

S. Hesse, C. Werner, J. Brocke

## Maschinen- und Robotereinsatz in der Neurorehabilitation

Erwartungshaltung der Kliniken

Use of Machines and Robots in Neuro-Rehabilitation  
Expectations of the Clinics

Die geräte- und robotergestützte Rehabilitation erlebt derzeit einen Aufschwung. Im folgenden Artikel werden verschiedene Geräte zur Behandlung nach einem Schlaganfall vorgestellt. Die Autoren präsentieren dabei verschiedene Ansätze zur Rehabilitation des Gehens sowie der oberen Extremität, die sich ergänzend zur Behandlung durch den Therapeuten verstehen, diese jedoch keinesfalls ersetzen sollen.

Machine and robot supported rehabilitation is taking an upward trend at the moment. In the following article different appliances for the treatment after stroke are being presented. The authors discuss different attempts on the rehabilitation of walking as well as the upper extremity, which are understood as a supplement to the treatment by a therapist but are by no means supposed to replace this treatment.

### Einleitung

Jedes Jahr erleiden in Deutschland 150 000 bis 170 000 Menschen einen Schlaganfall [15]. Der Schlaganfall ist die häufigste Ursache bleibender Behinderungen in der industrialisierten Welt. Rund 80 Prozent der überlebenden Patienten beklagen eine Einschränkung der Gehfähigkeit oder der Arm-Hand-Funktionen.

Zur Wiederherstellung und Verbesserung der motorischen Funktionen wird eine möglichst intensive und frühe Rehabilitation empfohlen. Es besteht eine positive Korrelation zwischen der Therapieintensität und dem Outcome [11]. Limitierend jedoch ist der damit verbundene Personaleinsatz. In dieser Situation bieten sich intelligente Geräte zwecks Intensivierung der Therapie an. Wichtig ist jedoch der Hinweis, dass der Einsatz der Geräte eine zusätzliche Maßnahme ist, das heißt, dass sie nicht die erfahrene Hand des Therapeuten ersetzen können. Andererseits sollen die Geräte den Therapeuten von körperlich anstrengender Arbeit entlasten, wie beispielsweise das Setzen der Füße während des Gangtrainings des rollstuhlpflichtigen Patienten. Die geräte- und robotergestützte Rehabilitation erlebt derzeit einen Boom. Der Begriff „Roboter“ umfasst Geräte mit mehreren angetriebenen Achsen, eine nicht ausschließlich passive Bewegung, sondern auch eine Unterstützung des Patienten gemäß seinen Fähigkeiten und ein Arbeiten gegen Widerstand.

Um Irrwege in der Entwicklung zu vermeiden, ist eine enge Koope-

ration zwischen Klinik und Entwicklern unumgänglich. Die Gefahr des sogenannten „over engineering“ ist virulent. In diesem Sinne möchte der vorliegende Artikel Erwartungshaltungen der Kliniken an die gerätegestützte motorische Rehabilitation der unteren und oberen Extremität formulieren.

### Klinische Profile

Vor jeder Geräteentwicklung ist genau zu klären, an welche Patientengruppe sich das zu konzipierende Gerät richtet. Die Ausfälle nach einem Schlaganfall variieren erheblich: Es gibt nicht die eine Supermaschine, die allen Patienten gerecht werden kann. Es empfiehlt sich daher, die Patienten in unterschiedliche Schädigungsgruppen mit jeweils spezifischen Rehabilitationszielen einzuteilen. Im Falle der unteren Extremität bieten sich drei Gruppen an: a) bettpflichtig, das Ziel ist die Mobilisation in den Rollstuhl; b) rollstuhlmobilisiert, entsprechend ist das Ziel die Wiederherstellung der Gehfähigkeit; in der dritten Gruppe c) stehen die Verbesserung der Ganggeschwindigkeit und der Ausdauer sowie die Minimierung des Sturzrisikos im Vordergrund. Im Bereich des Arms kann man einen schwer und einen leicht betroffenen Arm unterscheiden. In der ersten Gruppe gilt es, Komplikationen wie eine Beugespastik und eine schmerzhafte Schulter zu vermeiden und erste Bewegungen anzubahnen. Im Falle einer leichten Parese ist die Verbesserung des feinmotorischen Geschicks und der Geschwindigkeit bei alternierenden Bewegungen anzustreben. Zusätzlich

ist es im Falle der oberen Extremität sehr wichtig, sich auch über das Ausmaß der sensiblen Störungen einen Überblick zu verschaffen. Die Sensibilität vermittelt nicht nur die Qualitäten Berührung, Schmerz und Temperatur, sondern sie informiert auch ständig über die Stellung der Gelenke zueinander und korrigiert den nötigen Krafteinsatz, um so zum Beispiel einen Pappbecher sicher zum Mund führen zu können, ohne ihn gleichzeitig zu zerquetschen. Aus diesem einfachen Beispiel ergibt sich die Bedeutung der Sensorik für die Motorik. Zukünftige Geräteentwicklungen sollten dem Rechnung tragen. Ein weiterer wichtiger Gesichtspunkt ist das Verletzungsrisiko durch die Geräte. In der Analyse derselben ist es hilfreich, zwischen geräte- und übungsbedingten Risiken zu unterscheiden. Gerätebedingte Risiken sind die Domäne der Ingenieure – wesentliche übungsbedingte Risiken sind die Überbelastung des muskuloskelettalen Systems und die kardiale Überbelastung der Patienten im Falle der intensivierten Gangrehabilitation. Prädisponierende Faktoren sind vorbestehende Arthrosen, der fehlende muskuläre Schutz der Gelenke (dies trifft vor allem für das paretische Schultergelenk zu) und kardiale Risikofaktoren wie zum Beispiel eine Herzinsuffizienz.

## Rehabilitation des Gehens

Mit dem Gangtrainer GT I (Abb. 1) und dem Lokomat wurden bereits zwei Lösungswege realisiert. Sie richten sich an den rollstuhlmobilisierten Patienten, der wieder gehen lernen möchte. Der Lokomat ist ein Exoskeleton mit programmierbaren Antrieben im Knie- und Hüftbereich, die die Schwungbeinphase sichern. Ein angetriebenes Laufband sichert die Standbeinphase [3]. Der GT I funktioniert nach dem Endeffektorprinzip, das heißt, der gurtgesicherte Patient steht auf zwei Fußplatten, deren Bewegung die Stand- und Schwungbeinphase simulieren [5]. Eine dritte mögliche Alternative ist ein Roboterarm, der



Abb. 1 Gangtrainer GT I zur Intensivierung der Gangrehabilitation des rollstuhlpflichtigen Patienten.

das Sprunggelenk umgreift und den Fuß – analog der therapeutischen Hand – in der Schwungbeinphase führt. Für die Ratte wurde ein solches Gerät bereits realisiert [2]. Bevor weitere Arbeitsgruppen ihre Lösungen präsentieren, sollten zu-

glichen wurden, – die größte war die Deutsche Gangtrainerstudie, DEGAS (Abb. 2) [16] – nur ein Vergleich beider Systeme steht noch aus. Aus einer sehr subjektiven Sicht heraus – der Autor war für die Entwicklung des GT I zuständig – sprechen einige Argumente, wie die leichtere Handhabung, der distale Ansatz und die eindeutig bessere Studienlage für den Endeffektorweg [14]. Letzterer bietet auch den Vorteil, dass ein Gerät mit frei programmierbaren Fußplatten dem rollstuhlpflichtigen Patienten das Üben des Treppensteigens sowohl aufwärts wie abwärts bieten wird. Der HapticWalker ist ein erster Schritt in diese Richtung, wohl wissend, dass das Treppensteigen unverzichtbarer Teil der Alltagsmobilität ist [17].

Zukünftige Entwicklungen werden noch mehr Freiheitsgrade, Biofeedbackoptionen und die „virtual reality“ (VR) sehen. Bei der VR ist kritisch zu fragen, ob sie nicht eine Überforderung des noch nicht gehfähigen Patienten darstellt, der sich zunächst auf die Wiedererlangung der Gehfähigkeit konzentrieren muss. Um die Ganggeschwindigkeit und die Ausdauer des gehfähigen Schlaganfallpatienten zu verbessern, eignet sich vor allem das aerobe Laufbandtraining [4, 13]. Damit ist die systematische Steigerung der Bandgeschwindigkeit und -neigung gemeint, mit der eine zuvor gewählte Trainingsherzfrequenz erreicht wird [20]. Der zusätzliche VR-Einsatz, die Kippung des Laufbands auch um die Längsachse oder die Implementierung plötzlicher Störreize sind mögliche Ergänzungen.

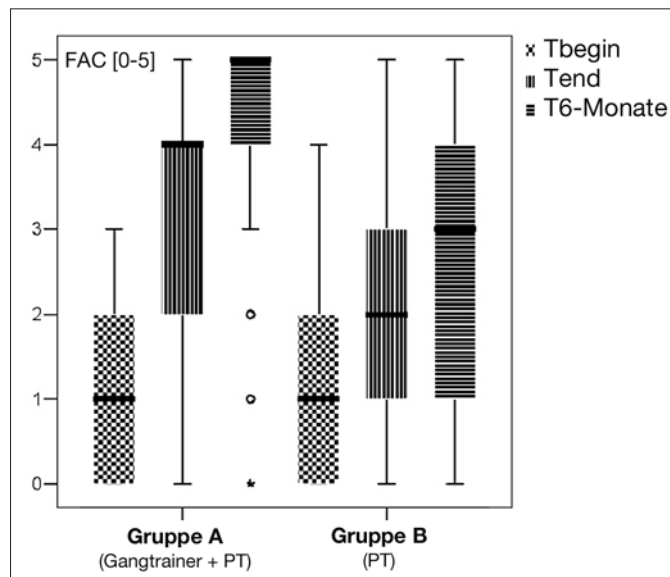


Abb. 2 Deutsche Gangtrainerstudie: Darstellung der Functional Ambulation Categories (0 bis 5) als Maß der noch benötigten Hilfe beim Gehen (0: nicht gehfähig trotz Hilfe, 5: selbstständig gehfähig in der Ebene und auf der Treppe). Zu beachten ist die überlegene Gehfähigkeit in der Gangtrainergruppe gegen Ende der vierwöchigen Intervention und zum Follow-up sechs Monate später.

nächst der Lokomat und der GT I hinsichtlich ihrer Einsetzbarkeit in der Klinik sowie ihrer Effektivität und Effizienz miteinander verglichen werden. Zwar erfolgten schon kontrollierte Studien [9, 18, 19], in denen die beiden Lösungen mit einer konventionellen Therapie ver-

## Rehabilitation der oberen Extremität

Die obere Extremität verfügt über viel mehr Freiheitsgrade als die untere Extremität (allein jeder Finger mit Ausnahme des Daumens hat drei Gelenke). Keine Maschine ist in der Lage, diese multiplen DoF in ihrer Gesamtheit abzubilden. Eine Beschränkung ist unumgänglich. Die meisten Teams wählen in den



**Abb. 3** MIT-Manus zwecks unilateraler Schulter- Ellenbogen-Bewegung in der Horizontalen.

Anfängen der robotergestützten Therapie entweder einen proximalen Weg für das Schulter- und Ellenbogengelenk oder einen distalen für das Handgelenk. Beispiele sind der MIT-Manus (Abb. 3) [7] und der MIME [1] (proximaler Ansatz) respektive der Bi-Manu-Track (Abb. 4) [6] (distaler Ansatz). Für den proximalen Ansatz spricht, dass die Rückbildung von proximal nach distal voranschreitet und eine sichere Rumpferankerung die Voraussetzung für eine effektive Handrehabilitation ist. Für den distalen Ansatz sprechen das im Vergleich zur Schulter viel größere kortikale Repräsentationsareal der Hand, eine angenommene Kompetition proximaler und distaler Segmente um plastisches Hirngewebe und eine höhere Anforderung an die Rehabilitation der Hand, die bei proximalem Beginn meist viel zu spät während der stationären Primärrehabilitation einsetzt. Eine dritte Gruppe an Geräten intensiviert die Fingerrehabilitation, sei es mithilfe eines Exoskeletts oder im Sinne einer Endeffektorlösung, indem die Finger auf Schienen (Amadeo) oder mithilfe einer Nockenwelle (Reha-Digit) extendiert und flektiert werden [6]. Das Gerät Reha-Digit (Abb. 5) bietet darüber hinaus den Vorteil, dass es die Fingerbeeren taktil-sensorisch stimuliert und die obere Extremität vibriert.

Weiterhin muss zwischen einem uni- und bilateralen Ansatz unterschieden werden. Für den unilate-

ralen sprechen Überlegungen, dass man keinesfalls die stärkere und kortikal besser repräsentierte nicht betroffene Extremität mitbeüben sollte, sondern sich vielmehr ausschließlich auf die betroffene Seite konzentrieren sollte, um so das Gleichgewicht zwischen beiden Hirnhälften wiederherzustellen. Für den bilateralen Einsatz spricht der fazilitatorische Effekt via intercallosaler Fasern auf die läionierte Hemisphäre, wenn beide Seiten spiegelbildlich arbeiten [8, 12]. Die Entscheidung ist wohl in Abhängigkeit von

der Schwere der Parese zu treffen; die bilaterale Therapie sollte ausschließlich im Falle einer hochgradigen Lähmung Anwendung finden. Weiterhin fordern viele Therapeuten, dass die geübte Bewegung



**Abb. 4** Bi-Manu-Track zwecks bilateraler Übung einer Pro-Supination des Unterarms und einer Flexion/Extension des Handgelenks.

mit einer für den Patienten sinnvollen Handlung, wie zum Beispiel dem virtuellen Einkaufen in einem Supermarkt, verbunden werden sollte. In einer Untersuchung mit dem MIT-Manus dagegen konnte keine Überlegenheit des handlungsgebundenen Übens gezeigt werden. Die Vergleichsgruppe hatte dem entgegen isolierte Bewegungen repetitiv geübt [10].

Einen anderen interessanten Einsatz verfolgen Buschfort et al. mit dem Armstudio für schwer betroffene Patienten. Es besteht aus vier

relativ preiswerten Geräten, namentlich dem Bi-Manu-Track, dem Reha-Digit, dem Reha-Slide und dem Reha-Slide duo. Die Geräte bieten eine Therapiekaskade; für plegische Patienten eignen sich die Geräte Bi-Manu-Track und Reha-Digit, denn beide verfolgen einen distalen Ansatz. Stellen sich erste motorische Aktivitäten proximal ein, so können die Patienten mit dem Reha-Slide üben (es erfordert eine bilaterale Schulter-Ellenbogenbewegung), wohingegen das Gerät Reha-Slide duo sich an Patienten richtet, die einen Griff schon selber festhalten und diesen vor und zurück schieben können. Eine Therapeutin kann im Sinne einer hohen Effizienz mehrere Patienten gleichzeitig supervidieren. Hinzu kommt der kommunikative Charakter des Armstudios, in dem sich die Patienten austauschen und gegenseitig anspornen können.

Allen in der Literatur bis dato vorgestellten Geräten ist die Tatsache gemein, dass die Patienten zumindest rollstuhlmobilisiert sein müssen. Folgt man jedoch dem Gedanken, dass eine Rehabilitation möglichst früh beginnen sollte, so wäre die Entwicklung von Geräten, mit denen der noch bettpflichtige Patient bereits üben kann, wünschenswert.

## Zusammenfassung

Die geräte- und robotergestützte Rehabilitation der oberen und unteren Extremität erlebt derzeit einen Boom. Übergeordnetes Ziel ist die Intensivierung der Rehabilitation ohne übermäßige Inanspruchnahme therapeutischer Ressourcen. Eine Zusammenarbeit zwischen Entwicklern und Klinikern ist unumgänglich, um zuvor die Zielgruppen in Abhängigkeit von der



**Abb. 5** Fingertrainer Reha-Digit. Das Gerät bewegt die plegischen Finger mithilfe einer Nockenwelle, zusätzlich erfolgt eine sensorische Stimulation sowie eine Vibration der Fingerbeeren.

Betroffenheit der Patienten, das Lastenheft und den erwarteten klinischen Nutzen abzusprechen. Nachfolgende klinische Studien sind unumgänglich, um die Effektivität und Effizienz der Geräte im Vergleich zu einer Standardtherapie zu bestimmen. Genauso wichtig sind Studien, die verschiedene Ansätze der robotergestützten Therapie vergleichen, wobei eine Kategorisierung der Geräte unabdingbar ist. Endeffektor- und Exoskeletonlösungen wären in einem ersten Schritt zu untersuchen.

Ein interessanter Gedanke ist, mehrere Geräte zu einem Armstudio zusammenzufassen, um so multiple Freiheitsgrade relativ preisgünstig anbieten zu können. Eine hohe Effizienz, indem ein Therapeut mehrere Patienten gleichzeitig supervidiert, und die Möglichkeit des Austauschs untereinander für die Patienten sind weitere Argumente. Für die Zukunft ist es unschwer vorherzusehen, dass die geräte- und robotergestützte Therapie einen festen Platz in der Schlaganfallrehabilitation einnehmen wird.

Dabei sollte jedoch immer gelten, dass sie nicht den Kontakt zwischen Therapeut und Patient ersetzen kann.

**Für die Autoren:**

*Prof. Dr. med. Stefan Hesse  
Charité – Universitätsmedizin Berlin  
Medical Park Berlin  
An der Mühle 2–9  
13507 Berlin*

**Literatur:**

- [1] Burgar, C. G, P. S. Lum, P. C. Shor, H. F. M. van der Loos: Development of robots for rehabilitation therapy: The Palo Alto VA/Stanford experience. *J Rehab Res Devolop* 37 (2000), 376-388
- [2] Cha, J., C. Heng, D. J. Reinkensmeyer, R. R. Roy, V. R. Edgerton, R. D. de Leon: Locomotor ability in spinal rats is dependent on the amount of activity imposed on the hindlimbs during treadmill training. *J Neurotrauma* 24 (2007), 1000-1012
- [3] Colombo, G., M. Wirz, V. Dietz: Driven gait orthosis for improvement of locomotor training in paraplegic patients. *Spinal Cord* 39 (2001), 252-255
- [4] Eich, H. J., H. Mach, C. Werner, S. Hesse: Aerobic treadmill plus Bobath walking training improves walking in subacute stroke: a randomized controlled trial. *Clin Rehabil* 18 (2004), 640-651
- [5] Hesse, S., T. Sarkodie-Gyan, D. Uhlenbrock: Development of an advanced mechanised gait trainer, controlling movement of the centre of mass, for restoring gait in non-ambulatory subjects. *Biomedizinische Technik* 7 (1999), 194-201
- [6] Hesse, S., H. Kuhlmann, J. Wilk, C. Tomelleri, Stephen, G. B. Kirker: A new electromechanical trainer for sensorimotor rehabilitation of paralysed fingers: A case series in chronic and acute stroke patients. *J Neuro Eng Rehab* 5 (2008), 21-28
- [7] Hogan, N., H. I. Krebs, J. Charnarong, A. Sharon: Interactive robotics therapist. Cambridge, Massachusetts Institute of Technology: US Patent No. 5466213, 1995
- [8] Hummel, F., P. Celnik, P. Giroux, A. Floel, W. H. Wu, C. Gerloff, L. G. Cohen: Effects of non-invasive cortical stimulation on skilled motor function in chronic stroke. *Brain* 128 (2005), 490-499
- [9] Husemann, B., F. Mueller, C. Krewer, S. Heller, E. Koenig: Effects of locomotion training with assistance of a robot-driven gait orthosis in hemiparetic patients after stroke: a randomized controlled pilot study. *Stroke* 38 (2007), 349-354
- [10] Krebs, H. I., S. Mernoff, S. E. Fasoli, R. Hughes, J. Stein, N. Hogan: A comparison of functional and impairment-based robotic training in severe to moderate chronic stroke: a pilot study. *NeuroRehabilitation* 23 (2008), 81-87
- [11] Kwakkel, G., R. C. Wagenaar, J. W. R. Twisk, G. J. Lankhorst, J. C. Koetsier: Intensity of leg and arm training after primary middle-cerebral-artery stroke: a randomised trial. *Lancet* 354 (1999), 191-196
- [12] Luft, A. R., S. McCombe-Waller, J. Whittall, L. W. Forrester, R. Macko, J. D. Sorkin, J. G. Schulz, A. P. Goldberg, D. F. Hanley: Repetitive bilateral arm training and motor cortex activation in chronic stroke: a randomized controlled trial. *JAMA* 292 (2004), 1853-1861
- [13] Macko, R. F., F. M. Ivey, L. W. Forrester, D. Hanley, J. D. Sorkin, L. I. Katzel, K. H. Silver, A. P. Goldberg: Treadmill exercise rehabilitation improves ambulatory function and cardiovascular fitness in patients with chronic stroke: a randomized controlled trial. *Stroke* 36 (2005), 2206-2211
- [14] Mehrholz, J., C. Werner, J. Kugler, M. Pohl: Electromechanical-assisted training for walking after stroke. *Cochrane Database Rev* 2006; 4:CD006185
- [15] Nakayama, H., H. S. Jorgensen, H. O. Raaschou, T. S. Olsen: Recovery of upper extremity function in stroke patients: the Copenhagen study. *Arch Phys Med Rehabil* 75 (1994), 852-857
- [16] Pohl, M., C. Werner, M. Holzgraeffe, G. Kroczeck, J. Mehrholz, I. Wingerdorf, G. Hölig, R. Koch, S. Hesse: Repetitive locomotor training and physiotherapy improve walking and basic activities of daily living after stroke: a single-blind, randomised multi-centre trial (Deutsche Gangtrainerstudie, DEGAS). *Clinical Rehabilitation* 1 (2007), 17-27
- [17] Schmidt, H., D. Sorowka, S. Hesse, R. Bernhard: Development of a robotic simulator for gait rehabilitation. *Biomed Tech* 48 (2003), 281-286
- [18] Tong, R. K., NG MF, Li LS: Effectiveness of gait training using an electromechanical gait trainer, with and without functional electric stimulation, in subacute stroke: a randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil* 87 (2006), 1298-1304
- [19] Werner, C., S. von Frankenberg, T. Treig, A. Bardeleben, S. Hesse: Treadmill training with partial body weight support and an electromechanical gait trainer for restoration of gait in subacute stroke patients: a randomised crossover study. *Stroke* 33 (2002), 111-118
- [20] Werner, C., A. R. Lindquist, A. Bardeleben, S. Hesse: The influence of treadmill inclination on the gait of ambulatory hemiparetic subjects. *Neurorehab and Neural Repair* 21 (2007), 76-70