Exoskelettale Rehabilitationstraining bei Querschnittgelähmten

Fallserie zum funktionellen Outcome

Hintergrund und Fragestellung

In den letzten 10 Jahren wurden motorbetriebene, laufbandgebundene Gehorthesen entwickelt, um eine Optimierung des Lokomotionstrainings Querschnittgelähmter zu erzielen. Bei inkompletter Querschnittlähmung wurden dadurch Verbesserungen in Bezug auf die laufbandbezogene Gehfähigkeit erreicht,

in der Phase der chronischen Lähmung (>12 Monate) dagegen konnten keine signifikanten funktionellen Fortschritte mehr erzielt werden [1, 2, 3, 4, 6, 8, 9].

In jüngster Vergangenheit kam es zur Entwicklung motorgetriebener Exoskelette, also von außen anliegender, motorbetriebener Stützorthesen. Der HAL®-Robot Suit (Cyberdyne, Japan) ist ein Exoskelett, das noch vorhandene Willkürkontraktionen über Oberflächen-EMG-Elektroden registriert und diese Signale in Bewegungen umsetzt (■ Abb. 1; [5, 7, 10]). Aufgrund der Funktionsweise, bei der bereits minimale willkürliche bioelektrische Signale der teilgelähmten Muskulatur ausreichen, um das Exoskelett zu aktivieren, ergab sich die Frage, ob funktionelle Verbesserungen auch bei chronischer Querschnittlähmung erreicht werden können.

Die Patienten absolvierten ein intensives exoskelettale Lokomotionstraining mit dem HAL®-Robot Suit für 3 Monate im Rahmen eines individuellen Heilversuchs (■ Abb. 1). Aufgezeichnet wurden laufbandbezogene Veränderungen in Bezug auf Gehstrecke, -zeit und -geschwindigkeit. Zusätzlich erfolgten funktionelle Tests mittels 10-m-Gehtest, Timed-up-and-go-Test, 6-min-Gehtest und WISCI-II-Score. Veränderungen der Spastik wurden mit der Ashworth-Skala erfasst, zusätzlich wurde das Muskelvolumen an den unteren Extremitäten manuell gemessen. Subjektive Veränderungen (Schmerzreduktion, Körpergefühl, Vegetativum) wurden abgefragt. Neurologische Veränderungen wurden mit der ASIA-Impairment-Skala und dem LEMS objektiviert.

Die dargestellten Daten stammen aus Beobachtungen einer Fallserie. Alle Patienten wurden elektrophysiologisch und mittels MRT untersucht (ENG, Tibialis-SEP, MEP, Doppelpuls-SEP, fMRT). Die durchgeführten Untersuchungen dienten zur Überwachung der Therapie und deren Auswirkungen auf das periphere und zentrale Nervensystem sowie den funktionellen Status und fanden vor, während und nach der Trainingsperiode statt.

Abkürzungsverzeichnis	
ASIA	„American Spinal Injury Association“
EMG	Elektromyographie
ENG	Elektro-neurographie
fMRT	Funktionelle Magnetresonanztomographie
HAL®	Hybrid Assistive Limb®
L	Lumbal
LEMS	„Lower extremities motor score“
MEP	Motorisch evozierte Potenziale
MRT	Magnetresonanztomographie
S	Sakral
SEP	Somatosensibel evozierte Potenziale
WISCI	„Walking index for spinal cord injury“
ZPP	„Zone of partial preservation“

Untersuchungsmethoden

Wir untersuchten 6 Patienten mit Konus-Kauda-Läsion (1 ASIA B, 1 ASIA C, 4 ASIA A mit ZPP L3–S1) und 1 Patienten mit thorakalem Querschnittsyndrom (ASIA C). Alle Patienten waren chronisch querschnittgelähmt (Zeit seit dem Trauma >12 Monate).

Abb. 1 ◀ Positionierung der EMG-Elektroden auf der restinnervierten Muskulatur und des Patienten im Exoskelett auf dem Laufband

Abb. 2 ▲ Entwicklung der Gehstrecke am Beispiel von 4 Patienten zu Beginn und am Ende des 3-monatigen Trainingszyklus

Abb. 3 ▲ Funktionelle Entwicklung mit Reduktion der Assistenz/Hilfsmittel im 10-m-Gehtest gemäß WISCI-II-Score, Erläuterung der Abkürzungen s. Abkürzungsverzeichnis

Ergebnisse

Unsere Untersuchungen im Rahmen des individuellen Heilversuchs zeigen 3 Monate nach dem Training mit dem HAL®-Robot Suit deutliche laufbandbezogene Verbesserungen. Die Gehstrecke konnte von 62–216 m auf 260–1150 m gesteigert werden (■ Abb. 2), und auch für die Gehzeit (12–18 min auf 18–30 min) und die Gehgeschwindigkeit (0,6–0,8 km/h auf 1,8–2,8 km/h) fanden sich deutliche Zunahmen.

Ebenfalls konnten bei allen Patienten funktionelle Verbesserungen nachgewiesen werden. Besonders deutlich wurde dies im 10-m-Gehtest. Die benötigte Zeit konnte von 27,09–125,83 s auf 11,09–47,51 s reduziert werden. Eine Zeitreduktion ergab sich auch für den Timed-up-and-go-Test. Im WISCI-II-Score verbesserten sich 3 Patienten (■ Abb. 3). Bei 6 Patienten konnte eine Volumenzunahme der Muskulatur nachgewiesen werden, und alle Patienten wiesen einen um 1 bis 3 Punkte höheren LEMS auf. Bei 1 Patienten mit thorakaler Querschnittlähmung fand sich eine Reduktion der Spastik von Ashworth IV auf Ashworth II–III nach dem Training. Ein Patient zeigte einen Switch von ASIA B nach C, ein weiterer eine Ausdehnung der Sensibilität bis Dermatome S2 bei ursprünglich kompletter Paraplegie sub L1 mit Restfunktionen bis L3.

Alle Patienten berichteten nach dem Training von angenehmer Muskeler-schöpfung und verbesserter Darmentleerung, 2 Patienten mit Deafferentierungsschmerzen gaben eine Schmerzverminde-

rung mit resultierender Medikamentenreduktion an. Änderungen in der Standard-elektrophysiologie fanden sich nicht. Die fmRT-Untersuchungen zeigten jedoch eine verminderte Aktivierung im Handareal bei gleichzeitiger Suppression im Doppelpuls SEP am N. medianus (separate Untersuchung).

Diskussion

Die hier vorgestellten vorläufigen Ergebnisse aus individuellen Heilversuchen weisen auf funktionelle Veränderungen durch das Training mit dem HAL®-Robot Suit hin. Auch in der chronischen Phase einer Querschnittlähmung scheinen durch die exoskelettale Lokomotionstherapie Verbesserungen auch außerhalb des Laufbandtrainings möglich. Es ergaben sich einzelne Hinweise auf mögliche neurologische Verbesserungen. Weiterhin konnte durch das Training eine höhere Leistung der teilgelähmten Muskulatur erzielt werden, am ehesten durch eine effektive Nutzung verbliebener intakter Neuronen. Eine strukturelle Veränderung direkt am verletzten Rückenmark ist nicht wahrscheinlich. Hierfür spricht, dass die standardelektrophysiologischen Messungen ohne Befundänderung blieben. Diese effektivere Nutzung ist wahrscheinlich für die funktionellen Fortschritte bei den 7 Patienten verantwortlich.

Fazit für die Praxis

- Exoskelettal unterstütztes Lokomotionstraining chronischer Paraplegiepatienten stellt einen neuen innovativen Ansatz in der Neurorehabilitation dar.
- Es gibt Hinweise für funktionelle Verbesserungen durch ein exoskelettal unterstütztes Lokomotionstraining.
- Die rein deskriptiven Ergebnisse dieser Fallserie sollten in einer gesonderten Studie systematisch untersucht werden, um weitergehende Aussagen treffen zu können.

Trauma Berufskrankh 2014 · 16[Suppl 1]:9–12 DOI 10.1007/s10039-013-1977-y
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013

M. Aach · M. Sczesny-Kaiser · S. Lissek · O. Höffken · V. Nicolas · R. Meindl · P. Schwenkreis
Y. Sankai · M. Tegenthoff · T.A. Schildhauer

Exoskelettale Rehabilitationstraining bei Querschnittgelähmten. Fallserie zum funktionellen Outcome

Zusammenfassung

Hintergrund. In den letzten Jahren wurden neue Rehabilitationsverfahren mit einem Einsatz von Exoskeletten für Querschnittgelähmte entwickelt. Exoskelettal gestütztes Lokomotionstraining wird bei Querschnittsyndromen genutzt. Beim HAL®-Robot Suit werden bioelektrische Signale zur Steuerung der Bewegungen verwendet. In der Annahme, dass das Training eine Leistungssteigerung im Rahmen der Lokomotion und funktionelle Verbesserungen induziert, wurden diese Veränderungen während eines individuellen Heilversuchs bei chronisch paraplegischen Patienten aufgezeichnet.

Patienten und Untersuchungen. Bei 7 chronischen (in)kompletten Paraplegiepatienten, die täglich (5 Tage pro Woche) über 3 Monate mit dem HAL®-Robot Suit trainierten, wurden die laufbandbezogenen Leistungen (Gehstrecke, Gehzeit, Gehgeschwindigkeit, Gewichtsentlastung), funktionelle Verbesserungen [10-m-Gehtest, 6-min-Gehtest, Timed-up-and-go-Test, WISCI-II-Score (WISCI: „walking index for spinal cord injury“)], klinisch neurologische Veränderungen [ASIA- („American Spinal Injury Association“), Ashworth-Skala]

sowie subjektive Veränderungen (Vegetativum, Schmerzen) erfasst.

Ergebnisse. Es zeigten sich laufbandbezogene Leistungssteigerungen mit Ausdehnung der Gehzeit, Gehstrecke und Gehgeschwindigkeit. Alle Patienten konnten eine funktionelle Verbesserung inklusive Muskelkraftzuwachs erreichen. Einige Patienten zeigten klinisch neurologische Verbesserungen. Subjektiv angegeben wurden eine Verbesserung der Darmentleerung sowie eine Schmerzreduktion.

Schlussfolgerung. Die Resultate weisen auf mögliche neurologische und funktionelle Verbesserungen auch im Stadium einer chronischen Lähmung hin. Es handelt sich um Einzelfallergebnisse, die im Rahmen einer systematischen Studie überprüft werden müssen.

Schlüsselwörter

Exoskelettale Rehabilitation · Querschnittlähmung · Rückenmarkverletzung · Lokomotionstraining · Gehleistung

Exoskeletal rehabilitation in chronic spinal cord injury. A case series concerning functional outcome

Abstract

Background. In recent years, new tools for rehabilitation of patients with spinal cord injury (SCI), including the use of an exoskeleton, have been developed. Locomotor training with exoskeletons is used in SCI patients. The HAL® robot suit uses minimal bioelectrical signals from the patients to induce leg movement. We hypothesize that the training induces functional improvement and increased performance in locomotor training. In this article, these improvements are reported.

Subjects and methods. In all, 7 patients with chronic incomplete SCI participated over a 3-month period of daily (5 times per week) HAL® exoskeleton supported treadmill training. Treadmill-associated performance (walking time, distance, speed, body weight support) and functional improvements [10-m walk test, 6-min walk test, timed-up-and-go test, WISCI II (walking index for spinal cord injury) score] were recorded. In addition, neu-

rological changes [American Spinal Injury Association (ASIA), Ashworth scale] and individual sensations (pain, vegetative differences) were recorded.

Results. We recorded improvements in treadmill training with increased walking time, distance and speed. All patients showed functional improvements including muscle strength. Some patients showed neurological improvements. The individuals named subjective improvements such as pain reduction and better bowel function.

Conclusion. These results show possible neurological and functional improvements also in patients with chronic SCI. These are only individual case results, which must be verified in a systematic clinical trial.

Keywords

Exoskeletal rehabilitation · Paraplegia · Spinal cord injuries · Locomotion · Walking capacity

Korrespondenzadresse

Dr. M. Aach

Chirurgische Klinik und Poliklinik,
BG-Universitätsklinikum Bergmannsheil,
Bürkle-de-la-Camp-Platz 1, 44789 Bochum
Mirko.aach@bergmannsheil.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. M. Aach, M. Sczesny-Kaiser, S. Lissek, O. Höffken, V. Nicolas, R. Meindl, P. Schwenkreis, M. Tegenthoff, Y. Sankai und T. A. Schildhauer geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Dieser Beitrag beinhaltet keine Studien an Menschen oder Tieren.

The supplement containing this article is not sponsored by industry.

Literatur

1. Colombo G, Joerg M, Schreier R et al (2000) Treadmill training of paraplegic patients using a robotic orthosis. *J Rehabil Res Dev* 37(6)
2. Dietz V, Colombo G, Jensen L (1994) Locomotor activity in spinal man. *Lancet* 344:1260–1263
3. Dietz V, Colombo G, Jensen L et al (1995) Locomotor capacity of spinal cord in paraplegic patients. *Ann Neurol* 37:574–582
4. Hornby TG, Zemon DH, Campbell D (2005) Robotic-assisted, body-weight-supported treadmill training in individuals following motor incomplete spinal cord injury. *Phys Ther* 85(1):52–66
5. Kawamoto H, Sankai Y (2002) Power Assist System HAL-3 for gait disorder person. *LNCS* 2398:196–203
6. Miyamoto H, Israel I, Mori S et al (1985) Approach to a powered orthosis for paralyzed lower limbs. *Proc ICAR* 1985:451–458
7. Suzuki K, Mito G, Kawamoto H et al (2007) Intention-based walking support for paraplegia patients with robot suit HAL. *Adv Robot* 21(12):383–408
8. Wernig A, Muller S (1992) Laufband locomotion with body weight support improved walking in persons with severe spinal cord injuries. *Paraplegia* 30:229–238
9. Wernig A, Muller S, Nanassy A et al (1995) Laufband therapy based on rules of spinal locomotion is effective in spinal cord injured persons. *Eur J Neurosci* 7:823–829
10. Yamawaki K, Kawamoto H, Nakata Y et al (2011) Gait training for a spinal canal stenosis patient using Robot Suit HAL – a case report. 6th World Congress of the International Society of Physical & Rehabilitation Medicine (ISPRM), Puerto Rico