]. Hochrechnungen ergeben bis zum Jahr 2031 eine Zunahme nichtfataler vaskulärer Ereignisse um 134% [48].

Ein Viertel aller Patienten versterben in den ersten 12 Monaten [9]. Damit ist der Schlaganfall die dritthäufigste Todesursache weltweit [1]. Vor allem Einschränkungen in der Motorik führen bei den überlebenden Patienten zu erheblichen Defiziten im Alltag. Durch den Verlust der motorischen Handlungsfähigkeit müssen große Einschränkungen in der beruflichen und gesellschaftlichen Teilhabe kompensiert werden. Die meisten Patienten weisen auch noch nach abgeschlossener Rehabilitation erhebliche moto-

rischen Defizite auf und sind nur eingeschränkt gehfähig oder auf einen Rollstuhl angewiesen [17, 26, 40]. Durch die halbseitige Schädigung des Armes oder Beines sind auch ein Jahr nach dem Ereignis immer noch 75% aller Patienten beim Gehen auf Hilfe angewiesen und 32% aller Patienten dauerhaft pflege- und hilfebedürftig [23, 25].

In der klinischen Neurorehabilitation stellen Personen mit einem Schlaganfall die größte Patientengruppe dar. Sie bilden in den westlichen Industrieländern die teuerste Krankheitsgruppe. Die direkten und indirekten Kosten nach ischämischem Hirninfarkt ergeben zusammen mit den Eigenleistungen des Patienten einen Gesamtkostenbetrag von durchschnittlich 10.120,- Euro. Die jährlichen Langzeitkosten nach Schlaganfall lagen in Deutschland 2003 bei insgesamt ca. 3 Mrd. Euro [51, 53]. Aufgrund der epidemiologischen Brisanz einerseits und der wirtschaftlichen Belastung des Gesundheitssystems andererseits, kommt der Entwicklung effizienter Therapieinterventionen für die Rehabilitation von Schlaganfallpatienten eine immer wichtigere Rolle zu.

Innerhalb der Rehabilitation von Schlaganfallpatienten steht aus therapeutischer Sicht neben der positiven Beein-

flussung der Risikofaktoren, die Aktivierung noch vorhandener Bewegungsmuster und die Wiedererlangung verloren gegangener Funktionen im Vordergrund [6, 31]. Hauptziel der Patienten ist die Wiedererlangung der Gehfähigkeit [18]. Hierbei kommen zunehmend neue evidenzbasierte Therapiestrategien zum Einsatz, die durch eine positive Beeinflussung der neuronalen Plastizität, den Erfolg der motorischen Rehabilitation vergrößern. Vergleiche mit klassischen Behandlungsmethoden konnten im Armbereich mehrfach die deutliche Überlegenheit innovativer Behandlungstechniken mit repetitivem aktivem Bewegungstraining und hoher Trainingsintensität belegen [4, 13, 38, 42, 52, 54].

Im Beinbereich werden auf somatischer Ebene sport- und bewegungstherapeutische Programme in der Rehabilitation von Schlaganfallpatienten vor allem zur Steigerung der Kraft, der Ganggeschwindigkeit und der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit eingesetzt [2, 22, 44]. Bei funktionell eingeschränkten Patienten werden hierzu u. a. zyklische motorunterstützte Beinbewegungstrainer genutzt (engl.: leg cycle ergometer LCE). Aus einer gesicherten Ausgangsposition heraus erfolgt das Training in einer geführten Rotationsbewegung ähnlich eines Fahrradergometers. Therapieziele sind im Aktivbetrieb die Verbesserung der Beinkraft und der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit [20, 32, 35, 36]. Im Passivbetrieb tritt die Verbesserung der Beweglichkeit [29, 37] und Reduktion des Muskeltonus bzw. der Spastik in den Vordergrund [10, 27, 47].

Daneben werden innerhalb der neurologischen Rehabilitation bei nicht denervierter Muskulatur funktionelle physiologische Bewegungen auch durch eine transkutane elektrische Stimulation erzeugt (engl.: functional electrical stimulation, FES). Vor allem bei Schlaganfallpatienten kann mit Hilfe der FES eine adäquate Verbesserung der Muskelkraft erzielt werden [41, 55].

Die Kombination der beiden Therapieansätze einer funktionellen Elektrostimulation bei gleichzeitigem Training an einem zyklischen motorunterstützten Beinbewegungstrainer (engl.: functional electrical stimulated leg cycle ergometer training FES-LCE) [16] wird bisher vorwiegend in der Rehabilitation von inkompletten Querschnittpatienten eingesetzt. Für diese Patientengruppe sind die positiven Effekte der Komplextherapie FES-LCE in den Bereichen Kraftverbesserung, Herz-Kreislauf-Training, Erhöhung der Beindurchblutung, Anstieg der Knochendichte und Verbesserung der Beweglichkeit belegt [11, 12, 15, 19, 21, 30, 45, 49].

Die positiven Ergebnisse nach inkomplettem Querschnitt lassen über eine günstige Beeinflussung der neuronalen Plastizität, den rehabilitativen Mehrwert der FES-LCE-Therapie auch bei Schlaganfallpatienten vermuten. In der stationären Rehabilitation von Schlaganfallpatienten konnten bereits erste positive Ergebnisse zum Einsatz der Komplextherapie FES-LCE, allerdings bei passivem Training, dokumentiert werden [14]. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass während der aktiven Tretbewegung die Elektrostimulation in einem funktionellen physiologischen

Innervationsablauf, über eine Verbesserung der inter- und intramuskulären Koordination, zu einer gesteigerten neuromuskulären Aktivität führt. Hierdurch wird ein erhöhter Anstieg der Beinkraft erwartet, der die Voraussetzung für eine Verbesserung der selbstständigen Gehfähigkeit schafft.

Material und Methoden

Ziel der vorliegenden Untersuchung war, den rehabilitativen Mehrwert der Komplextherapie FES-LCE im Vergleich zu einer Standardrehabilitation mit isoliertem Training am Bewegungstrainer zu überprüfen. Um in der Rehabilitation von Schlaganfallpatienten den Einsatz der Komplextherapie FES-LCE zu evaluieren, wurde in einer Voruntersuchung an einem Bewegungstrainer MOTomed® Viva 2 (Firma RECK Technik GmbH & Co. KG, 88422 Betzenweiler, Deutschland) durch eine EMG-Untersuchung das physiologische Innervationmuster der Beinmuskulatur abgeleitet. Die gemessenen Winkelgrade für die jeweilige Muskelaktivität wurden anschließend zur Programmierung des Elektrostimulationsgerätes verwendet. Der Bewegungstrainer gibt bei der Komplextherapie FES-LCE die Winkelgrade der Pedalstellung über eine Schnittstelle an das 8-Kanal-Stimulationsgerät weiter. Damit wird eine geschwindigkeitsunabhängige winkelgerechte Stimulation der Muskulatur des rechten und linken Beines ermöglicht. In einer multizentrischen Studie wurde anschließend der Therapieeffekte der Kombination zyklischer Beinbewegungstherapiegeräte bei gleichzeitiger funktioneller Elektrostimulation (FES-LCE) während der stationären Rehabilitation nach Schlaganfall untersucht. Von März 2005 bis Dezember 2007 wurden im Herz- und Kreislaufzentrum in 36199 Rothenburg, in der Fachklinik Rhein/Ruhr in 45219 Essen-Kettwig und in der Sankt Rochus Klinik in 76669 Bad Schönborn insgesamt n=33 Probanden randomisiert der Kontrollgruppe und der Interventionsgruppe zugeteilt. Als Einschlusskriterien wurden definiert: ischämischer Mediainfarkt, Alter 18–80, stabiler Herz-Kreislauf-Zustand, keine Verständigungsprobleme, schriftliche Einverständniserklärung. Ausschlusskriterien waren Herzschrittmacher, Reflexepilepsie, vermuteter oder akuter Herzinfarkt <30 Tage, Hautläsionen im Stimulationsgebiet, selbstständige Gehfähigkeit >5 min., Unfähigkeit den Anweisungen Folge zu leisten, Wunsch nach Ausschluss. Bei 2 Teilnehmern aus der Kontrollgruppe wurde die Datenerhebung aufgrund zunehmender Verständigungsprobleme durch Aphasie vorsorglich abgebrochen. Die bereinigte Stichprobengröße beträgt damit n=31 (Tab. 1).

Intervention

Während eines 4-wöchigen Interventionszeitraumes trainierten alle Studienteilnehmer an 5 Tagen die Woche für jeweils 15 Minuten an einem motorunterstützten Bewegungstrainer MOTomed® Viva 2 (Firma RECK Technik GmbH & Co. KG, 88422 Betzenweiler, Deutschland) mit individueller Bremsbelastung der Borg-Skala Stufe 13 mit

	Gesamt n = 31	Kontrollgruppe μ_0 n = 13	Interventionsgruppe μ_1 n = 18
Alter	66,00 ± 11,29 Jahre	65,31 ± 12,33 Jahre	66,50 ± 10,82 Jahre
Geschlecht	17 (54,8 %) männlich 14 (45,2 %) weiblich	5 (38,5 %) männlich 8 (61,5 %) weiblich	12 (66,7 %) männlich 6 (33,3 %) weiblich
Betroffene Körperseite	14 (45,2 %) links 17 (54,8 %) rechts	5 (38,5 %) links 8 (61,5 %) rechts	9 (50,0 %) links 9 (50,0 %) rechts
Infarkt bis Aufnahme	2,83 ± 7,27 Monate	3,71 ± 9,41 Monate	2,20 ± 5,46 Monate
Barthel-Index	34,35 ± 17,69	35,77 ± 18,35	33,33 ± 17,66

Tab. 1: Merkmalsübersicht der Stichprobe mit Differenzierung in einzelne Gruppen (arithmetisches Mittel \bar{x} und Standardabweichung s bei Alter, Zeit in Monaten von Infarkt bis Aufnahme in die Reha und Eingangswert Barthel-Index; Absolutwerte und Prozentangaben bei Geschlecht und betroffener Körperseite)

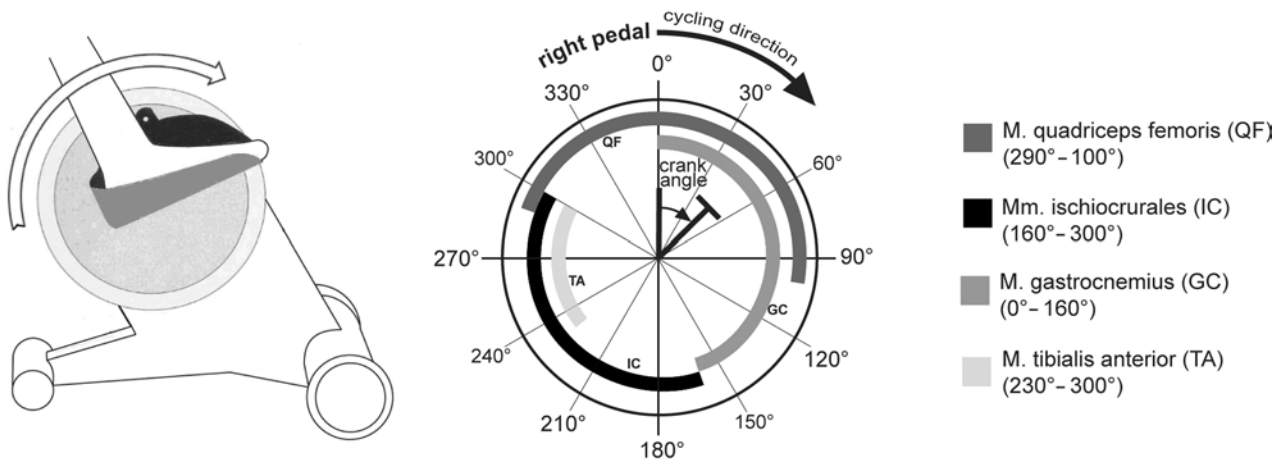
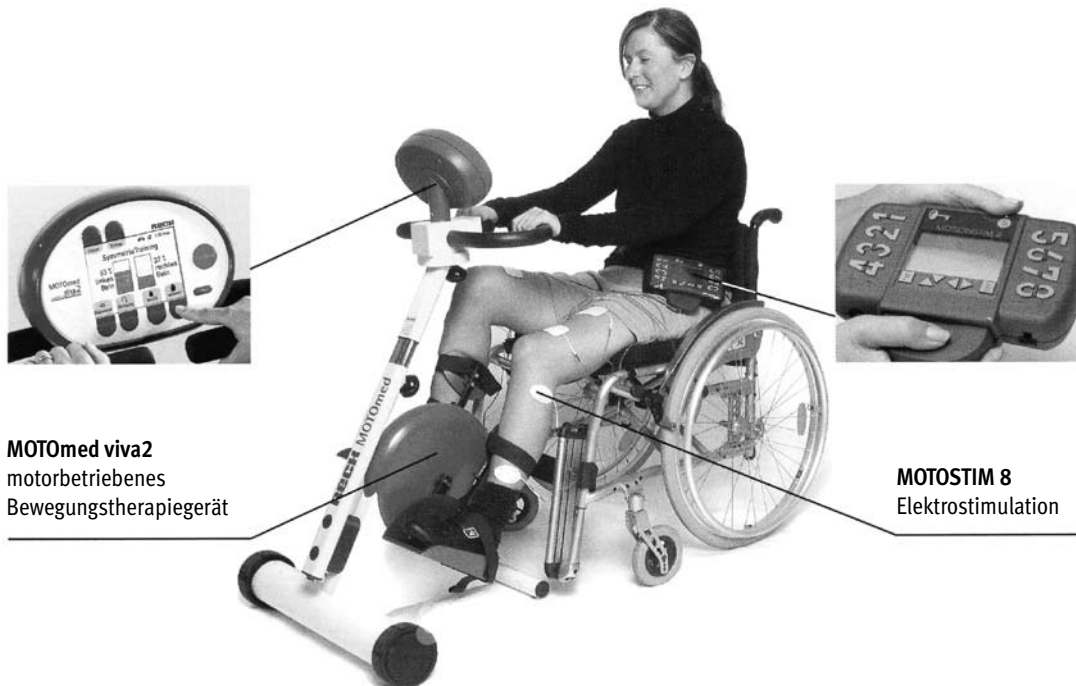


Abb. 1: Stimulationswinkel FES-LCE. Während der Rotationsbewegung am Bewegungstrainer werden die einzelnen Muskeln in den jeweiligen Winkelgraden stimuliert. Für das linke Pedal gelten die Winkelgrade wie abgebildet um 180° rotiert.



MOTOmed viva2
motorbetriebenes
Bewegungstherapiegerät

MOTOSTIM 8
Elektrostimulation

Abb. 2: Kombinationstherapiegerät FES-LCE (RECK Technik GmbH & Co. KG 2006)

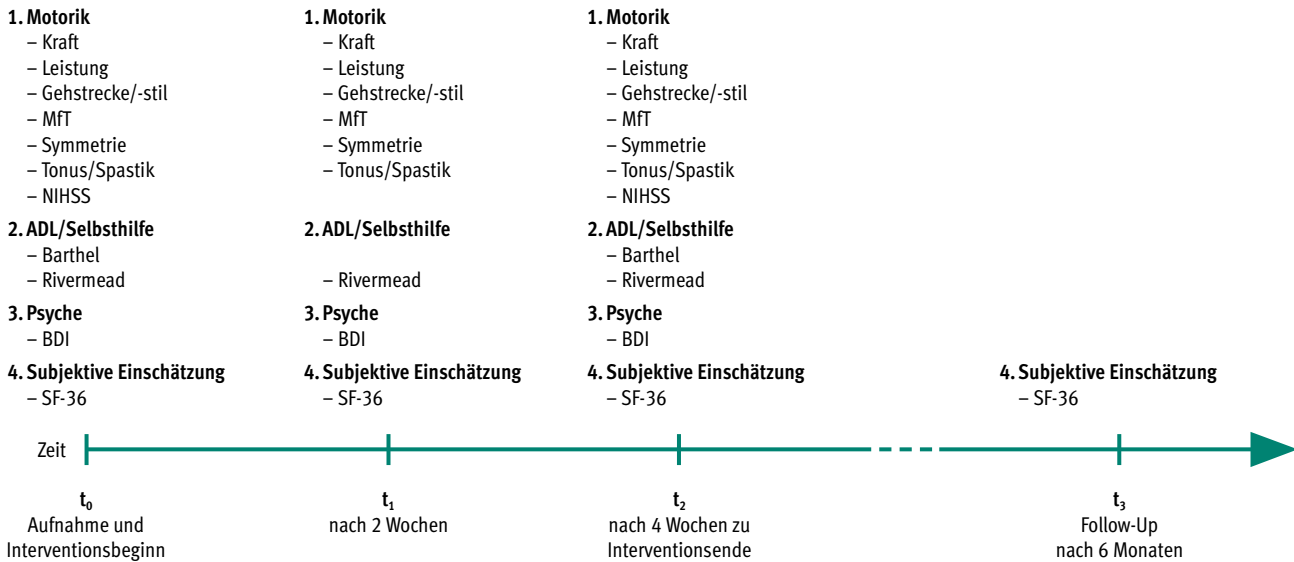


Abb. 3: Diagnoseparameter

ca. 45 Upm. Bei den Teilnehmern der Interventionsgruppe erfolgte hierbei an beiden Beinen die winkelabhängige Stimulation des M. quadriceps femoris ($290^\circ-100^\circ$), der Mm. ischiocrurales ($160^\circ-300^\circ$), des M. gastrocnemius ($0^\circ-160^\circ$) und des M. tibialis anterior ($230^\circ-300^\circ$) mittels des 8-Kanal-Stimulationsgerätes MOTIONSTIM 8 (Firma Krauth+Timmermann GmbH, 22399 Hamburg, Deutschland) (Abb. 1 und 2). Die Stimulation wurde mit einer Frequenz von 25 Hz, einer Pulsbreite von 500 μ s und einer Stromstärke von 20–50 mA durchgeführt.

Zu 3 Messzeitpunkten (t_0 Aufnahme, t_1 nach 2 Wochen, t_2 Interventionsende nach 4 Wochen) wurden insgesamt 11 Diagnoseparameter erhoben. 6 Monate nach Interventionsende (t_3) dokumentierte eine weitere Befragung den Patientenzustand zum Follow-Up-Zeitpunkt. Hauptzielgröße war die motorische Verbesserung der Studienteilnehmer. Hierfür wurden 7 Parameter erhoben. Die Bestimmung der Maximalkraft erfolgte einbeinig in der kinetischen Muskelkette als Einer-Wiederholungsmaximum (EWM/1 RM) an der auxotonischen Beinpresse für das gesunde und betroffene Bein [50]. Die durchschnittliche Leistung wurde zu den Messzeitpunkten von der Trainingsauswertung des Bewegungstrainers MOTomed[®] übernommen. Zur Quantifizierung und Qualifizierung der Gehfähigkeit wurde die maximale Gehstrecke ermittelt und gleichzeitig eine Erhebung des rangskalierten individuellen Gehstils durchgeführt (Stufe 0: Gehen ist nicht möglich; Stufe 1: die zurückgelegte Strecke wurde mit Therapeutenunterstützung und Hilfsmittel bewältigt; Stufe 2: die zurückgelegte Strecke wurde alleine, aber mit Benutzung eines Hilfsmittels bewältigt; Stufe 3: die zurückgelegte Strecke wurde alleine und ohne Hilfsmittel bewältigt). Weiterhin wurden erhoben der Muskelfunktionstest nach Janda, die Symmetrieauswertung (Trainingsauswertung MOTomed[®]), der Muskeltonus/Spastik (Trainingsauswertung MOTomed[®]) und der NIHSS (National Institute of Health Stroke Scale) [3].

Neben der Motorik wurde die Fähigkeit zur Selbsthilfe anhand des Barthel-Index überprüft und die Ausübung der Alltagsaktivitäten durch den Rivermead Mobilitätsindex dokumentiert [8]. Der psychische Gesundheitszustand der Patienten wurde durch den Beck Depression Inventar dargestellt [46] und die subjektive gesundheitsbezogene Lebensqualität mit Hilfe des Fragebogens SF-36 erfasst [7] (Abb. 3).

Statistische Methoden

Zur Erhebung der statistischen Daten wurden zu den Untersuchungszeitpunkten die Zielparameter in einen separaten Prüfbogen eingetragen und anschließend in Microsoft Excel[®] 2004 übertragen. Zur Berechnung wurde das Statistikprogramm SPSS 16.0 verwendet. Die Darstellung der Intergruppenunterschiede zu den einzelnen Messzeitpunkten erfolgte über den t-Test für unabhängige Stichproben und den U-Test von Mann-Whitney. Zur Berechnung der Gruppenunterschiede über die Zeit wurde, sofern möglich, eine Varianzanalyse mit Messwiederholung durchgeführt und die Effektstärke über η^2 angegeben. Bei ordinalskalierten Daten erfolgte die Darstellung der Veränderung über den Interventionszeitraum durch den Wilcoxon-Test für abhängige Stichproben und die Berechnung der Effektstärke d nach Cohen [33]. Das Signifikanzniveau wurde auf $\alpha=5\%$ festgelegt.

Ergebnisse

Die Auswertung der Ergebnisse zeigte für den Großteil aller Parameter bei mittlerer bis großer Effektstärke einen deutlichen Therapievorteil der Interventionsgruppe gegenüber der Kontrollgruppe. Durch die Komplexbehandlung FES-LCE konnte für die Interventionsgruppe über den Messzeitraum t_0 nach t_2 eine statistisch signifikant höhere

Verbesserung der Maximalkraft im betroffenen Bein nachgewiesen werden (Interaktion MZP*Gruppe, ANOVA, $F=5,70$; $p=.005$; $Eta^2=.164$). Weiterhin wurde innerhalb der Trainingsauswertung für die Interventionsgruppe eine statistisch signifikant gesteigerte durchschnittliche Leistung dokumentiert (Interaktion MZP*Gruppe, ANOVA, $F=4,06$; $p=.022$; $Eta^2=.123$). Zwischen der Kraft im betroffenen Bein und der durchschnittlichen Leistung am Bewegungstrainer ließ sich ein positiver Zusammenhang nachweisen (Pearson, $r=.410$; $p=.022$). Die Teilnehmer der Kontrollgruppe konnten am Ende der Interventionsphase zu t_2 eine maximale Gehstrecke von $44,31 \pm 64,46$ Meter zurücklegen. Die Teilnehmer der FES-LCE-Gruppe erreichten am Ende der Interventionsphase zu t_2 eine maximale Gehstrecke von $57,67 \pm 49,87$ Metern. Die Berechnung der Interaktion Messzeitpunkt*Gruppe ergab bei kleiner Effektstärke keine signifikanten Gruppenunterschiede in der Verbesserung der maximalen Gehstrecke über den Interventionszeitraum ($F=0,49$; $p=.616$; $Eta^2=.017$). Im Gehstil jedoch erzielten die Teilnehmer der Interventionsgruppe sowohl von t_0 nach t_1 (Wilcoxon, $Z=-2,59$; $p=.01$; $d=0,81$) als auch von t_1 nach t_2 (Wilcoxon, $Z=-2,11$; $p=.04$; $d=0,51$) statistisch signifikante Verbesserungen. Für die Kontrollgruppe konnten zu gleichen Zeitabschnitten keine Signifikanzen nachgewiesen werden ($t_0 - t_1$: Wilcoxon, $Z=-1,89$; $p=.06$; $d=0,46$ und $t_1 - t_2$: Wilcoxon, $Z=-1,00$; $p=.32$; $d=0,17$). Die Patienten der Kontrollgruppe waren nach 4 Wochen (t_2) während des Gehens zum Großteil immer noch auf ein Hilfsmittel und die Unterstützung einer Hilfsperson angewiesen. Im Gegensatz dazu konnten die Teilnehmer der FES-LCE-Gruppe zu Interventionsende (t_2) die maximale Gehstrecke zwar mit Hilfsmittel, aber zum Großteil selbstständig zurücklegen.

Die weiteren motorischen Messparameter zeigten bei kleiner bis mittlerer Effektstärke zum Teil positive Tendenzen für die FES-LCE-Therapie, jedoch ohne statistisch signifikanten Gruppenunterschied.

Bei der Bewältigung der Alltagsaktivitäten (ADL) konnte mit der Auswertung des Barthel-Index im Gruppenvergleich über die Zeit, für die Interventionsgruppe eine statistisch signifikant höhere Fähigkeit zur Selbsthilfe nachgewiesen werden (Interaktion MZP*Gruppe, ANOVA, $F=7,11$; $p=.012$; $Eta^2=.197$). Der außerdem erhobene

Rivermead Mobilitätsindex zeigte eine geringe positive Tendenz für die Interventionsgruppe ohne statistisch signifikanten Gruppenunterschied (Interaktion MZP*Gruppe, ANOVA, $F=0,51$; $p=.601$; $Eta^2=.017$).

Die Auswertungen zum psychischen Gesundheitszustand der Studienteilnehmer (BDI) zeigten zur Baseline t_0 bei insgesamt 17,9% aller Patienten eine mäßige und bei 7,1% eine klinisch relevante Depression. Bis zum Interventionsende verbesserte sich der psychische Gesundheitszustand der Teilnehmer ohne statistisch signifikanten Gruppenunterschied (ANOVA, $F=2,49$, $p=.127$; $Eta^2=.087$) auf 7,1% mit mäßiger Depression bzw. 3,6% mit klinisch relevanten Depression. Zum Entlassungszeitpunkt lagen in beiden Gruppen die Absolutwerte unter der deutschen Norm (Hautzinger et al. 1995).

Die Auswertung der subjektiv eingeschätzten gesundheitsbezogenen Lebensqualität (SF-36) ließ zum Entlassungszeitpunkt (t_2) einen bei geringer bis mittlerer Effektstärke moderaten Therapievorteil der FES-LCE-Gruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe erkennen. 6 Monate nach Interventionsende zu t_3 konnten 54,84% der ausgegebenen Fragebögen ausgewertet werden. Die FES-LCE-Gruppe lag zu diesem Zeitpunkt mit meist mittlern bis starken Effektstärken deutlich über den Werten des Entlassungszeitpunktes t_2 . Dagegen stellte sich bei den Teilnehmern der Kontrollgruppe zur Follow-Up-Befragung eine physische und psychische Verschlechterung gegenüber dem letzten Messwert ein. Die Auswertung der Intragruppenunterschiede zum Katamnesezeitpunkt t_3 zeigte bei meist mittlerer bis großer Effektstärke einen deutlichen Vorteil der FES-LCE-Gruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe mit teilweise statistisch signifikanter Ausprägung (z. B. Em-Ro, $F=6,70$; $p=.021$; $Eta^2=.309$) (Tab. 2).

Diskussion

Die Ergebnisse der Studie zeigen vor allem in den objektiv erhobenen Messparametern Übereinstimmungen mit anderen Untersuchungen zu innovativen evidenzbasierten Therapiestrategien mit repetitivem aktivem Bewegungstraining und hoher Trainingsintensität [2, 14, 34].

Als Haupteffekt der Komplextherapie FES-LCE kann die innerhalb des Interventionszeitraumes im Vergleich zur

motorischen Verbesserungen	Quelle der Variation	F/Z	p	Effektstärke (Eta ² /d)
Kraft betroffenes Bein	MZP*Gruppe	5,70	.005 ¹	.164 ²
Leistung (MOTOmed)	MZP*Gruppe	4,06	.022 ¹	.123 ²
Gehstrecke	MZP*Gruppe	0,49	.616	.017 ²
Gehstil FES-LCE Gruppe, $t_0 - t_1$, Wilcoxon-Test		-2,59	.01 ¹	0,81 ²
Gehstil FES-LCE Gruppe, $t_1 - t_2$, Wilcoxon-Test		-2,11	.04 ¹	0,51 ²
NIHSS	MZP*Gruppe	0,42	.522	.014 ²
Selbsthilfe (Barthel-Index)	MZP*Gruppe	7,11	.012 ¹	.197 ²
Riv. Mobilitätsindex	MZP*Gruppe	0,51	.601	.017 ²
BDI	MZP*Gruppe	2,49	.127	.087 ²

Tab. 2: Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse. ¹Basierend auf einem Signifikanzniveau von $\alpha \geq 5\%$ ist das Ergebnis statistisch signifikant. ²Die Effektstärke ist aus Sicht der Interventionsgruppe mit positiver Ausrichtung für $d \geq 0,2$ bzw. für $Eta^2 \geq 0,01$

Kontrollgruppe statistisch signifikant gesteigerte Verbesserung der Maximalkraft im betroffenen Bein angesehen werden. Das Ergebnis bestätigt damit, dass der durch die Komplextherapie FES-LCE erzielte signifikante Kraftanstieg bei inkompletten Querschnittspatienten auch auf die Therapie von Schlaganfallpatienten übertragbar ist. Eine vergleichbare Studie mit Schlaganfallpatienten von *Ferrante et al.* (2008) kam zu ähnlichen Ergebnissen. Durch eine ausschließlich passive Bewegungsvorgabe konnten *Ferrante* und Kollegen eine annähernd seitengleiche Kraftverbesserung für beide Beine erzielen. Dagegen waren in der vorliegenden Studie alle Patienten angehalten, mit jeweils angepasster individueller Bremsbelastungsstufe die Bewegung aktiv auszuführen. Damit konnten bei der Interventionsgruppe zwischen dem gesunden und dem betroffenen Bein deutliche Unterschiede in der Verbesserung über den Interventionszeitraum erzielt werden. Während innerhalb der Kontrollgruppe die prozentuale Verbesserung der beiden Beine nur um 10,2% differierte, zeigte sich bei der Interventionsgruppe ein um 102,72% größerer Kraftanstieg auf der betroffenen Beinseite. Aufgrund der prozentualen Seitendifferenz in der Beinkraftverbesserung bei der Interventionsgruppe kann davon ausgegangen werden, dass während des muskulär stimulierten Aktivbetriebes das betroffene Bein weitaus stärker trainiert wird, als das gesunde Bein. Bleibt die Stimulation aus, unterstützt das gesunde Bein die Bewegung und vermindert damit den Trainingsreiz für die betroffene Seite.

Bei der Betrachtung des gesamten Studienkollektivs konnten für die Patienten mit betroffener rechter Beinseite (Schlaganfall in linker Gehirnhemisphäre) statistisch signifikant bessere Ergebnisse dokumentiert werden ($F=5,79$; $p=.03$; $\eta^2=.177$) als bei den Patienten mit betroffener linker Beinseite. Die linke Gehirnhemisphäre ist in der Regel die dominante Seite. Es wird davon ausgegangen, dass hierdurch die Prozesse der neuronalen Plastizität verstärkt ablaufen können und somit ein gesteigerter Rehabilitationserfolg ermöglicht wird.

Die zur Baseline gemessenen durchschnittlichen Wattzahlen beider Gruppen sind weitgehend vergleichbar mit den gemessenen Werten bei inkompletten Querschnittspatienten. Während *Hunt & Donaldson* (2006) innerhalb von 12 Monaten FES-LCE-Intervention einen Anstieg der durchschnittlichen Leistung um 124% erzielten (von $8,5 \pm 3,3$ Watt auf $18,2 \pm 8,8$ Watt), konnte in der vorliegenden Untersuchung bei der Interventionsgruppe in einem Drittel der Zeit ein Anstieg um 73,66% erreicht werden (von $8,58 \pm 4,22$ Watt auf $14,9 \pm 8,48$ Watt). Dagegen zeigte sich bei der Kontrollgruppe lediglich ein Anstieg um 34,95% (von $5,98 \pm 3,49$ Watt auf $8,07 \pm 6,84$ Watt). Die Ergebnisse zeigen, dass sich durch die zusätzliche Stimulation eine effektive Leistungssteigerung der Beinmuskulatur um durchschnittlich 4,72 Watt bzw. 64,05% erzielen lässt. Die gesteigerte Verbesserung der Interventionsgruppe unterstreicht damit das in der Literatur beschriebene gute Ansprechen von Schlaganfallpatienten auf die Elektrostimulation [41, 55, 56].

Auffällig ist, dass bei der Kontrollgruppe über den Interventionszeitraum die gemessenen Werte für die durchschnittliche Leistung eine annähernd gleiche Entwicklung aufweisen wie die Kraft im betroffenen Bein. Beide Kurven stagnieren bei der Kontrollgruppe in ihrer Entwicklung nach 2 Wochen bis zum Interventionsende von t_1 nach t_2 . Dagegen steigen bei der Interventionsgruppe die Messwerte für die durchschnittliche Leistung und die Kraft im betroffenen Bein innerhalb der letzten Hälfte der Intervention von t_1 nach t_2 deutlich an. Das Ergebnis bestätigt den gemessenen positiven Zusammenhang zwischen der Maximalkraft im betroffenen Bein und der durchschnittlichen Leistung am Bewegungstrainer. Die Kraftverbesserung beider Gruppen auf der betroffenen Beinseite in den ersten beiden Wochen ist hauptsächlich auf die schnelle koordinative Anpassung zurückzuführen [28]. Bei der Kontrollgruppe ist dieser Effekt nach 2 Wochen erschöpft. Aufgrund des Ausbleibens eines trainingswirksamen Reizes ist keine signifikante Verbesserung mehr zu erkennen. Dagegen unterstreicht der Kraft- und Leistungsanstieg durch die erhöhte Reizschwelle bei der Interventionsgruppe in der zweiten Hälfte der Interventionsphase den gesteigerten Trainingseffekt der Kombinationstherapie FES-LCE.

Hinterfragt werden muss allerdings die Validität der Auswertung der symmetrischen Übungsdurchführung (Symmetrie). Aufgrund der technischen Voraussetzung des Bewegungstrainers lässt sich eine genaue Zuordnung der prozentualen Beteiligung des linken und rechten Beines nicht einwandfrei nachweisen. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass bei der FES-LCE-Gruppe durch eine winkelgetreu vorgegebene Stimulation der Beinextensoren und -flexoren beider Beine die intermuskuläre Koordination normalisiert und eine Unterstützung durch die gesunde Beinseite verhindert wird.

Es ergeben sich für die Interventionsgruppe vor allem in den objektiv erhobenen Diagnoseparametern zur Bestimmung der motorischen Verbesserung der Studienteilnehmer positive Effekte. Der Einsatz der Komplextherapie FES-LCE führt innerhalb eines physiologischen Bewegungsablaufes zu einer Verbesserung der inter- und intramuskulären Koordination. Damit wird innerhalb der 4-wöchigen Interventionsphase eine signifikant höhere Kraftsteigerung der Beinmuskulatur auf der betroffenen Seite erzielt. Aufgrund der daraus resultierenden signifikant gesteigerten Leistungsfähigkeit der Patienten wird im Gegensatz zur Kontrollgruppe zum Entlassungszeitpunkt am Ende der Interventionsphase von den Teilnehmern der FES-LCE-Gruppe eine selbstständige Gehfähigkeit erreicht. Durch eine erhöhte Beinkraft und die daraus resultierende verbesserte Gehfähigkeit konnte für die Studiengruppenteilnehmer auch eine verbesserte Mobilität im Alltag dokumentiert werden. Innerhalb des Barthel-Index zeigte sich dabei für die FES-LCE-Gruppe über die Interventionsphase hinweg ein statistisch signifikanter Unterschied in der Verbesserung der Fähigkeit zur Selbsthilfe im Alltag. Die erzielte Selbstständigkeit ist Grundlage einer dauerhaften Konservierung und Verbesserung des Rehabilitationserfolges im häuslichen Umfeld und

zeigt sich bei den Teilnehmern der Interventionsgruppe in einer deutlich besseren subjektiv eingeschätzten Lebensqualität 6 Monate nach Interventionsende.

Der Unterschied, ob die Patienten zum Entlassungszeitpunkt selbstständig gehen können oder zur Fortbewegung im Alltag immer noch auf fremde Hilfe angewiesen sind, kann als entscheidend dafür angesehen werden, ob der Therapieerfolg nach Entlassung in der häuslichen Umgebung erhalten und weiter ausgebaut werden kann, oder ob sich in der Folgezeit eine somatische und psychische Stagnation bzw. Retardierung mit entsprechender Beeinträchtigung in der Teilhabe am gesellschaftlichen Leben im Sinne der ICF-Richtlinien manifestiert.

Schlussfolgerung

Die Komplextherapie FES-LCE verfolgt den Ansatz neuer Therapiestrategien zur schnellen Verbesserung der Gehfähigkeit von Schlaganfallpatienten und bestätigt die Langzeiteffekte innovativer Behandlungstechniken für diese Patientengruppe. Am Bewegungstrainer lassen sich bei gleichzeitiger funktioneller Elektrostimulation der Beinmuskulatur durch die intensive Repetition der Trainingsform und Adaptation der Trainingsintensität an die aktuelle individuelle Leistungsgrenze (Shaping) die Richtlinien evidenzbasierter Therapiestrategien [6, 39] hervorragend realisieren. Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse bestätigen den rehabilitativen Mehrwert der Komplextherapie FES-LCE im Vergleich zu traditionellen Behandlungsmethoden bei isoliertem Training am Bewegungstrainer. Für den Entlassungszeitpunkt wird die Relevanz der selbstständigen Gehfähigkeit unter allen Umständen bestätigt und eine entsprechende Therapieauslegung gefordert. Anhand der positiven Ergebnisse wird die Komplextherapie FES-LCE für den Einsatz in der stationären Rehabilitation von Schlaganfallpatienten empfohlen. Ein Therapiezeitraum von 4 Wochen sollte nicht unterschritten werden.

Literatur

1. Ackermann H. In: Zentgraf K (ed). Schlaganfall: Medizinische Grundlagen. Schlaganfall bewegt in die Zukunft. Hofmann, Schorndorf 2003, 25-48.
2. Ada L, Dean CM, Hall JM, Bampton J, Crompton S. A treadmill and overground walking program improves walking in persons residing in the community after stroke: a placebo-controlled, randomized trial. *Arch Ohys Med Rehabil* 2003; 84: 1486-1491.
3. Berger K, Waltermann B, Kolominsky-Rabas P, Meves S, Heuschmann P, Böhmer J, Neundörfer B, Hense HW, Büttner T. Untersuchung zur Reliabilität von Schlaganfallskalalen. Die deutschen Versionen von NIHSS, ESS und Rankin Scale. *Fortschr Neurol Psychiatr* 1999; 67 (2): 81-93.
4. Bolton DA, Cauraugh JH, Hausenblas HA. Electromyogram-triggered neuromuscular stimulation and stroke motor recovery of arm/hand functions: a meta-analysis. *J Neurol Sci* 2004; 223: 121-127.
5. Bonita R, Mendis S, Truelsent T, Bogousslavsky J, Toole J, Yatsu F. The Global Stroke Initiative. *Lancet Neurology* 2004; 7(3): 391-393.
6. Brandt T. In: Einhäupl KM, Weiller C, Diener HC, Busch EW (ed). Deutsche Gesellschaft für Neurologie. Neurologie 2007. Fortbildungsakademie der 80. deutschen Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Neurologie. Neurologische Rehabilitation. Stuttgart: Thieme 2007, 42-47.
7. Bullinger M, Kirchberger I, Ware JE. Der Deutsche SF-36 Health Survey. Übersetzung und psychometrische Testung eines krankheitsübergreifenden Instruments zur Erfassung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität. *Z f Gesundheitswiss* 1995; 3: 21-36.
8. Collin C, Wade D. Assessing motor impairment after stroke: a pilot reliability study. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1990; 53: 576-569.
9. Deutsche Gesellschaft für Neurologie (DGN). Vaskuläre Erkrankungen. Ischämischer Schlaganfall: Akuttherapie. Stand 2008. URL: [http://www.dgn.org/59.0.html?&no_cache=1&sword_list\[\]=Schlaganfall](http://www.dgn.org/59.0.html?&no_cache=1&sword_list[]=Schlaganfall) (abgerufen 25.02.2008).
10. Diserens K, Perret N, Chatalain S, Badhir S, Ruegg D, Vuadens P, Vingerhoets F. The effect of repetitive arm cycling on post stroke spasticity and motor control: repetitive arm cycling and spasticity. *J Neurol Sci* 2007; 253 (1-2): 18-24.
11. Donaldson N, Perkins TA, Fitzwater R, Wood DE, Middleton F. FES cycling may promote recovery of leg function after incomplete spinal cord injury. *Spinal Cord* 2000; 38 (11): 680-682.
12. Duffell L, Donaldson N de N, Perkins T, Newhand DJ. In: Aagaard et al. (ed). 5th International conference on strength training for sport, health, aging and rehabilitation. Muscular changes during one year of functional electrical stimulation cycle training in spinal cord injured people. Odense, Book of Abstracts 2006.
13. Feys H, De Weerd WJ, Verbeke G, Steck GC, Capiou C, Kiekens C, Dejaeger E, Van Hoydonck G, Vermeersch G, Cras P. Early and repetitive stimulation of the arm can substantially improve the long-term outcome after stroke: a 5-year follow-up study of a randomized trial. *Stroke* 2004; 35: 924-929.
14. Ferrante S, Pedrocci A, Feringo G, Molteni F. Cycling induced by functional electrical stimulation improves the muscular strength and the motor control of individuals with post-acute stroke. *Eur J Phys Rehabil Med* 2008; 44 (2): 159-167.
15. Fornusek C, Davis GM. Cardiovascular and metabolic responses during functional electric stimulation cycling at different cadences. *Arch Phys Med Rehabil* 2008; 89 (4): 719-725.
16. Fornusek C, Davis GM, Sinclair PJ, Milthrope B. A new Functional Electrical Stimulation cycle ergometer. *J Neuromodulation* 2004; 7(1): 56-64.
17. Frommelt P. In: Frommelt P, Grötzbach H (ed). Neurorehabilitation. Schlaganfallrehabilitation. Blackwell, Berlin 1999, 389-418.
18. Frommelt P, Grötzbach H. In: Einhäupl KM, Weiller C, Diener HC, Busch EW (ed). Deutsche Gesellschaft für Neurologie. Neurologie 2007. Fortbildungsakademie der 80. deutschen Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Neurologie. ICF in der Rehabilitation. Thieme, Stuttgart 2007, 34-37.
19. Frotzer A, Coupaud S, Perret C, Kakebeeke TH, Hunt KJ, Donaldson NN, Eser P. High-volume FES-cycling partially reverses bone loss in people with chronic spinal cord injury. *Bone* 2008; 43 (1): 169-176.
20. Galetke W, Randerath W, Pfeiffer M, Feldmeyer F, Rühle K-H. Spiroergometrie bei bettlägerigen Patienten mit schwergradiger COB. *Pneumologie* 2002; 56: 98-102.
21. Gerrits HL, de Haan A, Sergeant AJ, van Langen H, Hopmann MT. Peripheral vascular changes after electrically stimulated cycle training in people with spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil* 2001; 82 (6): 832-839.

22. Gordon NF, Gulianick M, Costa F, Fletcher G, Franklin BA, Roth EJ, Shephard T. Physical activity and exercise recommendations for stroke survivors. An American Heart Association scientific statement from the Council on Clinical Cardiology, Subcommittee on Exercise, Cardiac Rehabilitation and Prevention; the Council on Nutrition, Physical Activity and Metabolism; and the Stroke Council. *Stroke* 2004; 35: 1230-1240.
23. Häußler B, Mall W. Schlaganfallversorgung in Rheinland-Pfalz Teil 2: Analyse von Behandlungsverläufen. Schriftenreihe »Gesundheitswesen«, Gesundheitsberichterstattung des Ministeriums für Arbeit, Soziales und Gesundheit Rheinland-Pfalz. Mainz 1995.
24. Hautzinger M, Bailer M, Worall H, Keller F. Beck-Depression-Inventar (BDI). 2. überarbeitete Auflage, Huber, Bern 1995.
25. Hesse S, Werner C, Bardeleben A, Barbeau H. Body weight-supported treadmill training after stroke. *Curr Atheroscler Rep* 2001; 3 (4): 287-294.
26. Hesse S, Nelles G. In: Brandt T, Dichgans J, Diener HC (ed). Therapie und Verlauf neurologischer Erkrankungen. Motorische Rehabilitation nach Schlaganfall. Kohlhammer, Stuttgart 2003, 1076-1091.
27. Hofferberth B. In: RECK Technik GmbH & Co. KG. Erfahrungsberichte MOTomed® letto, viva 1 und viva 2. Erfahrungen mit den MOTomed®-Geräten. 2007, 24-25.
28. Hollmann W, Hettinger T. Sportmedizin. Schattauer, Stuttgart 2000.
29. Hülsler PJ. In: RECK Technik GmbH & Co. KG. Erfahrungsberichte MOTomed® letto, viva 1 und viva 2. Klinische Bewertung der MOTomed-Geräte. 2007, 8-9.
30. Hunt KJ, Donaldson N. The Development of Systems for Paraplegic Cycling: improving health after spinal cord injury. Final Report, EPSRC Grants GR/R92462 and GR/R93520. 2006,1-7.
31. Jeschke C. In: Nelles G (ed). Neurologische Rehabilitation. Physiotherapie in der neurologischen Rehabilitation. Thieme, Stuttgart 2004, 61-73.
32. Kamps A, Schüle K. Zyklisches Bewegungstraining der unteren Extremitäten in der Schlaganfallrehabilitation. *Neurol Rehabil* 2005; 11 (5): 259-269.
33. Leonhart R: Effektgrößenberechnung bei Interventionsstudien. *Rehabilitation* 2004; 43: 241-246.
34. Luft AR. In: Einhäupl KM, Weiller C, Diener HC, Busch EW (ed). Deutsche Gesellschaft für Neurologie. Neurologie 2007. Fortbildungsakademie der 80. Deutschen Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Neurologie. Motorische Rehabilitation nach Schlaganfall. Thieme, Stuttgart 2007, 77-79.
35. Macko RF, Ivey FM, Forrester LW. Task-oriented aerobic exercise in chronic hemiparetic stroke: Training protocols and treatment effects. *Top Stroke Rehabil* 2005; 12 (1): 45-57.
36. Mehrholz J, Pohl M. Wird in der neurologischen Rehabilitation seitens der Physiotherapie ausreichend das Herz-Kreislaufsystem trainiert? Ein Vergleich verschiedener Übungen bei gehfähigen Patienten mit Hemiparese nach Schlaganfall. *Neurologie und Rehabilitation* 2005; 11: 126-130.
37. Mora CC, Raab-Oetker A. Ergebnisdarstellung des Projektes der deutschen Sporthochschule, Köln. Institut für Rehabilitation und Behindertensport zum Thema: Apparativ-assistives Training mit Multiple Sklerose Patienten 2002.
38. Nelles G. Parese nach Schlaganfall. Erzwungener Gebrauch bringt nachhaltig die Funktion zurück. *Neurologie & Psychiatrie* 2008; 10 (3): 6-7.
39. Nelles G. DGN-Leitlinie: Motorische Rehabilitation nach Schlaganfall. Stand 2005. URL: <http://www.uni-duesseldorf.de/AWMF> (abgerufen am 16.03.2005)
40. Nelles G (ed). Neurologische Rehabilitation. Thieme, Stuttgart 2004.
41. Newsam CJ, Baker LL. Effect of an Electric Stimulation Facilitation Program on Quadriceps Motor Unit Recruitment After Stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 2004; 85: 2040-2045.
42. Page SJ, Sisto S, Levine P, Mc Grath RE. Efficacy of modified constraint-induced movement therapy in chronic stroke: a single-blinded randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil* 2004; 85: 14-18.
43. Poeck K, Hacke W. Neurologie. 11. Auflage, Springer, Berlin 2001.
44. Pohl M, Mehrholz J, Ritschel C, Ruckriem S. Speed-dependent treadmill training in ambulatory hemiparetic stroke patients: a randomized controlled trial. *Stroke* 2002; 33: 553-558.
45. Raymond J, Cramer R. Electrical Stimulation for Individuals with Spinal Cord Injury. *Am J Med Sports* 2001; 4: 222-228.
46. Robinson RG. Poststroke Depression: Prevalence, diagnosis, treatment, and disease progression. *Biol Psychiatry* 2003; 54: 376-387.
47. Rösche J, Paulus C, Maisch U, Mauch E, Kornhuber HH. Wirksamkeit antispastischer Übungsbehandlung mit MOTomed®, gemessen mit F-Wellenamplitudenveränderungen. *Neurologie & Rehabilitation* 1995; 2: 14.
48. Rothwell PM, Coulla AJ, Silver LE. Population-based study of event-rate, incidence, case fatality, and mortality for all acute vascular events in all arterial territories (Oxford Vascular Study). *Lancet* 2005; 366: 1773-1783.
49. Sinclair PJ, Fornusek C, Davis GM, Smith RM. The Effect of Fatigue in the Timing of Electrical Stimulation-Evoked Muscle Contraction in People with Spinal Cord Injury. *Neurorehabilitation* 2004; 7 (5): 214-222.
50. Slumberger A, Schmidtbleicher D. Grundlagen der Kraftdiagnostik in Prävention und Rehabilitation. *Manuelle Medizin* 2000; 38 (4): 223-231.
51. Statistisches Bundesamt: Gesundheitswesen. Diagnosedaten der Patienten und Patientinnen in Krankenhäusern (einschl. Sterbe- und Stuntenfälle). Fachserie 2005; 12: 33-34.
52. Van der Lee JH, Snels IAK, Beckermann H, Lankhorst GJ. Exercise therapy for arm function in stroke patients: a systematic review of randomized controlled trials. *Clin Rehabil* 2001; 15: 20-31.
53. Winter Y, Wolfram C, Schöffski O, Dodel RC, Back T. Langzeitkrankheitskosten 4 Jahre nach Schlaganfall oder TIA in Deutschland. *Nervenarzt* 2008; 79: 918-926.
54. Wolf SL, Winstein CJ, Miller JP, Thompson PA, Taub E, Uswatte G, Morris D, Blanton S, Nicholas-Larsen D, Clark PC. Retention of upper limb function in stroke survivors who have received constraint-induced movement therapy: the EXCITE randomized trial. *Lancet Neurol* 2008; 7: 3340.
55. Yan T, Hui-Chan C, Li L. FES improves motor recovery of the lower extremity and walking ability of subjects with first acute stroke. *Stroke* 2005; 36 (1): 80-85.
56. Yavuzer G, Geler-Külcü D, Sonel-Tur B, Kutlay S, Ergin S, Stam HJ. Neuromuscular Electric Stimulation Effect on Lower-Extremity Motor Recovery and Gait Kinematics of Patients with Stroke: A Randomized Controlled Trial. *Arch Phys Med Rehabil* 2006; 87: 536-540.

Interessenvermerk:

Es besteht kein Interessenkonflikt.

Korrespondenzadresse:

Dr. phil. Florian Eigler
Bahnhofstrasse 24
68526 Ladenburg
E-Mail: florianeigler@hotmail.com