

# Einsatz von Robotik in einem ganzheitlichen Konzept zur Hand-/Armrehabilitation von neurologischen Patienten – eine Pilotstudie

L. Büttler, A. Menig, A. Dewor, D. Marks, K. Baldauf, D. Zutter

*HELIOS Klinik Zihlschlacht*

## Zusammenfassung

**Hintergrund:** Nach einer Hirnverletzung wird Patienten mit ausgeprägter Armparese in der Rehabilitation der Einsatz von robotassistierten Therapien empfohlen. Um auf die darin erzielten Erfolge auch in anderen Therapien zugreifen zu können, wird ein Therapieprogramm untersucht, welches die robotassistierte Armtherapie in den Therapiealltag integriert.

**Methode:** Zehn neurologische Patienten mit armbetonter Hemiparese wurden in die Untersuchung eingeschlossen. Über einen Zeitraum von 4 Wochen nahmen die Patienten 2,5 Stunden pro Werktag an einem Übungsprogramm bestehend aus Ergotherapie, Kiesbad, Eigentaining, neuromuskulärer Elektrostimulation und robotassistierter Armtherapie teil. Der Wolf Motor Function Test (WMFT) und die Kategorien A bis F des Functional Independence Measure (FIM A-F) wurden zu Beginn, nach 2 und nach 4 Wochen erhoben.

**Resultate:** In der Ausführung des WMFT verbesserten sich 8 von 10 Patienten. Die Ergebnisse von WMFT, Handkraft und FIM (A-F) verbesserten sich in der Phase 1 (Beginn bis Woche 2) und in Phase 2 (Woche 2 bis 4) ( $p < 0,05$ ). Die Verbesserung der WMFT-Werte in Phase 1 und 2 korrelieren miteinander und die WMFT-Werte korrelieren mit der benötigten Zeit ( $p < 0,01$ ).

**Schlussfolgerung:** Die Fortschritte der Patienten untermauern die Wirksamkeit des vorgestellten Konzepts. Das Item 3 des WMFT (Extension Ellbogen) könnte einen Voraussagewert betreffend Funktionsgewinn haben. Die vorliegende Untersuchung stellt eine Möglichkeit vor, wie robotassistierte Armtherapie in den Rehabilitationsalltag integriert werden kann.

**Schlüsselwörter:** Arm, Schlaganfall, motorisches Lernen, Robotik, Neurorehabilitation

## Integration of robotics into an upper limb rehabilitation concept for neurologic patients – a pilot study

L. Büttler, A. Menig, A. Dewor, D. Marks, K. Baldauf, D. Zutter

### Abstract

**Introduction:** After brain injury, robot-assisted therapy is recommended for rehabilitation of patients with severe arm paresis. Since recall of gained function in altered conditions seems to be difficult, a therapy program which imbeds robot-assisted therapy in a conventional upper limb therapy program was investigated.

**Methods:** Ten neurologic patients with severe arm paresis were included. Patients trained the impaired limb 2.5 hours a day, 5 days a week over 4 weeks with single and group occupational therapy, gravel bath, self training, neuromuscular electrostimulation and robot-assisted arm therapy. The Wolf Motor Function Test (WMFT) and the Functional Independence Measures categories A-F (FIM A-F) were evaluated at the beginning, after 2 and 4 weeks.

**Results:** Improvements in WMFT were present in 8 of 10 patients. WMFT, grip force and FIM (A-F) improved in phase 1 (begin–week 2) and also in phase 2 (week 2–4). WMFT improvement in phase 1 correlated with improvement in phase 2, and WMFT values correlated with time needed for execution.

**Conclusion:** Improvement in WMFT execution and grip force support the efficacy of the introduced therapy program. Item 3 of WMFT (elbow extension) might have a predictive value for recovery. The presented therapy program improves patients' functional abilities and gives an example, how robot-assisted arm therapy can be integrated in clinical and therapeutic daily life.

**Key words:** upper extremity, brain injury, motor learning, robotics, neurorehabilitation

## Einleitung

Nach einer Hirnverletzung sind Patienten in basalen oder komplexen Aktivitäten des täglichen Lebens (ADL) oft auf fremde Hilfe angewiesen, in vielen Fällen sind dafür beeinträchtigte funktionelle Fähigkeiten der oberen Extremitäten mitverantwortlich. Darum ist das Wiedererlangen einer bimanuellen Arm- und Handfunktion ein wichtiger Bestandteil der Neurorehabilitation. Obwohl unimanuelle Tätigkeiten oftmals rasch von der nicht betroffenen Extremität übernommen werden und damit eine gewisse Selbstständigkeit im Alltag erreicht werden kann, ist die Therapie der betroffenen Extremität wichtig. Dadurch wird ihre kortikale Repräsentation bewahrt und der sogenannte »erlernte Nichtgebrauch« verhindert. Die intensive Auseinandersetzung mit der betroffenen Körperseite ist während eines Zeitraums von ca. sechs Monaten nach einer Hirnverletzung elementar, denn in diesem Zeitraum verbessert sich das Outcome mit der Anzahl Therapien [18]. Insbesondere der Effekt der »Constraint-Induced Movement Therapy« (CIMT) auf die motorischen Funktionen der oberen Extremität nach einem Schlaganfall konnte wissenschaftlich untermauert werden [12, 13]. Jedoch sind für die CIMT distal-motorische Funktionen notwendig, weshalb Patienten mit einer ausgeprägten Armparese für diese Therapieform nicht in Frage kommen [13, 18]. Für die Patienten mit ausgeprägter Armparese und erheblich beeinträchtigter Willkürinnervation werden neben repetitivem sensomotorischem Training und neuromuskulärer Elektrostimulation (NMES) auch robotassistierte Therapiemethoden empfohlen [18, 19]. Die robotassistierte Armtherapie (RAAT), als ein repetitives und aufgabenorientiertes Training, eröffnet Patienten mit schwerer Armparese die Möglichkeit, aktiv und funktionell zu trainieren. Die dadurch erreichte Reduktion der motorischen Beeinträchtigung und die gesteigerte Aktivität der proximalen oberen Extremität [8] muss funktionell sein und den Übergang in die ADL finden. Während Housman et al. [9] anhaltende Verbesserungen in motorischer Kontrolle, Bewegungsausmaß und Handgebrauch noch nach sechs Monaten zeigen, konnten unsere Patienten in anderen Therapien nur begrenzt auf die Erfolge am Therapiegerät zugreifen. Während Buschfort et al. [2] sich auf intensive Therapie an verschiedenen Geräten der RAAT fokussieren, wird in der vorliegenden Untersuchung die RAAT als Bestandteil eines ganzheitlichen und funktionellen Konzepts der Armrehabilitation für stark eingeschränkte Patienten untersucht. Ein solches Konzept muss repetitive und dennoch vielseitige Therapien beinhalten, welche die funktionelle kortikale Reorganisation während der plastischen Phase unterstützen. Die Bewältigung komplexer und vielschichtiger Aufgaben aus dem Alltag in einer stimulierenden Umgebung verbessern die sensomotorischen Funktionen der oberen Extremität [4, 10]. Damit werden sensorische und motorische Bahnen stimuliert und die Motivation der Patienten hochgehalten. Im angewandten Übungsprogramm werden unimanuelle und auch bimanuelle Aufgaben ausgeführt. Viele ADL werden

bimanuell ausgeführt, und bilaterales Training verbessert die unilateralen Funktionen des paretischen Arms [14].

## Methoden

### Patienten

Ins Übungsprogramm wurden neurologische Patienten mit einer armbetonten Hemiparese eingeschlossen, die beginnenden Zugriff auf die Grobmotorik der betroffenen Extremität hatten und unter Abnahme der Schwerkraft mindestens Schulter- oder Ellbogengelenk in eine Richtung bewegen konnten. Einschlusskriterien für die Teilnahme an der Untersuchung waren eingeschränkte oder nicht vorhandene feinmotorischen Fähigkeiten. Der Nine Hole Peg Test [3] konnte nicht ausgeführt werden. Die Patienten waren kognitiv bzw. sprachlich in der Lage, nach einer Instruktion das Eigentaining selbstverantwortlich durchzuführen, und konnten an der RAAT partizipieren.

### Intervention

Die Patienten setzten sich fünfmal pro Woche täglich 2,5 Stunden intensiv mit der betroffenen oberen Extremität

Therapie	Einheiten pro Woche	Dauer pro Einheit	Betreuung
Ergotherapie einzeln	3	30 min	Einzeltherapie
Ergotherapie-Gruppe	5	45 min	Gruppe bis max. 4 Personen
Eigentaining	5	30 min	selbstverantwortlich
Kiesbad	5	15 min	selbstverantwortlich
RAAT	5	30 min	Einzeltherapie
NMES	2	30 min	Einzeltherapie

**Tab. 1:** Elemente des Übungsprogramms für die obere Extremität; RAAT: Robotassistierte Armtherapie, NMES: Neuromuskuläre Elektrostimulation

Patient	Geschlecht	Alter	Diagnose	Plegischer Arm	Tage seit Ereignis (Beginn der Untersuchung)
A	w	61	CVI	rechts	55
B	w	50	CVI	rechts	57
C	w	59	CVI	links	45
D	m	56	SHT	links	133
E	w	58	CVI	rechts	82
F	w	75	CVI	rechts	79
G	w	59	CVI	rechts	46
H	m	70	T	rechts	43
I	m	75	CVI	links	38
J	w	59	CVI	rechts	46
Mittel		62,2			62,4
Standardabweichung		8,3			28,9

**Tab. 2:** Übersicht über die in die Untersuchung eingeschlossenen Patienten; CVI: Zerebrovaskulärer Insult; SHT: Schädelhirntrauma; T: Tumorentfernung

auseinander. Der ganzheitliche Therapieansatz setzte sich aus verschiedenen Einzel-, Gruppen- und roboterassistierten Therapien zusammen (Tab. 1). Während der Einzel- und Gruppentherapien führten die Patienten gezielt repetitiv unimanuelle Übungen zur Funktionsanbahnung aus. Sobald wie möglich wurden auch bimanuelle Übungen integriert, um Koordination und Integration der betroffenen Extremität zu fördern. Die NMES wurde mit STIWELLmed4 (Otto Bock HealthCare GmbH, Deutschland) durchgeführt. In der RAAT unterstützte das Gerät Armeo® Spring (Hocoma AG, Schweiz) den Patienten während repetitiver unimanueller Bewegungen mit dem betroffenen Arm durch Reduktion der Schwerkraft.

### Outcome-Messung

Zu Beginn, nach 2 und nach 4 Wochen wurde die motorische Funktion der oberen Extremitäten mit dem Wolf Motor Function Test [23], einem validen klinimetrischen Instrument [15], mit 15 zeitlichen und 2 Kraftaufgaben durchgeführt. Die erste Kraftaufgabe »Gewicht auf Kiste« wurde modifiziert, indem der Arm dreimal mit Zusatzgewichten (500, 1.000 und 1.500 Gramm) beschwert wurde. Diese 3 Ausführungen mit Zusatzgewicht wurden nach Item 6 »Arm auf Kiste« durchgeführt und ebenfalls funktionell beurteilt, somit wurden 18 Items funktionell bewertet. In der zweiten Kraftaufgabe führten die Patienten mit dem hydraulischen JAMAR® Hand Dynamometer (SAEHAN Corporation, Korea) die Ermittlung der maximalen Handkraft durch. Bei den zeitlichen Aufgaben wurde die benötigte Zeit für die Ausführung während der Testdurchführung erhoben. Konnte eine Aufgabe nicht ausgeführt werden oder dauerte die Ausführung länger als 2 Minuten, wurde die benötigte Zeit pauschal mit 120 Sekunden festgehalten. Die Beurteilung der funktionellen Leistung wurde zu einem späteren Zeitpunkt auf Grundlage der angefertigten Videoaufnahmen ausgewertet.

Die Kategorien A bis F des Functional Independence Measure (FIM A-F) [5, 7, 16] wurden vom Pflegepersonal zu den gleichen Zeitpunkten wie der WMFT erhoben und in die Analyse integriert.

### Statistik

Die absoluten Werte und die Veränderungen zwischen Beginn und der 2. Woche (Phase 1) und zwischen der 2. und der 4. Woche (Phase 2) gingen in die Analyse ein. Werte der Handkraft und die für den WMFT benötigte Zeit wurden auf ihre Normalverteilung geprüft und mit einer Varianzanalyse für Messwiederholungen auf Unterschiede getestet. Die Überprüfung der Ergebnisse von WMFT und FIM (A-F) auf Unterschiede erfolgte mit einem nicht parametrischen Test für Messwiederholungen (Wilcoxon). Die Korrelationen wurden nach Pearson für die parametrischen Daten und nach Kendall-Taub für die nicht parametrischen und gemischten Daten berechnet.

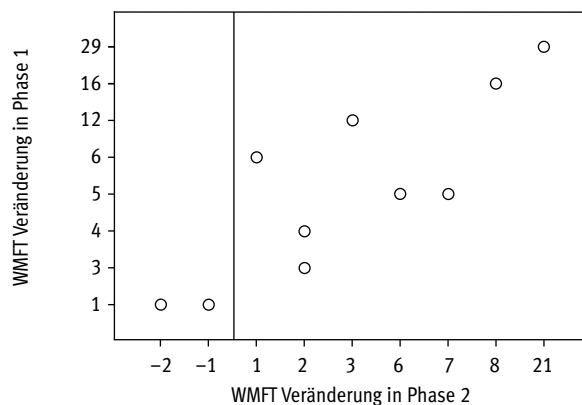
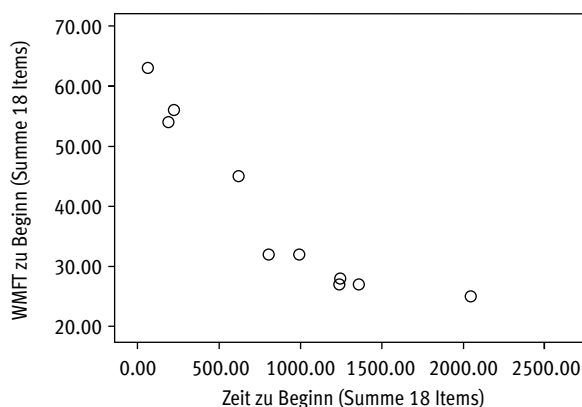
### Resultate

In einem Zeitraum von 4 Monaten wurden 10 Patienten (3 Männer, 7 Frauen) in die Untersuchung eingeschlossen (Tab. 2). Die Resultate zeigen, dass sich Handkraft, WMFT und FIM (A-F) in Phase 1 und in Phase 2 verändern ( $p < 0,05$ ). Die benötigte Zeit zur Ausführung des WMFT hingegen verändert sich nicht (Tab. 3).

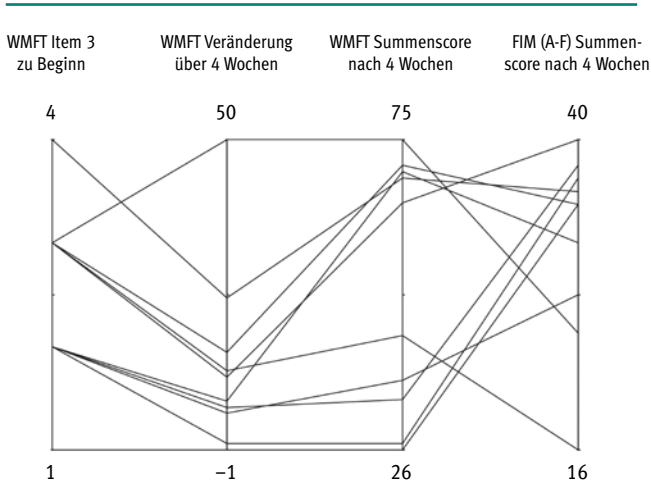
Der WMFT zu Beginn korreliert mit der benötigten Zeit (Korrelationskoeffizient:  $-0,887$ ,  $p < 0,01$ , Abb. 1 oben), und die Veränderung des WMFT in Phase 1 korreliert mit der Veränderung in Phase 2 (Korrelationskoeffizient  $0,690$ ,  $p < 0,01$ , Abb. 1, unten). Der WMFT korreliert nicht mit der Kraft oder mit dem FIM (A-F) (Abb. 2).

	Beginn	nach Phase 1	nach Phase 2
Handkraft (kp)	2,0 (2,6)	3,8 (4,2)*	4,2 (4,7)
WMFT	37,0 (13,7)	44,8 (15,9)*	49,7 (19,9) <sup>+</sup>
Zeit WMFT (sek)	748 (625)	549 (482)	581 (551)
FIM (A-F)	24,8 (7,5)	29,2 (7,6)*	31,9 (7,6) <sup>+</sup>

**Tab. 3:** Resultate Handkraft, Wolf Motor Function Test-Summenscore (WMFT), Zeit WMFT-Summenscore, Functional Independence Measure-Kategorien A-F (FIM [A-F]); Mittelwert (Standardabweichung); \*Veränderung in Phase 1 signifikant ( $p < 0,05$ ); <sup>+</sup>Veränderung in Phase 2 signifikant ( $p < 0,05$ )



**Abb. 1:** Oben: Korrelation des WMFT mit der Zeit zu Beginn (Korrelationskoeffizient  $-0,887$ ,  $p < 0,01$ ). Unten: Korrelation der Veränderung in Phase 1 und Phase 2 (Korrelationskoeffizient  $0,690$ ,  $p < 0,01$ ).



**Abb. 2:** Zusammenhang zwischen WMFT Item 3 zu Beginn mit der Veränderung des WMFT und dem WMFT-Summenscore und dem FIM-(A-F)-Summenscore nach 4 Wochen.

## Diskussion

Das untersuchte Therapieprogramm setzt sich aus Therapiemethoden zusammen, welche auf ihre Wirksamkeit getestet wurden. Verschiedene Reviews unterstreichen die Wichtigkeit von hoher Intensität und repetitiven Übungen und belegen die Wirksamkeit von NMES, RAAT und anderen Therapiemethoden [12, 18, 19]. Das Therapieprogramm ist spezifisch auf Patienten mit ausgeprägter Armparese und eingeschränkter Feinmotorik ausgerichtet.

Während der Teilnahme am Übungsprogramm widmen die Patienten ihrer betroffenen Extremität besonders viel Aufmerksamkeit und werden sensibilisiert, diese auch außerhalb der festgelegten Termine einzubeziehen. Zu Beginn hängen funktionelle und zeitliche Ausführung des WMFT zusammen (Abb. 1, oben). Patienten mit einer ausgeprägten Armparese müssen zuerst die Funktionalität der betroffenen Extremität erhöhen, bevor sie sich in der Geschwindigkeit der Bewegungsausführung steigern können. Während sich die funktionelle Ausführung des WMFT verbessert, kann die benötigte Zeit nicht reduziert werden. Verbessert sich ein Patient in der Phase 1 stark, ist diese Tendenz auch in Phase 2 zu finden (Abb. 1, unten).

Es konnte gezeigt werden, dass die Handkraft zunimmt und die obere Extremität in einfachen und komplexen funktionellen Tätigkeiten innerhalb von vier Wochen verbessert eingesetzt werden kann. Da geringe Muskelkraft als Hauptfaktor für die Aktivitätseinschränkungen ermittelt wurde [1], kann der Funktionsgewinn auf die Zunahme der Kraft zurückgeführt werden. Wie die Kraft ist auch die motorische Kontrolle für den Funktionsgewinn von Bedeutung. Der Funktionsgewinn der betroffenen Extremität könnte durch das Item 3 des WMFT (*Extension Ellbogen*) vorausgesagt werden. Von 5 Patienten, welche die geforderte Ellbogenextension im Item 3 nur mit Schwierigkeiten durchführen konnten (funktionelle Bewertung 1 oder 2), verbesserten sich 4 Patienten um weniger als 7 Punkte im

WMFT innerhalb von 4 Wochen und erreichten Summenscores von weniger als 38 Punkten (Abb. 2). Die geforderte Ellbogenextension wird dabei oft durch eine muskuläre Hypertonie der Unterarmbeuger erschwert, welche durch die Hyperaktivität des Stretch-Reflexes und durch veränderte muskuläre Eigenschaften verursacht wird [17]. Zudem ist eine differenzierte motorische Kontrolle nötig, um die Extensoren bei einer gleichzeitigen Inhibition der Flexoren zu aktivieren. Funktioniert dieser Mechanismus nicht, kommt es zu einer Co-Aktivierung von Agonist und Antagonist, was im klinischen Alltag oftmals als Zeichen von Spastizität gesehen wird. Jedoch wird in verschiedenen Publikationen nur ein geringer Zusammenhang zwischen elektrophysiologisch gemessener Spastik und funktionellen motorischen Fähigkeiten ermittelt [1, 17], was auf andere limitierende Faktoren hinweist. So wird das Zusammenspiel von hyperaktiven Reflexen, Co-Aktivierungen und schwacher Muskulatur für Limitationen in der Bewegungsausführung verantwortlich gemacht [22]. In der Ellbogenextension scheinen sich diese Faktoren auszuprägen, so dass die Ausführung dieses Items einen Funktionsgewinn für eine funktionelle Armaktivität voraussagen könnte.

Die Selbstständigkeit des Patienten im Alltag ist neben der Behandlung der betroffenen Extremität ein weiterer wichtiger Punkt. Für die ADL wird oft, je nach Funktionalität der betroffenen Extremität, die gesunde Extremität im Sinne einer Einhänderaktivität eingesetzt. Die Patienten weichen auf diese unimanuellen funktionellen Kompensationsstrategien aus und lernen, diese besser einzusetzen. Diese Verbesserung zeigt sich in der Veränderung des FIM. Die Veränderungen in den FIM-Werten korrelieren aber nicht mit den Veränderungen der WMFT-Werte. Anhand der FIM-Werte nach 4 Wochen werden Patienten mit einem niedrigen WMFT-Wert nach 4 Wochen sogar eher besser eingestuft als Patienten mit einem besseren WMFT-Wert (Abb. 2). Der FIM bewertet die Selbstständigkeit der Ausführung und macht keine Aussage darüber, ob eine Aufgabe bimanuell oder unimanuell ausgeführt wird. Er widerspiegelt, wie andere Assessments der ADL, den Funktionsgewinn der betroffenen oberen Extremität nicht [11].

Unser Konzept präsentiert eine ganzheitliche und umfassende Strategie zur Verbesserung der klinischen Armrehabilitation und zeigt, wie RAAT in den klinischen und therapeutischen Rehabilitationsalltag integriert werden kann. Die Deutsche Gesellschaft für Neurorehabilitation empfiehlt bei schwerer Armparese sieben Therapieverfahren [20], im vorgestellten Therapiekonzept werden davon fünf gegenseitig ergänzend eingesetzt. Zur weiteren Verbesserung der Outcomes der Arm-/Handrehabilitation sollte die Integration von mentalem Training und Spiegeltherapie in das Übungsprogramm angedacht werden, da die funktionelle Erholung der oberen Extremität damit ebenfalls verbessert wird [6, 21]. Auf Grund der positiven Erfahrungen und Ergebnisse wird das Konzept der ganzheitlichen Armrehabilitation in unserer Klinik weiter fortgeführt und ausgebaut. Weitere Untersuchungen hinsichtlich Konzept und Outcome sind notwendig und geplant, um weitere Therapieempfehlungen aussprechen zu können.

## Schlussfolgerung

Teilnehmende Patienten steigern innerhalb unseres Settings die Handkraft und verbessern sich in Phase 1 und 2 im WMFT und in der Selbstständigkeit im Alltag.

Limitierende Faktoren für einen Funktionsgewinn sind im Item *Extension Ellbogen* ausgeprägt. Dieses Item könnte als Voraussagewert für ein verbessertes bimanuelles Outcome dienen. Um möglichst frühzeitig Patienten mit einem großen funktionellen Potential für dieses Therapieprogramm zu rekrutieren, werden die Einschlusskriterien weiter verbessert. Die Ergebnisse und die positiven Erfahrungen spornen uns an, dieses Konzept der ganzheitlichen Armrehabilitation auszubauen.

### Interessenvermerk:

Es besteht kein Interessenkonflikt.

### Korrespondenzadresse:

Lilith Büttler  
MSc ETH Human Movement Science  
Wissenschaftliche Mitarbeiterin  
HELIOS Klinik Zihlschlacht AG  
Neurologisches Rehabilitationszentrum  
Hauptstrasse 4  
CH-8588 Zihlschlacht  
E-Mail: lilith.buetler@helios-kliniken.ch

## Literatur

- Burrige J, Turk R, Notley S, Pickering R, Simpson D. The relationship between upper limb activity and impairment in post-stroke hemiplegia. *Disabil Rehabil* 2009; 31: 109-117.
- Buschfort R, Brocke J, Hess A, Werner C, Waldner A, Hesse S. Arm studio to intensify the upper limb rehabilitation after stroke: concept, acceptance, utilization and preliminary clinical results. *J Rehabil Med* 2010; 42: 310-314.
- Croarkin E, Danoff J, Barnes C. Evidence-based rating of upper-extremity motor function tests used for people following a stroke. *Phys Ther* 2004; 84: 62-74.
- Davis JZ. Task selection and enriched environments: a functional upper extremity training program for stroke survivors. *Top Stroke Rehabil* 2006; 13: 1-11.
- Dodds T, Martin D, Stolov W, Deyo R. A validation of the functional independence measurement and its performance among rehabilitation inpatients. *Arch Phys Med Rehabil* 1993; 74: 531-536.
- Dohle C, Püllen J, Nakaten A, Küst J, Rietz C, Karbe H. Mirror therapy promotes recovery from severe hemiparesis: a randomized controlled trial. *Neurorehabil Neural Repair* 2009; 23: 209-217.
- Granger C, Ottenbacher K, Baker J, Sehgal A. Reliability of a brief outpatient functional outcome assessment measure. *Am J Phys Med Rehabil* 1995; 74: 469-475.
- Hayward K, Barker R, Brauer S. Interventions to promote upper limb recovery in stroke survivors with severe paresis: a systematic review. *Disabil Rehabil* 2010; 32: 1973-1986.
- Housman S, Scott K, Reinkensmeyer D. A randomized controlled trial of gravity-supported, computer-enhanced arm exercise for individuals with severe hemiparesis. *Neurorehabil Neural Repair* 2009; 23: 505-514.
- Janssen H, Bernhardt J, Collier JM, Sena ES, McElduff P, Attia J, Pollack M, Howells DW, Nilsson M, Calford MB, Spratt NJ. An enriched environment improves sensorimotor function post-ischemic stroke. *Neurorehabil Neural Repair* 2010; 24: 802-813.
- Kwakkel G, Kollen B, Krebs H. Effects of robot-assisted therapy on upper limb recovery after stroke: a systematic review. *Neurorehabil Neural Repair* 2008; 22: 111-121.
- Langhorne P, Coupar F, Pollock A. Motor recovery after stroke: a systematic review. *Lancet Neurol* 2009; 8: 741-754.
- Leemann B, Croix J, Kupper D, Schnider A. Constraint-induced movement therapy in neurological rehabilitation: which modality to choose? Our experience in rehabilitation in Geneva. *Ann Readapt Med Phys* 2008; 51: 31-37.
- McCombe Waller S, Whitall J. Bilateral arm training: why and who benefits? *NeuroRehabilitation* 2008; 23: 29-41.
- Nijland R, van Wegen E, Verbunt J, van Wijk R, van Kordelaar J, Kwakkel G. A comparison of two validated tests for upper limb function after stroke: The Wolf Motor Function Test and the Action Research Arm Test. *J Rehabil Med* 2010; 42: 694-696.
- Oczkowski W, Barreca S. The functional independence measure: its use to identify rehabilitation needs in stroke survivors. *Arch Phys Med Rehabil* 1993; 74: 1291-1294.
- O'Dwyer N, Neilson P, Nash J. Reduction of spasticity in cerebral palsy using feedback of the tonic stretch reflex: a controlled study. *Dev Med Child Neurol* 1994; 36: 770-786.
- Oujamaa L, Relave I, Froger J, Mottet D, Pelissier J. Rehabilitation of arm function after stroke. Literature review. *Ann Phys Rehabil Med* 2009; 52: 269-293.
- Platz T. Evidence-based arm rehabilitation – a systematic review of the literature. *Nervenarzt* 2003; 74: 841-849.
- Platz T. Rehabilitative Therapie bei Armparese nach Schlaganfall. *Neurol Rehabil* 2009; 15 (2): 81-106.
- Riccio I, Iolascon G, Barillari M, Gimigliano R, Gimigliano F. Mental practice is effective in upper limb recovery after stroke: a randomized single-blind cross-over study. *Eur J Phys Rehabil Med* 2010; 46: 19-25.
- Sorinola I, White C, Rushton D, Newham D. Electromyographic response to manual passive stretch of the hemiplegic wrist: accuracy, reliability, and correlation with clinical spasticity assessment and function. *Neurorehabil Neural Repair* 2009; 23: 287-294.
- Wolf S, Catlin P, Ellis M, Archer A, Morgan B, Piacentino A. Assessing Wolf motor function test as outcome measure for research in patients after stroke. *Stroke* 2001; 32: 1635-1639.