

Symposium in der MEDIAN Klinik Berlin-Kladow

Probleme und Perspektiven in der motorischen Rehabilitation

Am 21.04.2012 fand in der MEDIAN Klinik Berlin-Kladow (ehemals Klinik Berlin) ein wissenschaftliches Symposium anlässlich des ärztlichen Leitungswechsels statt. Professor Dr. Karl-Heinz Mauritz, der die Klinik seit ihrer Gründung im Jahre 1989 geführt hatte, ist zum 31.01.2012 in den Ruhestand gegangen. Aus diesem Anlass referierten ehemalige und aktuelle Mitarbeiter und Weggefährten der Klinik über »Probleme und Perspektiven der Neurorehabilitation«. Nachfolgend findet sich eine Zusammenfassung der Vorträge zum Thema »Motorische Rehabilitation«, die seit der Gründung einen wissenschaftlichen Schwerpunkt der Klinik darstellten. Die Inhalte der Vorträge »Ernährungstherapie in der Rehabilitation« (Fr. Dr. zur Horst-Meyer) und »Grenzfragen der Neurorehabilitation« (Dr. Adolphsen) sind an anderer Stelle ausführlich dargestellt. Der Vortrag »Entwicklung der Neurorehabilitation« (Prof. Dr. Mauritz) wird zu einem späteren Zeitpunkt erscheinen.

Prinzipien des motorischen Lernens

Unter dem Titel »Wer lernen will, muss üben« referierte *Prof. Dr. Hummelsheim* (Neurologisches Rehabilitationszentrum Leipzig) über die Prinzipien des motorischen Lernens. Bereits in frühen Arbeiten [4] zeigte sich die Bedeutung des repetitiven Elements zur Funktionsverbesserung. Hierbei handelt es sich um ein »fokussiertes Training« in der Nähe der individuellen Leistungsgrenze bezüglich Kraft und Geschwindigkeit, was zu einer Verbesserung sowohl der trainierten Parameter als auch der motorischen Funktionalität (Rivermead Motor Assessment) führte. In einer Nachfolgestudie wurden komplexe Bewegungen von Arm und Hand (möglichst präzise Greif- und Transportbewegungen, Steigerung der Geschwindigkeit bei Sägebewegungen) repetitiv trainiert. Hier ließ sich keine Verbesserung der genannten Parameter dokumentieren [47]. Erst unter Änderung der Instruktionsbedingungen (Shaping durch Fokussierung auf möglichst schnelle Bewegungsdurchführung) zeigte sich ein positiver Trainingseffekt [46]. Dies belegt somit, dass repetitives Training alleine, insbesondere fernab der individuellen Leistungsgrenze, nicht zwangsläufig zu einer Funktionsverbesserung führt. Erst durch »Shaping«, also Anpassung an die individuelle Leistungsgrenze, kommt es zu einem optimalen Lernprozess und damit zu einer Funktionsverbesserung. Dabei korrelieren basale motorische Funk-

tionen (Kraft, Geschwindigkeit) eng mit funktionellen Tests wie z. B. dem ARAT [40]. Tatsächlich zeigten sich gleiche Effekte eines Trainings (isolierte Bewegungen bzw. Geschwindigkeitstraining eines ARAT-Untertests) als vergleichbar effizient in der Verbesserung der Armfunktion (unveröffentlichte Daten).

Diese genannten Prinzipien können allerdings nur zur Rehabilitation leicht- bis mittelgradiger Paresen eingesetzt werden, bei denen eine aktive Bewegungsausführung durch die Patienten möglich ist. Der plegische Arm ohne Willküraktivierung stellt weiterhin eine Herausforderung dar. In zwei TMS-Studien wurde der Einfluss von Willküraktivität der gesunden Hand auf die geschädigte Hemisphäre untersucht. Bei einseitiger Aktivierung der gesunden Hand zeigte sich weder bei Normalpersonen noch bei Patienten eine Amplitudenminderung (Inhibition) der anderen Extremität. Vielmehr zeigte sich eine Amplitudenzunahme (Fazilitation) in Abhängigkeit von der Stärke der kontralateralen Kontraktion, aber unabhängig von der durchgeführten Art der Bewegung (Grifftyp) [45]. Die gleichzeitige Aktivierung beider Hände führt bei Gesunden nicht zu einer zusätzlichen Fazilitation, wohl aber bei Schlaganfallpatienten [41]. Somit kann bei Schlaganfallpatienten eine simultane bilaterale Aktivierung zu einer zusätzlichen Fazilitation erreicht werden, die über die fazilitatorische Wirkung der betroffenen Hand allein hinausgeht.

Zum motorischen Lernen beim Armfähigkeitstraining

Unter dem Titel »Lernt, wer übt?« berichtete *Prof. Dr. Platz* (BDH-Klinik Greifswald) über das motorische Lernen beim Armfähigkeitstraining (AFT). Das Armfähigkeitstraining besteht aus acht verschiedenen Aufgaben (z. B. Zielbewegung, Tapping etc.), die repetitiv durchgeführt werden müssen und auf diese Weise verschiedene Aspekte der Armmotorik wie Geschwindigkeit, Zielgenauigkeit, Geschicklichkeit etc. trainieren [29]. Bei Schlaganfallpatienten konnte das AFT als Teil des Impairment-Oriented Trainings (IOT) eine bessere Wirksamkeit im Vergleich zu der besten konventionellen Therapie zeigen [32]. Offen war bisher jedoch die Frage, ob es verschiedene zugrundeliegende Entitäten gibt, die mit den Aufgaben des AFT angesprochen und trainiert werden. In einer Studie an Gesunden konnte eine unterschiedliche Lerngeschwindigkeit der einzelnen Aufgaben des AFT gezeigt werden. Eine Hauptfaktorenanalyse identifizierte fünf verschiedene Komponenten, die einen Großteil der Varianz erklärten, aber sehr unterschiedlich zu den einzelnen Aufgaben beitrugen [30]. Eine Inhibition kortikaler Areale mittels Theta-Burst-Stimulation während des Trainingszeitraums zeigte bei Stimulation von M1, S1, prämotorischem Kortex und SMA jeweils unterschiedliche Effekte auf die einzelnen Aufgabentypen. Diese inhibitorischen Einflüsse auf die Armmo-



Median Klinik Berlin-Kladow
(ehemals Klinik Berlin)

torik fanden sich jedoch nicht, wenn die Theta-Burst-Stimulation erst am Ende eines dreiwöchigen Trainingszeitraums appliziert wurde [31]. Zusammenfassend konnte somit das zugrundeliegende Repertoire und die mögliche kortikale Repräsentation alltagspraktischer Armaktivitäten aufgeschlüsselt werden.

Gerätegestützte Rehabilitation

Unter dem Titel »Wer lernen will, braucht Hilfe« berichtete *Herr Prof. Dr. med. Hesse* (Medical Park Berlin-Humboldtmühle) über Methoden der gerätegestützten Rehabilitation. Einleitend führt er aus, dass bereits einfache technische Hilfsmittel zu einer deutlichen Beschwerdelinderung beitragen können, so z. B. das Bleiplättchen zur Lidbeschwerung bei Lagophthalmus [18] oder die Nutzung kleiner Magneten in Kombination mit Metallbesteck [12]. Im Weiteren stellte er Methoden zur Erhöhung der Therapiefrequenz durch Eigentaining der Patienten vor, zum einen die Elektrostimulation, zum anderen aber auch die manuell betriebene somatosensorische Stimulation von Fingerbewegungen (Reha-Digit, [14]). Diese Methode ist auch bei Patienten mit schweren Bewusstseinsstörungen, z. B. in der Frührehabilitationsphase B, einsetzbar. Bei zunehmender Mobilisation der Patienten können verschiedene gerätegestützte Verfahren zum Einsatz kommen wie der elektromechanische Gangtrainer [15] oder das Laufband mit Gewichtsentlastung [13]. Dabei bietet insbesondere der elektromechanische Gangtrainer deutliche Vorteile gegenüber dem konventionellen Gangtraining mit üblicherweise mehreren Thera-

peuten [33]. Diese Methoden können auch kombiniert in einem Raum angeordnet sein (»Lokostübchen«), was zum einen den Vorteil der Interaktion zwischen den Patienten bietet, andererseits durchaus auch ökonomische Vorteile hat. Die Alternative zu diesem Endeffektorsystem ist ein Exoskelet wie z. B. der Lokomat [21]. Jüngste Metaanalysen weisen auf gewisse Vorteile für ein Endeffektorsystem hin [25]. Die Weiterentwicklung des elektromechanischen Gangtrainers, z. B. zum Erlernen des Treppensteigens, ist der sogenannte G-EO mit programmierbaren Fußplatten [17]. Auch hier zeigt eine frühzeitige Anwendung gegenüber konventionellem Gangtraining eine höhere Rate an Patienten, bei denen die Gehfähigkeit wieder hergestellt werden konnte (unveröffentlichte Daten).

Das gerätegestützte Gruppenkonzept findet seine Anwendung auch für die obere Extremität im sogenannten »Armstudio« [3]. Effektivitätsstudien zeigen keinen wesentlichen Unterschied zwischen der Anwendung des Armstudios und physiotherapeutischer Einzeltherapie gleicher Behandlungsdauer. Auch hier sind jedoch auch ökonomische Erwägungen zu berücksichtigen.

Wirkungsverstärkend kann die transkranielle Gleichstromstimulation sein, die sich insbesondere in den letzten Jahren einer zunehmenden Beliebtheit in der Rehabilitation erfreut. In einer ersten randomisierten, kontrollierten Studie zur Kombination gerätegestützter Armrehabilitation mit anodaler bzw. kathodaler Stimulation zeigten sich keine klaren Effekte [16]. Weitergehende Studien sind erforderlich, um die fehlende

Literatur:

1. Birbaumer N, Ghanayim N, Hinterberger T et al. A spelling device for the paralysed. *Nature* 1999; 398 (6725): 297-298.
2. Brunetti M, Mehnert J, Steinbrink J et al. Effect of the mirror illusion on activation in precuneus assessed with near-infrared spectroscopy. 84. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Neurologie, Wiesbaden 2011.
3. Buschfort R, Brocke J, Hess A et al. Arm studio to intensify the upper limb rehabilitation after stroke: concept, acceptance, utilization and preliminary clinical results. *J Rehabil Med* 2010; 42 (4): 310-314.
4. Bütefisch C, Hummelsheim H, Denzler P et al. Repetitive training of isolated movements improves the outcome of motor rehabilitation of the centrally paretic hand. *J Neurol Sci* 1995; 130 (1): 59-68
5. Counsell C, Dennis M. Systematic review of prognostic models in patients with acute stroke. *Cerebrovasc Dis* 2001; 12 (3): 159-170.
6. Dohle C, Kleiser R, Seitz RJ et al. Body scheme gates visual processing. *J Neurophysiol* 2004; 91 (5): 2376-2379.
7. Dohle C, Püllen J, Nakaten A et al. Mirror therapy promotes recovery from severe hemiparesis: a randomized controlled trial. *Neurorehabil Neural Repair* 2009; 23 (3): 209-217.
8. Dohle C, Stephan KM, Valvoda JT et al. Representation of virtual arm movements in precuneus. *Exp Brain Res* 2011; 208 (4): 543-555.
9. Ebersbach G. Übende Therapie bei Morbus Parkinson. *Akt Neurol* 2005; 32 (02): 71-76.
10. Ebersbach G, Ebersbach A, Edler D et al. Comparing exercise in Parkinson's disease – the Berlin LSVT®BIG study. *Mov Disord* 2010; 25 (12): 1902-1908.
11. El Sharkawi A, Ramig L, Logemann JA et al. Swallowing and voice effects of Lee Silverman Voice Treatment (LSVT): a pilot study. *J Neurol Neurosurg Psychiatr* 2002; 72 (1): 31-36.
12. Hesse S, Bardeleben A, Werner C et al. Magnetic grip facilitates feeding with weakened hands after spinal cord injury. *Neurorehabil Neural Repair* 2012; 26 (1): 107-108.
13. Hesse S, Bertelt C, Jahnke MT et al. Treadmill training with partial body weight support compared with physiotherapy in nonambulatory hemiparetic patients. *Stroke* 1995; 26 (6): 976-981.
14. Hesse S, Kuhlmann H, Wilk J et al. A new electromechanical trainer for sensorimotor rehabilitation of paralysed fingers: a case series in chronic and acute stroke patients. *J Neuroeng Rehabil* 2008; 5: 21.
15. Hesse S, Uhlenbrock D. A mechanized gait trainer for restoration of gait. *J Rehabil Res Dev* 2000; 37 (6): 701-708.
16. Hesse S, Waldner A, Mehrholz J et al. Combined transcranial direct current stimulation and robot-assisted arm training in subacute stroke patients: an exploratory, randomized multicenter trial. *Neurorehabil Neural Repair* 2011; 25 (9): 838-846.
17. Hesse S, Waldner A, Tomelleri C. Innovative gait robot for the repetitive practice of floor walking and stair climbing up and down in stroke patients. *J Neuroeng Rehabil* 2010; 7: 30.
18. Hesse S, Werner C, Melzer I et al. External lid loading for the temporary treatment of paresis of the M. orbicularis oculi: a case report. *Arch Phys Med Rehabil* 2011; 92 (8): 1333-1335.
19. Hochberg LR, Serruya MD, Friebs GM et al. Neuronal ensemble control of prosthetic devices by a human with tetraplegia. *Nature* 2006; 442 (7099): 164-171.

20. Hodics T, Cohen LG, Cramer SC. Functional imaging of intervention effects in stroke motor rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil* 2006; 87 (12 Suppl 2): S36-42.
21. Husemann B, Müller F, Krewer C et al. Effects of locomotion training with assistance of a robot-driven gait orthosis in hemiparetic patients after stroke: a randomized controlled pilot study. *Stroke* 2007; 38 (2): 349-354.
22. Jöbges M, Heuschkel G, Pretzel C et al. Repetitive training of compensatory steps: a therapeutic approach for postural instability in Parkinson's disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatr* 2004; 75 (12): 1682-1687.
23. Krauledat M, Dornhege G, Blankertz B et al. Improving speed and accuracy of brain-computer interfaces using readiness potential features. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2004; 6: 4511-4515.
24. Liepert J. Elektrophysiologie zur Prognose nach Schlaganfall. *Neurol Rehabil* 2009; 15 (2): 139-142.
25. Mehrholz J, Pohl M. Electromechanical-assisted gait training after stroke: a systematic review comparing end-effector and exoskeleton devices. *J Rehabil Med* 2012; 44 (3): 193-199.
26. Morkisch N. Evaluation eines standardisierten Protokolls zur Spiegeltherapie. Master-These, Donau-Universität 2011.
27. Nieuwboer A, Rochester L, Müncks L et al. Motor learning in Parkinson's disease: limitations and potential for rehabilitation. *Parkinsonism Relat Disord* 2009; 15 (Suppl 3): S53-58.
28. Obrig H, Wenzel R, Kohl M et al. Near-infrared spectroscopy: does it function in functional activation studies of the adult brain? *Int J Psychophysiol* 2000; 35 (2-3): 125-142.
29. Platz T. IOT – Impairment-Oriented Training, Schädigungs-orientiertes Training. Theorie und deutschsprachige Manuale für Therapie und Assessment; Arm-BASIS-Training, Arm-Fähigkeits-Training, Fugl-Meyer-Test (Arm), TEMPA. 1. Aufl., Deutscher Wissenschafts-Verlag (DWV), Baden-Baden 2006.
30. Platz T, Roschka S, Christel MI et al. Early stages of motor skill learning and the specific relevance of the cortical motor system – a combined behavioural training and theta burst TMS study. *Restor Neurol Neurosci* 2012; 30 (3): 199-211.
31. Platz T, Roschka S, Doppl K et al. Prolonged motor skill learning – a combined behavioural training and theta burst TMS study. *Restor Neurol Neurosci* 2012; 30 (3): 213-224.
32. Platz T, van Kaick S, Mehrholz J et al. Best conventional therapy versus modular impairment-oriented training for arm paresis after stroke: a single-blind, multicenter randomized controlled trial. *Neurorehabil Neural Repair* 2009; 23 (7): 706-716.
33. Pohl M, Werner C, Holzgraefe M et al. Repetitive locomotor training and physiotherapy improve walking and basic activities of daily living after stroke: a single-blind, randomized multicentre trial (DEutsche GAng-trainerStudie, DEGAS). *Clin Rehabil* 2007; 21 (1): 17-27.
34. Puttemans V, Wenderoth N, Swinnen SP. Changes in brain activation during the acquisition of a multifrequency bimanual coordination task: from the cognitive stage to advanced levels of automaticity. *J Neurosci* 2005; 25 (17): 4270-4278.
35. Ramachandran VS, Rogers-Ramachandran D. Synaesthesia in phantom limbs induced with mirrors. *Proc Biol Sci* 1996; 263 (1369): 377-386.
36. Ramig LO, Sapiro S, Countryman S et al. Intensive voice treatment (LSVT) for patients with Parkinson's disease: a 2 year follow up. *J Neurol Neurosurg Psychiatr* 2001; 71 (4): 493-498.

Wirksamkeit in speziell diesem Paradigma bei sonst gut etabliertem Effekt der transkraniellen Gleichstromstimulation aufzuklären.

Bildgebung in der Rehabilitation

Unter dem Titel »Weiß ich vorher, was hilft?« berichtete *Dr. C. Dohle* (MEDIAN Klinik Berlin-Kladow) über den Stellenwert der Bildgebung in der Rehabilitation. Nachdem viele Studien versucht haben, klinische Prädiktoren für das Outcome nach Schlaganfall zu bestimmen (z. B. [5]), stellt sich die Frage, ob beispielsweise durch strukturelle oder funktionelle Kernspintomographien die Vorhersagekraft dieser Modelle verbessert werden kann. Für strukturelle Bildgebung kann dies nicht nachgewiesen werden [39]. Auch die motorisch evozierten Potentiale liefern bei schwer betroffenen Patienten zwar zusätzliche Informationen, aber keine Sicherheit (z. B. [24]), sodass die Nutzung technischer Verfahren zur Prognoseabschätzung nicht generell empfohlen werden kann [43]. Die funktionelle Bildgebung ist jedoch wichtig für das Verständnis von Plastizitätsvorgängen nach Schlaganfall (z. B. [20]). Insbesondere haben sie in den letzten Jahren dazu beigetragen, unser Verständnis zur Hemisphären-Balance, d. h. dem Zusammenspiel zwischen betroffener und nicht betroffener Hemisphäre, zu verstehen, die sich innerhalb der ersten Wochen nach Schlaganfall ändert [38]. Es ist jedoch zu beachten, dass funktionelle Kernspintomographie aufwendig ist und nur an wenigen Zentren zur Verfügung steht. Hier bietet die Methode der Nahinfrarotspektroskopie möglicherweise eine Alternative (z. B. [28]).

Ein gutes Modell zur Überprüfung dieser Hypothese bietet die Spiegeltherapie. Dabei wird ein Spiegel so in der Körpermitte des Patienten aufgestellt, dass das Spiegelbild der nicht betroffenen Extremität erscheint, als wäre es die betroffene Extremität [35]. Effekte der Spiegeltherapie zeigten sich auf die Hemiparese nach Schlaganfall [44], besonders bei schweren Paresen [7]. Dabei konnte sowohl mittels funktioneller

Kernspintomographie [6], Positronen-Emissionstomographie [8] als auch mit Nahinfrarot-Spektroskopie [2] nachgewiesen werden, dass die Bewegungspiegelung (als Gruppeneffekt) tatsächlich zu einer Aktivierung der jeweils kontralateralen Hemisphäre führt. Derzeit wird untersucht, ob diese lateralisierte Aktivierung auch bei einzelnen Probanden und Patienten nachweisbar ist und, wenn ja, ob dieses Aktivierungsmuster einen prädiktiven Wert für die motorische Erholung hat. Erste klinische Daten legen nahe, dass auch die klinische Einschätzung während der Therapiedurchführung, speziell die Aufmerksamkeit, eine relevante Rolle spielt [26]. Dies deckt sich mit dem Ergebnis einer Metaanalyse von klinischen Studien zur Spiegeltherapie, die zeigen, dass zumindest ein Teil der Wirksamkeit durch die Richtung der Aufmerksamkeit auf die betroffene Extremität zu erklären ist [44]. Zusammenfassend scheint somit auch in Zeiten moderner bildgebender Verfahren die klinische Einschätzung nicht ersetzbar.

Übende Verfahren bei M. Parkinson

Unter dem Titel »Jenseits des Schlaganfalls« berichtete *Dr. B. Hauptmann* (Neurologisches Zentrum Seegeberger Kliniken) über übende Verfahren bei Morbus Parkinson. Einführend stellte er die verschiedenen Arten des Lernen und Gedächtnisses dar. So muss einerseits unterschieden werden zwischen deklarativem und nicht deklarativem (prozeduralem) Gedächtnis. Andererseits ist es wichtig, prozedurales Lernen als wiederholungs- und zeitkritischen Prozess zu verstehen, der in Phasen verläuft.

Diese verschiedenen Phasen involvieren unterschiedliche zentralnervöse Strukturen (z. B. [34]). Auch Parkinsonpatienten können diese Lernprozesse leisten, allerdings im Vergleich zu Gesunden mit langsamerer Lerngeschwindigkeit und Leistungsabweichung [27]. Dabei erscheint die implizite Darbietung von Lerninhalten besonders abhängig von der Basalganglienfunktion und deshalb bei Parkinsonpatienten spezifisch beeinträchtigt zu sein [42].

Auch beim »dual task«-Lernen zeigen die meisten Parkinsonpatienten eine substantielle Beeinträchtigung [27]. Übertragen auf die Physiotherapie heißt das, dass Parkinsonpatienten mehr Zeit brauchen, um zu lernen. Insbesondere in späteren Krankheitsstadien sind explizite Lernmethoden und Cues sinnvoll.

Die Evidenzlage von Physiotherapie bei Morbus Parkinson ist in den letzten Jahren deutlich verbessert worden (z. B. [37]). Im Bereich der Sprechstörungen ist vor allem die Lee Silverman Voice Therapy (LSVT) gut etabliert und in ihrer Langzeitwirkung bis zu zwei Jahre nachgewiesen [36]. Schluckstörungen sind aufgrund der hohen Komplikationsrate eine relevante Einschränkung bei Parkinsonpatienten und führen zu einer deutlichen Beeinträchtigung der Lebensqualität. Neben spezifischen Übungen hat sich auch hier die LSVT als effektiv erwiesen [11]. Gleichgewichtsstörungen erleiden bis zu 96 % der Patienten im Verlauf. Auch dieses Symptom spricht schlecht auf dopaminerge Stimulation an. Hier konnte mit dem repetitiven Training von kompensatorischen Schritten eine deutliche und langfristig stabile Besserung erreicht werden (z. B. [22]). Weitere Unterstützung können verschiedene Cues (auditorisch, visuell, sensorisch) leisten [9]. Schließlich konnte das Prinzip der LSVT auch sinnvoll in die Physiotherapie übertragen werden. Das sogenannte BIG-Training führt nachweislich zu einer langfristig anhaltenden Verbesserung der Beweglichkeit [10]. Zusammenfassend können somit die oben genannten Therapieprinzipien nach Schlaganfall nicht uneingeschränkt auf Basalganglien übertragen werden. Vielmehr gilt es, die spezifischen Defizite dieses Patientenguts insbesondere im Erwerb und der Retention motorischer Fähigkeiten zu beachten.

Brain-Computer-Interfaces

Unter dem Titel »Kann uns das Gehirn helfen?« berichtete Prof. Dr. Curio (Charité – Universitätsmedizin Berlin, Campus Benjamin Franklin)

über die Entwicklung von sogenannten Brain-Computer-Interfaces. Hierdurch kann auch bei völliger Bewegungsunfähigkeit, z. B. bei Locked-In-Syndrom, eine Möglichkeit der Kommunikation und auch Umweltsteuerung etabliert werden. Das prominenteste Beispiel für ein Locked-In-Syndrom ist vermutlich Noirtier de Villefort aus dem Roman »Der Graf von Monte Christo« von Alexandre Dumas. Aktuell hat dieses Krankheitsbild beispielsweise durch das Buch und auch den gleichnamigen Film »Schmetterling und Taucherglocke« von Jean-Dominique Bauby öffentlichkeitswirksame Aufmerksamkeit erhalten.

In verschiedenen Arbeitsgruppen wurden unterschiedliche Arten von Brain-Computer-Interfaces entwickelt. Die ersten wegweisenden Programme aus der Arbeitsgruppe um Birbaumer [1] benötigten noch lange Trainingsphasen der Patienten (ca. 30 Tage) zur Etablierung eines sicheren Codes. Ziel der Entwicklung des »Berliner Brain Computer Interfaces« (BBCI, www.bbc.de) war es daher, diese Phase deutlich zu reduzieren. Die Kommunikation mittels dieses Systems ist innerhalb eines Tages zu erlernen und liefert relativ robuste Resultate (Blankertz 2006, #39). Nach einer Trainingssitzung, bei der in 200 Versuchen jeweils die Vorstellung einer Bewegung einer rechten oder linken Hand geleistet werden muss, ist es mit dieser Technik beispielsweise möglich, eine »virtuelle Schreibmaschine« anzusteuern. Datengrundlage ist die Ableitung des sogenannten Bereitschaftspotentials vor Ausführung einer Willkürbewegung an den motorischen Kortex (Elektrodenposition C2 bzw. C4). Während die Ableitung des Bereitschaftspotentials als Summeneffekt bereits seit langen Jahren gut etabliert ist, bestand die technische Leistung bei der Entwicklung des BBCI darin, dieses Signal auch auf Einzelpersonenebene unter Berücksichtigung großer individueller Varianz reliabel abzuleiten bzw. auszuwerten [23]. Prinzipiell ist mit dieser Methode auch eine Unterscheidung zwischen Vorstel-

37. Ransmayr G. Physical, occupational, speech and swallowing therapies and physical exercise in Parkinson's disease. *J Neural Transm* 2011; 118 (5): 773-781.
38. Rehme AK, Eickhoff SB, Wang LE et al. Dynamic causal modeling of cortical activity from the acute to the chronic stage after stroke. *Neuroimage* 2011; 55 (3): 1147-1158.
39. Reid JM, Gubitz GJ, Dai D et al. Predicting functional outcome after stroke by modelling baseline clinical and CT variables. *Age Ageing* 2010; 39 (3): 360-366.
40. Renner CIE, Bungert-Kahl P, Hummelsheim H. Change of strength and rate of rise of tension relate to functional arm recovery after stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 2009; 90 (9): 1548-1556.
41. Renner CIE, Woldag H, Atanasova R et al. Change of facilitation during voluntary bilateral hand activation after stroke. *J Neurol Sci* 2005; 239 (1): 25-30.
42. Siegert RJ, Taylor KD, Weatherall M et al. Is implicit sequence learning impaired in Parkinson's disease? A meta-analysis. *Neuropsychology* 2006; 20 (4): 490-495.
43. Stephan KM, Breer E. Wert der zerebralen Bildgebung nach ischämischem Hirninfarkt für die Rehabilitation. *Neurol Rehabil* 2009; 15 (2): 143-160.
44. Thieme H, Mehrholz J, Pohl M et al. Mirror therapy for improving motor function after stroke. *Cochrane Database Syst Rev* 2012; 3: CD008449.
45. Woldag H, Lukhaup S, Renner C et al. Enhanced motor cortex excitability during ipsilateral voluntary hand activation in healthy subjects and stroke patients. *Stroke* 2004; 35 (11): 2556-2559.
46. Woldag H, Stupka K, Hummelsheim H. Repetitive training of complex hand and arm movements with shaping is beneficial for motor improvement in patients after stroke. *J Rehabil Med* 2010; 42 (6): 582-587.
47. Woldag H, Waldmann G, Heuschkel G et al. Is the repetitive training of complex hand and arm movements beneficial for motor recovery in stroke patients? *Clin Rehabil* 2003; 17 (7): 723-730.

lung einer Arm- oder Fußbewegung sowie (mit einer geringeren Genauigkeit) von verschiedenen Fingerbewegungen möglich. Mit einer ähnlichen Technik und implantierten Elektroden konnte bei einer hohen Querschnittslähmung die Ansteuerung einer Armprothese realisiert werden [19]. Auch für das BBCI ist die Steuerung eines »virtuellen Armes« bereits realisiert. Dies eröffnet gerade auch langjährig schwergradig gelähmten Patienten völlig neue Möglichkeiten der Interaktion mit der Umwelt.

Korrespondenzadresse:

Dr. med. Christian Dohle
 MEDIAN Klinik Berlin-Kladow
 Rehabilitationsklinik für Neurologie und Orthopädie
 Kladower Damm 223
 14089 Berlin
 E-Mail: christian.dohle@median-kliniken.de