

Lokomotionstherapie am Laufband bei Para- und Tetraplegikern: Eine Nachuntersuchung

A. Wernig¹, A. Nanassy¹, S. Müller²

¹Physiologisches Institut der Universität Bonn

²Rehabilitationsklinik Langensteinbach

Zusammenfassung

Die nach »Regeln der spinalen Lokomotion« durchgeführte Laufbandtherapie (LB) erzielte Verbesserungen in der Gehfähigkeit bei inkompletten Para- und Tetraplegikern und ging weit über konventionelle Therapien hinaus [17, 18, 20]. Die vorliegende Arbeit zeigt die Ergebnisse von Nachuntersuchungen an 76 Patienten ½ bis 6½ Jahre nach der stationär durchgeführten Laufbandtherapie.

Zunächst wird der Effekt der LB-Therapie bei 35 chronischen und 41 akuten Patienten dargestellt. Von 25 chronischen Patienten, die vor Beginn der Lokomotionstherapie an den Rollstuhl gebunden waren, wurden 20 im Verlauf der Therapie selbständig und konnten ohne fremde Hilfe aufstehen und zumindest kurze Strecken gehen. Die willkürlich auslösbare Muskelaktivität nahm bei mehreren Patienten jedoch wenig zu, was auf den bahrenden Einfluß der Propriozeption und der »regelrechten« Bein- und Körperhaltung während des Gehens hinweist. Lediglich bei fünf Patienten trat eine deutliche Steigerung der Willküraktivität auf, allerdings war bei vier dieser Patienten die antispastische Medikation stark reduziert worden.

Die Nachuntersuchungen 6 Monate bis 6½ Jahre nach der Krankenhausentlassung zeigten, daß 34 der 35 ursprünglich chronischen Patienten die erreichte Gehfähigkeit beibehalten hatten, drei Patienten zeigten sogar eine weitere Verbesserung, lediglich ein Patient von 35 hatte sich verschlechtert. Von 41 ursprünglich akuten Patienten hatten alle ihre Gehfähigkeit beibehalten oder weiter verbessert [21]. Demnach konnte die unter klinischen Bedingungen erreichte Gehfähigkeit in häuslicher Umgebung aufrechterhalten werden.

Es wird vorgeschlagen, jeden inkomplett gelähmten Para- und Tetraplegiker einer intensiven Laufbandtherapie zuzuführen, um ihn an seine optimale motorische Leistungsfähigkeit heranzuführen. Die Therapie muß nach den »Regeln der spinalen Lokomotion« von geschulten Therapeuten durchgeführt werden. Eine ambulante Weiterführung der Therapie scheint sinnvoll und für manche Patienten notwendig.

Schlüsselwörter: Laufband, Lokomotion, Paraplegiker, Tetraplegiker, Rückenmark

Laufband therapy for para- and tetraplegics: Follow up investigation

A. Wernig, A. Nanassy, S. Müller

Abstract

Recent reports indicate that walking capabilities in spinal cord damaged persons significantly improve – as compared to conventional rehabilitation therapy – after intensive training of aided Laufband (treadmill)-stepping [17, 18, 20].

In the present report, follow up investigations on two collectives of spinal cord injured (s.c.i.) persons are described who had undergone Laufband-therapy either during a period of renewed rehabilitation months or years after spinal cord injury (35 chronic patients) or during their first postacute rehabilitation period (41 acute patients). Among the initially chronic patients, 20 from 25 still wheelchair-bound before the onset of Laufband-therapy, i.e. not capable of raising from the wheelchair and walking without help by other persons, became independent walkers after therapy. Assessment of voluntary muscle activity in resting position before and after the period of therapy had shown only small increases in most patients, indicating the involvement of motor automatisms and better utilisation of remaining muscle function during walking.

Follow-up assessments performed ½ to 6½ years after discharge from the hospital revealed that the walking capabilities achieved by Laufband therapy in the 35 initially chronic patients were maintained in 31 persons, in 3 they had further improved, in only one they were reduced. These results indicate that the improvements achieved under clinical conditions can be maintained in every day life under domestic surroundings. From 41 initially acute patients, 15 had further improved and none had reduced his/her walking capability ½ to 6 years after discharge from the hospital [21].

It is suggested that LB-therapy may be generally applied in motor rehabilitation of acute and chronic incomplete para- and tetraplegic persons.

Key words: Laufband locomotion, paraplegia, tetraplegia, spinal cord

Neurol Rehabil 1999; 5 (6): 321-327

Einleitung

Tierexperimentelle Untersuchungen zeigen, daß Primaten mit hochgradiger, aber inkompletter Rückenmarkläsion das Schreiten am Laufband wiedererlernen können [8]. Bei der Katze ist dieses Phänomen auch nach kompletter Durchtrennung des Rückenmarks zu beobachten [2, 6, 14] und deutet auf die Existenz spinaler lokomotorischer Programme hin, die durch die »Regeln der spinalen Lokomotion« aktiviert werden [9]. Beim komplett gelähmten Menschen ließen sich bislang immerhin Elemente von Schritten, jedoch keine vollständigen Schreitzyklen am Laufband auslösen [17, 19, 20]. Die Schreitfähigkeit bei spinalgeschädigten Vierbeinern und Affen konnte durch intensives Schreittraining am Laufband verbessert werden [6, 8], andere Methoden wie beispielsweise ein auf bloßes Stehen ausgerichtetes Trainingsprogramm waren nicht erfolgreich und führten bei Katzen sogar zu einer signifikanten Verschlechterung der Schreitfähigkeit [3, 6]. Übertragen auf Strategien zur motorischen Rehabilitation Querschnittgelähmter bedeutet dies, daß die Wiedererlangung der Gehfähigkeit nur durch intensives Üben des aufrechten Gangs erreicht werden kann. Dieses Prinzip scheint erwartungsgemäß auch für andere zentrale Störungen der Motorik gültig zu sein [12, 16].

Zwei voneinander unabhängige Arbeitsgruppen haben in den letzten Jahren die intensive Gangschulung am Laufband als Therapie von Rückenmarkverletzten versucht und über Verbesserungen der Gehfähigkeit berichtet [1, 17, 18, 20]. Eine Studie untersuchte 89 inkomplett gelähmte chronische und akute Para- und Tetraplegiker. Der Vergleich mit 64 Patienten, die konventionell behandelt wurden, sowie die konsekutive Durchführung beider Therapieformen an individuellen Patienten zeigten eine deutliche Überlegenheit der Laufbandtherapie [20, 21]. Die LB-Therapie war innerhalb weniger Wochen unter kontrollierten klinischen Bedingungen absolviert worden. Zusätzlich, wie später im einzelnen gezeigt wird, hatte bei einigen Patienten die Gehfähigkeit signifikant zugenommen, die willkürlich auslösbare Muskelaktivität hingegen kaum [20]. Vor diesem Hintergrund war es von besonderem Interesse, ob diese Patienten die erreichte Gehfähigkeit in häuslicher Umgebung ohne tägliches Training am Laufband aufrechterhalten konnten.

Die Nachuntersuchungen wurden an insgesamt 76 Patienten durchgeführt. Darin enthalten sind 43 der 89 ursprünglich therapierten und 1995 publizierten Patienten [18, 20], 14 chronische und 19 akute Patienten sind hinzugekommen.

Methoden und Patienten

Die wichtigsten Prinzipien der Lokomotionstherapie am Laufband sind bereits publiziert worden [1, 17, 18, 20]. Kurz zusammengefaßt wird der aufrechte Gang auf einem motorgetriebenen Laufband so intensiv als möglich geübt. Der Patient wird mittels eines über dem Laufband installierten Gurtes in aufrechter Position gehalten und der

Schreitvorgang, falls zu Beginn der Therapie notwendig, durch passives Setzen der Beine durch Therapeuten unterstützt. Dabei werden die »Regeln der spinalen Lokomotion« angewandt, diese bewirken häufig eine Bahnung des Schreitvorganges. Hautreizung durch Kneifen wird eingesetzt, um die Schwungphase zu fördern oder auszulösen. Die Verwendung spezieller Laufbandschuhe mit dünner Ledersohle und Anfaßpunkten für die Therapeuten (Bon-med) sind anfänglich von großem Nutzen. Die Lokomotionstherapie am Laufband wird üblicherweise einmal täglich, bei einigen Patienten auch zweimal pro Tag, in Trainingseinheiten von jeweils 30 Minuten an fünf Tagen der Woche durchgeführt. So früh wie möglich wird das Gehen auf ebener Erde parallel zum Gehen am Laufband geübt. Neben der Lokomotionstherapie nehmen die Patienten an der regulären konventionellen Krankengymnastik teil (funktionelle Übungen zum Übersetzen, Rollstuhltraining, Sporttherapie, Krafttraining etc.), jedoch ist das Gehen zunächst nur unter Kontrolle und gemäß den »Regeln der spinalen Lokomotion« zugelassen.

Kriterien zum Einschluß der Patienten in die Lokomotionstherapie am Laufband: ein gewisses Maß an Willküraktivität in Muskeln der unteren Extremitäten, insbesondere im M. quadriceps femoris, Gelenkmobilität, Fehlen von höhergradigen Muskelverkürzungen, Fehlen von Druckgeschwüren oder anderen schweren Erkrankungen. Das Fehlen von aktiver Hüftbeugung kann zunächst toleriert werden, besonders wenn bereits in den Eingangsuntersuchungen Beugemuster ausgelöst werden können. Bei den hier vorgestellten chronischen Patienten begann die Lokomotionstherapie am Laufband sechs Monate bis 15 Jahre nach der Rückenmarkschädigung (Median 1,5 Jahre). Bei den akut traumatischen Patienten wird die Sicherheit der Therapie durch eine vom Orthopäden festgestellte ausreichende Belastbarkeit der Wirbelsäule bestimmt [11] und die Lokomotionstherapie innerhalb weniger Wochen nach Trauma begonnen.

Die Ursache der Rückenmarkschädigung war bei den meisten Patienten ein traumatisches Ereignis, der Häufigkeit nach folgten postmyelitische Zustände, Tumoren, Durchblutungsstörungen oder andere Ursachen (siehe Tab. 2). Patienten mit höhergradigen schlaffen Lähmungen wurden nicht in die Untersuchung eingeschlossen.

Funktionelle Klassifizierung der Patienten

Zu Beginn und am Ende der Lokomotionstherapie sowie bei der Nachuntersuchung wurden die Patienten nach ihrem Gehvermögen über ebener Erde in sechs Klassen (0–5) eingeteilt (siehe Tab. 1). Anhand dieser Klassifizierung wurden *rollstuhlabhängige* Patienten, die nicht in der Lage waren, aus dem Rollstuhl aufzustehen und ohne Hilfestellung zu gehen, von den Patienten unterschieden, die *nicht rollstuhlabhängig* waren, also selbständig aus dem Rollstuhl aufstehen konnten.

Für die Klassenzuordnung bei der Eingangsuntersuchung genügte eine Gehstrecke von 5–10 Metern, während bei

Rollstuhlabhängig

- 0: Beine können das Körpergewicht nicht tragen; auch mit deutlicher Hilfe durch 2 Hilfspersonen ist Stehen und Gehen nicht möglich
- 1: Stehen und Gehen ist mit zwei Hilfspersonen möglich
- 2: Stehen und Gehen ist mit einer Hilfsperson am Gelände möglich

Nicht rollstuhlabhängig

- 3: Gehen mit dem Rollator oder reziprokem Gehgestell ohne fremde Hilfe
- 4: Gehen mit zwei Unterarmstützen
- 5: freies Gehen ohne Hilfsmittel mindestens für 5 Schritte

Tab. 1: Funktionelle Klassifizierung

der Enduntersuchung, falls nicht anders angegeben, eine Geheleistung von 50–100 Metern erbracht werden mußte. Die Eingangs- und Enduntersuchungen wurden auf Videofilm aufgezeichnet, die Einordnung später von zwei Untersuchern unabhängig voneinander vorgenommen (SM und AW). In Zweifelsfällen wurde bei der Eingangsuntersuchung die höhere, bei der Enduntersuchung die niedrigere funktionelle Klasse angenommen.

Die willkürliche Muskelaktivität wurde anhand von Kraftgraden und Bewegungsumfang unter Willkürinnervation nach verbaler Aufforderung in definierten und spastikhemmenden Ruhepositionen im Sitzen und Liegen evaluiert [13], Tab. 2.

Kraftgrade und Bewegungsumfang

- 0: keine sichtbare oder palpierbare Muskelkontraktion
- 1: sichtbare und/oder palpierbare Muskelkontraktion ohne Bewegung der Extremität
- 2: geringe Gelenkbewegung unter passiver Unterstützung des Therapeuten zum Ausgleich der Schwerkraft
- 3: vollständige Gelenkbewegung gegen die Schwerkraft
- 4: vollständige Gelenkbewegung gegen leichten Widerstand
- 5: wie 4, gegen maximalen Widerstand

Tab. 2: Klassifizierung der willkürlichen Muskelaktivität

Werte zwischen den einzelnen Kraftgraden waren erlaubt und wurden als Zwischengrade (halbe Punkte) gewertet. Als Maß für die globale Muskelkraft an einem Bein wurden die Werte der acht wichtigsten Flexoren und Extensoren summiert: Mm. gluteus maximus, gluteus medius und minimus, iliopsoas, sartorius, quadriceps femoris, ischio-crurale Muskelgruppe, tibialis anterior und triceps surae. Die erhobenen Werte sind in Abb. 3 getrennt für jedes Bein dargestellt.

Die *Nachuntersuchungen* wurden jeweils am Tage der Ankunft des Patienten im Krankenhaus im Rahmen einer routinemäßigen Kontrolluntersuchung oder im Falle einer erneuten stationären Rehabilitationsmaßnahme während der ersten Tage nach Aufnahme durchgeführt. Dabei waren die Patienten angehalten, über ebener Erde unter Einsatz ihres

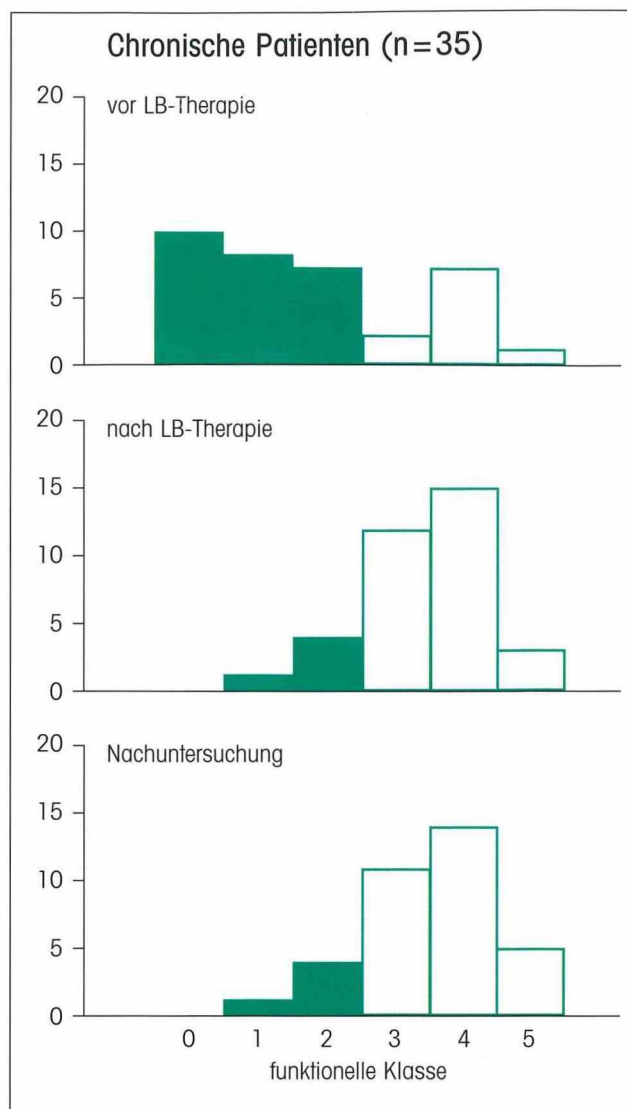


Abb. 1: Gehfähigkeit von 35 bereits chronischen Patienten vor (oberes Histogramm) und unmittelbar nach der Laufbandtherapie (mittleres Histogramm) sowie bei den Nachuntersuchungen 6 Monate bis 6½ Jahre nach Entlassung aus der Klinik (unteres Histogramm). Die Gehfähigkeit ist in 6 funktionelle Klassen (0–5, s. Tab. 1) eingeteilt, die grünen Säulen repräsentieren nicht selbständig gehfähige, die offenen Säulen selbständig gehfähige Patienten

bevorzugten Hilfsmittels in optimaler Geschwindigkeit zu gehen. Alle Untersuchungen wurden parallel auf Videofilm aufgezeichnet. Die Beurteilung des Gehvermögens von 21 der 35 chronischen Patienten vor und nach der LB-Therapie, die hier im Detail gezeigt wird, ist bereits im Rahmen einer früheren Arbeit publiziert worden [20] (Patienten 0/D–0/J, 1/A und 1/H und 2/A–2/F in Tab. 3). Dasselbe gilt für 22 der 41 akuten Patienten in Abb. 2.

Ergebnisse*Ursprünglich chronische Patienten*

Die Entwicklung der Gehfähigkeit von 35 Para- und Tetraplegikern mit spastischen Lähmungen ist in Abb. 1 darge-

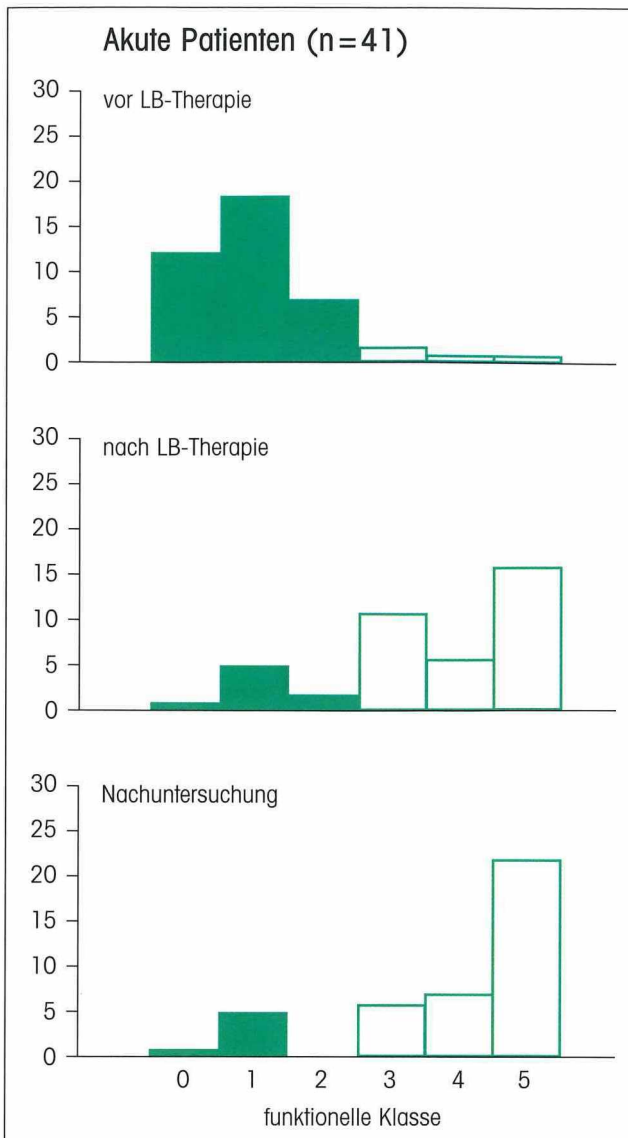


Abb. 2: Gehfähigkeit von 41 akuten Patienten vor und nach der Laufbandtherapie (oberes und mittleres Histogramm) sowie bei den Nachuntersuchungen 6 Monate bis 6½ Jahre nach der Entlassung aus der Klinik (unteres Histogramm)

stellt (oberes und mittleres Histogramm). Von 25 ursprünglich rollstuhlabhängigen Patienten (Klassen 0–2, schwarze Säulen im oberen Histogramm) waren 20 Patienten nach Absolvierung der Therapie selbständig, lediglich fünf Patienten blieben rollstuhlabhängig (mittleres Histogramm). Die Patienten, die bereits vor Beginn der LB-Therapie rollstuhlunabhängig waren (Klassen 3–5, offene Säulen im oberen Histogramm von Abb. 1), blieben in der Regel in ihrer funktionellen Klasse (nur zwei Patienten erreichten eine höhere Klasse), verbesserten jedoch alle ihre Gehgeschwindigkeit und Gehausdauer (nicht dargestellt).

Die Dauer der Laufbandtherapie hing vom Schweregrad der Lähmung ab. Die rollstuhlabhängigen Patienten wurden für 8 bis 20 Wochen therapiert (Median=12 Wochen), die restlichen Patienten für 4 bis 12 Wochen (Median=10 Wochen). Insgesamt 27 von 35 Patienten erhielten eine

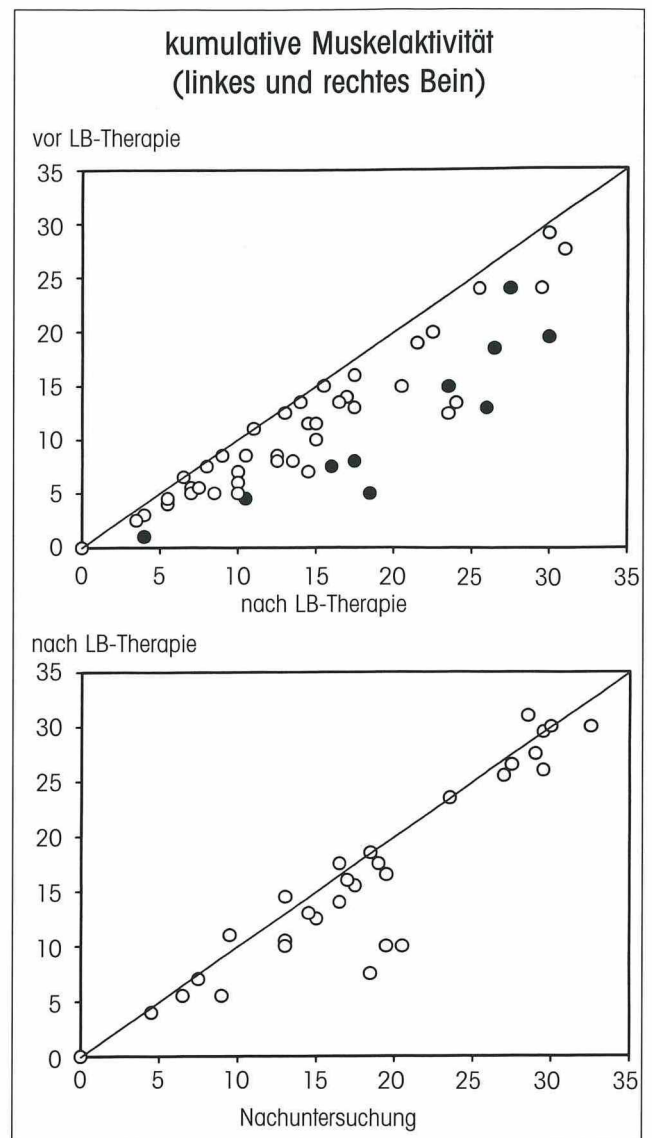


Abb. 3: Obere Darstellung: kumulierte Willküraktivität der wichtigsten Beuger- und Streckermuskeln eines Beins vor (Ordinate) und nach (Abszisse) der Laufbandtherapie der 25 ursprünglich nicht selbständig gehfähigen chronischen Patienten. Schwarze Symbole: Werte von 4 Patienten, bei denen eine starke Reduktion der antispastischen Medikation vorgenommen werden konnte

Untere Darstellung: kumulierte Willküraktivität unmittelbar nach der Laufbandtherapie (Ordinate) und bei der Nachuntersuchung. Dieselben Patienten wie in der oberen Darstellung

antispastische Medikation. Bei acht Patienten blieb diese im Verlauf der Therapie unverändert, bei 19 Patienten konnte die Dosis reduziert werden.

Die willkürlich auslösbare Muskelaktivität nahm unter Lokomotionstherapie am Laufband nur bei fünf Patienten stark zu (0/A, 0/D linkes Bein, 0/F, 2/B und 2/D in Tab. 4). Bei vier dieser fünf Patienten war die antispastische Behandlung deutlich reduziert worden (volle Kreise in Abb. 3 oben). Auffällig auf der anderen Seite war, daß Extremitäten oftmals nahezu komplett gelähmt blieben, d. h. in den acht wichtigsten Flexoren und Extensoren der jeweiligen Extremität kumulative Werte von 10 und weniger aufwie-

Code	Alter	Geschlecht	Schädigung	Segment	Beginn LB nach Schädigung	Dauer
O/A	62	w	T	Th 6	10,0 Monate	20 Wochen
O/B	25	m	T	C 5	8,5 Monate	18 Wochen
O/C	25	m	T	Th 7	6,0 Jahre	12 Wochen
O/D	67	m	T	C 6*	5,5 Monate	18 Wochen
O/E	22	w	M	C 5*	12,0 Monate	16 Wochen
O/F	50	w	T	C 5*	12,0 Monate	11 Wochen
O/G	21	m	T	C 7*	22,0 Monate	10 Wochen
O/H	52	m	Tu	Th 12	20,0 Monate	9 Wochen
O/I	49	m	T	C 5 **	6,0 Monate	20 Wochen
O/J	30	m	T	C 5 **	6,0 Monate	20 Wochen
1/A	19	w	T	Th 10	11,0 Monate	12 Wochen
1/B	56	w	V	Th 6	2,0 Jahre	18 Wochen
1/C	56	m	T	C 5*	4,0 Jahre	11 Wochen
1/D	35	m	T	Th 7	15,0 Monate	8 Wochen
1/E	56	m	V	Th 3	12,0 Monate	14 Wochen
1/F	51	m	T	C 4*	4,0 Jahre	13 Wochen
1/G	24	m	T	C 5	12,0 Monate	10 Wochen
1/H	50	m	T	C 6**	15,0 Jahre	8 Wochen
2/A	70	w	Tu	C 8	3,0 Jahre	9 Wochen
2/B	29	w	T	Th 10	10,0 Monate	8 Wochen
2/C	50	m	T	C 5	5,5 Monate	18 Wochen
2/D	55	m	M	C 6	11,0 Monate	10 Wochen
2/E	28	w	T	C 7*	12,0 Monate	16 Wochen
2/F	30	m	T	C 4*	13,0 Monate	14 Wochen
2/G	49	m	T	C 5*	12,0 Monate	10 Wochen

Tab. 3: Verschiedene Angaben zu 25 chronischen, ursprünglich rollstuhlgebundenen Patienten, die eine Laufbandtherapie absolvierten
M Myelitis, T Trauma, Tu Tumor, V Durchblutungsstörung, * Arme können schlecht oder ** gar nicht zu Stützen verwendet werden

sen (siehe Methoden) und kein einziger Muskel einen Wert über 2½ erreichte (Patienten O/C, O/D, O/E, O/G, O/I, 1/A, 1/F, 1/G, 1/H und 2/G in Tab. 4).

Die Nachuntersuchungen sechs Monate bis sechseinhalb Jahre später (Median=20 Monate) zeigen, daß die durch die Laufbandtherapie unter klinischen Bedingungen erreichten Verbesserungen der Gehfähigkeit in der Regel aufrechterhalten wurden (Abb. 1 unteres Histogramm und Tab. 4). Nur ein Patient fiel von Klasse 3 auf 2 zurück, während sich ein Patient von Klasse 2 nach 3 und zwei Patienten von Klasse 3 und 4 nach Klasse 5 verbesserten. Mit der bemerkenswerten Ausnahme von zwei Patienten hatte sich die willkürliche Muskelaktivität nicht wesentlich verändert (Abb. 3 unten). Bei zwei Patienten jedoch (Patient O/I und 2/C in Tab. 2) erhöhten sich die kumulierten Werte dramatisch (von 10 und 7,5 auf 21 und 18 sowie von 27,5 und 10 auf 29 und 19,5). Da die antispastische Medikation nur gering bzw. gar nicht geändert worden war, muß sich die Effektivität efferenter Bahnen verbessert haben.

Ursprünglich akute Patienten

Bei insgesamt 41 Para- und Tetraplegikern wurde die Lokomotionstherapie am Laufband drei bis 16 Wochen (Median=8 Wochen) nach der Primärschädigung des Rückenmarks begonnen und als Teil der postakuten Rehabilitation über drei bis 22 Wochen (Median=10 Wochen) durchgeführt. Die Gehfähigkeit dieser Patienten zu Beginn und am Ende der Lokomotionstherapie wird in Abb. 2 (oberes und mittleres Histogramm) verglichen. Nach diesen Ergebnissen waren acht Patienten nach Beendigung ihrer ersten Rehabilitationsphase noch rollstuhlabhängig (Klassen 0–2). Bei den Nachuntersuchungen sechs Monate bis sechs Jahre nach Entlassung aus dem Krankenhaus (Median=17 Monate) waren dies nur noch sechs Patienten. Zusätzlich benötigten weniger Patienten einen Rollator oder ein reziprokes Gehgestell (Klasse 3), eindeutig mehr Patienten waren in der Lage, über eine kurze Distanz ohne Hilfsmittel frei zu gehen (Klasse 5) (unteres Histogramm). Zusam-

Code	Gehfähigkeit			Treppensteigen			Willkürliche Muskelaktivität					
	vor LB	nach LB	NU	vor LB	nach LB	NU	rechtes Bein			linkes Bein		
							vor LB	nach LB	NU	vor LB	nach LB	NU
0/A	0	4	5	nein	ja	ja	13,0	26,0	29,5	19,5	30,0	32,5
0/B	0	3	3	nein	ja	nein	4,5	10,5	–	5,0	8,5	–
0/C	0	3	3	nein	ja	ja	3,0	4,0	–	2,5	3,5	–
0/D	0	3	3	nein	nein	nein	1,0	4,0	4,5	5,0	18,5	18,5
0/E	0	3	3	nein	nein	nein	24,0	29,5	29,5	0	0	0
0/F	0	5	5	nein	ja	ja	15,0	23,5	23,5	18,5	26,5	27,5
0/G	0	2	2	nein	nein	nein	8,5	12,5	15,0	5,0	7,0	7,5
0/H	0	2	2	nein	nein	nein	14,0	17,0	–	16,0	17,5	–
0/I	0	2	3	nein	nein	nein	7,0	10,0	20,5	5,5	7,5	18,5
0/J	0	1	1	nein	ja	ja	8,0	13,5	–	10,0	15,0	–
1/A	1	4	4	nein	ja	ja	4,0	5,5	9,0	15,0	15,5	17,5
1/B	1	4	4	nein	ja	ja	8,5	10,5	13,0	24,0	25,5	27,0
1/C	1	3	3	nein	ja	ja	13,5	14,0	16,5	12,5	13,0	14,5
1/D	1	3	3	nein	nein	nein	5,5	7,0	–	11,5	14,5	–
1/E	1	3	3	nein	nein	nein	13,5	16,5	19,5	13,0	17,5	16,5
1/F	1	3	2	nein	nein	nein	7,5	8,0	–	11,5	15,0	–
1/G	1	3	3	nein	nein	nein	15,0	20,5	–	8,5	9,0	–
1/H	1	2	2	nein	nein	nein	11,0	11,0	9,5	4,5	5,5	6,5
2/A	2	5	5	nein	ja	ja	19,0	21,5	–	20,0	22,5	–
2/B	2	5	5	nein	ja	ja	8,0	17,5	19,0	5,0	16,0	17,0
2/C	2	5	5	nein	ja	ja	24,0	27,5	29,5	7,5	10,0	19,5
2/D	2	4	4	nein	ja	–	12,5	23,5	–	13,5	24,0	–
2/E	2	4	4	nein	ja	ja	27,5	31,0	28,5	7,0	14,5	13,0
2/F	2	4	4	nein	ja	ja	6,0	10,0	13,0	29,0	30,0	30,0
2/G	2	3	3	nein	ja	ja	6,5	6,0	7,0	8,0	12,5	15,0

Tab. 4: Motorische Fähigkeiten vor und nach Laufbandtherapie und bei Nachuntersuchungen. 25 ursprünglich rollstuhlgebundene, nicht selbständig gehfähige Patienten, NU Nachuntersuchung

menfassend verbesserten 15 der ursprünglich akuten Patienten ihre Gehfähigkeit nach Entlassung aus dem Krankenhaus weiter, bei keinem der Patienten wurde eine Verschlechterung der lokomotorischen Fähigkeiten beobachtet.

Diskussion

Bereits frühere Untersuchungen haben gezeigt, daß Rückenmarkverletzte ihre Gehfähigkeit durch intensives Üben des aufrechten Gangs am Laufband signifikant verbessern können [1, 17, 18, 20]. Die hier vorliegende Arbeit belegt dies an weiteren 33 Patienten. Die Verbesserung der Gehfähigkeit geht oft mit erstaunlich geringen Zunahmen der willkürlichen Muskelaktivität in Ruhestellungen einher. Dies legt nahe, daß die Willküraktivität während des Schreitvorganges durch propriozeptive Afferenzen deutlich gebahnt wird und belegt und erklärt die Bedeutung der »Regeln der spinalen Lokomotion«. Am auffälligsten ist

dieses Phänomen bei Schwerstgelähmten zu sehen. Bei Patient 0/C etwa überstieg die willkürliche Muskelaktivität in beiden Beinen unter Ruhebedingungen nicht Werte von 3,5 und 4, dieser Patient lernte jedoch mit einem Rollator über Distanzen zwischen 20 und 40 Metern zu gehen. Ähnliches wurde bereits früher bei – elektrophysiologisch gesichertem – völligem Fehlen der Willküraktivität an einem Bein und einem kumulativen Gesamtwert von 2 am zweiten beobachtet [17, 18]. Offensichtlich werden bei Anwendung der »Regeln der spinalen Lokomotion« motorische Programme aktiviert, die den Schreitvorgang aufrechterhalten. Vieles spricht dafür, daß beim Menschen, wie bei niedrigeren Vertebraten, Schreitprogramme auf spinaler Ebene vorhanden sind. Jüngere Untersuchungen haben gezeigt, daß die Belastung der Extremität mit Körpergewicht in der Standphase die motorische Ausgangsleistung ipsilateraler Extremitätenmuskeln bei komplett (und inkomplett) Gelähmten deutlich erhöht. Demnach kann das isolierte

Rückenmark propriozeptive Afferenzen korrekt im Sinne der Erhaltung einer aufrechten Körperposition interpretieren [10, 15]. Unter Anwendung dieser »Regeln« ließen sich kürzlich bei einer 13-jährigen Patientin mit kompletter Lähmung unterhalb von Segment Th6 am Laufband sehr ausgeprägte Schreitelemente mit Beugung und Streckung, wenn auch keine kompletten Schreitzyklen, eintrainieren ([19], Manuskript in Vorbereitung; siehe auch Wernig et al. [17, 20] für weitere Berichte über spontane Schreitelemente bei kompletter Querschnittlähmung und Dobkin et al. [5] und Dietz et al. [4] für Berichte über alternierende und phasische Aktivität in Flexoren und Extensoren der unteren Extremität unter geführter Beinaktivität am Laufband). Warum dann kann ein komplett querschnittgelähmter Mensch im Gegensatz zur Katze nicht zumindest am Laufband ganze Schritte machen? Müssen wir – wie bei der Katze – einfach intensiver üben? Die oben erwähnte junge Patientin wurde über 4 Monate teilweise zweimal täglich am Laufband trainiert, ohne am Laufband frei gehen zu können. Offensichtlich sind beim Primaten mehr als beim niederen Vertebraten supraspinale Antriebe nötig, um die spinalen Schreitprogramme überschwellig und damit funktionell werden zu lassen.

Für inkomplett gelähmte Para- und Tetraplegiker jedoch fordern diese Befunde, daß im Mittelpunkt der Rehabilitationsstrategien das intensive und frühzeitige Üben des aufrechten Ganges stehen muß. Dabei sind die »Regeln der spinalen Lokomotion« anzuwenden, während die Körpergewichtentlastung individuell einzusetzen ist. Solange differenzierende Erfahrungen fehlen, ist die sicherste Strategie, jeden inkomplett Gelähmten durch intensive Gangschulung an seine motorischen Grenzen heranzuführen. Die positiven Ergebnisse der Nachuntersuchungen zeigen auf, daß aufrechtes Gehen – wenn einmal erreicht – das beste Training ist, Gehfähigkeit auch bei Patienten mit geringer Willküraktivität aufrechtzuerhalten und zu verbessern. Die ausgeprägte Zunahme der Willküraktivität bei zwei Patienten Jahre nach der Rückenmarkschädigung (s. Abb. 3 unten) könnte auf aktivitätsbedingte Verbesserung residualer Bahnen hinweisen. Bei vielen Patienten, insbesondere bei solchen mit eingeschränkter Arm-, Schulter- oder Rumpffunktion, ist die täglich geleistete Gehleistung im häuslichen Bereich geringer, als sie im Rahmen einer einzigen Trainingseinheit von 30minütiger Dauer am Laufband erbracht werden kann (ungefähr 0,3 bis 1,5 km). Generell bei allen Patienten, zumindest jedoch bei den Schwerstgelähmten, dürfte eine Fortsetzung des Lokomotionstrainings am Laufband nach Entlassung aus dem Krankenhaus demnach sinnvoll bzw. notwendig sein.

Danksagungen

Diese Arbeit wurde zum Teil durch finanzielle Hilfe der Deutschen Stiftung Querschnittlähmung unterstützt. Die Autoren danken den Herren Prof. Dr. Harms und Dr. Stoltze für das fortwährende Interesse und die Unterstützung dieser Arbeit. Frau Ilka Nowotny, Eva Reuß und Elke Cagol waren an der Therapie der Patienten am Laufband beteiligt. Herr Marc Maegle leistete wertvolle Arbeit bei der Erstellung des Manuskripts.

Literatur

1. Barbeau H, Blunt R: A novel interactive locomotor approach using body weight support to retrain gait in spastic paretic subjects. In: Wernig A (ed): *Plasticity of Motoneuronal Connections*. Restorative Neurology Vol. 5, Elsevier, Amsterdam 1991: 461-474
2. Barbeau H, Rossignol S: Recovery of locomotion after chronic spinalization in the adult cat. *Brain Res* 1987; 412: 844-895
3. de Leon RD, Hodgson JA, Roy RR, Edgerton VR: Locomotor capacity attributable to step training versus spontaneous recovery after spinalization in adult cats. *J Neurophysiol* 1998; 79: 1329-1340
4. Dietz V, Colombo G, Jensen L, Baumgartner L: Locomotor capacity of spinal cord in paraplegic patients. *Ann Neurol* 1995; 37: 574-582
5. Dobkin BH, Harkema SJ, Requejo PS, Edgerton VR: Modulation of locomotor-like EMG activity in subjects with complete and incomplete spinal cord injury. *J Neuro Rehab* 1995, 183-190
6. Edgerton VR, Roy RR, Hodgson JA, Gregor RJ, de Guzman CP: Recovery of full weight-supporting locomotion of the hindlimbs after complete thoracic spinalization of adult and neonatal cats. In: Wernig A (ed): *Plasticity of Motoneuronal Connections*. Restorative Neurology Vol. 5, Elsevier, Amsterdam 1991: 405-418
7. Edström L, Grimbl L: Effect of exercise on the motor unit. *Muscle Nerve* 1986; 9: 104-126
8. Eidelberg E, Walden JG, Nguyen LH: Locomotor control in macaque monkeys. *Brain* 1981; 104: 647-663
9. Grillner S: Control of locomotion in bipeds, tetrapods, and fish. In: Brookhart JE, Mountcastle VB, Brooks VB, Geiger SR (eds): *Handbook of Physiology, Section 1, Vol. 2, Part 2*, Md. American Physiological Society, Bethesda 1981: 1127-1236
10. Harkema SJ, Requejo PS, Hurley SL, Patel UK, Dobkin BH, Edgerton VR: Human lumbosacral spinal cord interprets loading during stepping. *J Neurophysiol* 1997; 77: 797-811
11. Harms J: Screw-threaded rod system in spinal fusion surgery. *Spine: State of the Art Reviews* 1992; 6: 541-575
12. Hesse S, Konrad M, Uhlenbrock E: Treadmill walking with partial body weight support versus floor walking in hemiparetic subjects. *Arch Phys Med Rehabil* 1999; 80: 421-427
13. Kendall HO, Kendall FP, Wadsworth GE: *Muscles - Testing and Function*. 2nd Ed, The Williams and Wilkins Company, Amsterdam 1971
14. Lovely RG, Gregor RJ, Roy RR, Edgerton VR: Effects of training on the recovery of full weight-bearing stepping in the spinal adult cat. *Exp Neurol* 1986; 92: 421-435
15. Maegle M, Harkema SJ, Requejo PS, Douglas SM, Müller S, Wernig A, Dobkin BH, Edgerton VR: EMG activity in lower limb muscles during voluntarily and involuntarily generated movements with and without weight-bearing. *Eur J Neurosci* 1996; Suppl. 6: 131 (Abstract)
16. Richards CL, Malouin F, Wood-Dauphinee S, Bouchard JP, Brunet D: Task specific physical therapy for optimization of gait recovery in acute stroke patients. *Arch Phys Med Rehabil* 1993; 74: 612-620
17. Wernig A, Müller S: Laufband locomotion with body weight support improved walking in persons with spinal cord injuries. *Paraplegia* 1992; 30: 229-238
18. Wernig A, Müller S: Die Lokomotionstherapie am Laufband bei Querschnittlähmung. Ergebnisse einer fünfjährigen Studie. *Neurol Rehabil* 1995; 1: 6-16
19. Wernig A, Müller S: »Laufband« therapy based on the »rules of spinal locomotion« is effective in spinal cord injured persons. *Eur J Neurosci* 1996; Suppl. 9: 57 (Abstract)
20. Wernig A, Müller S, Nanassy A, Cagol E: Laufband therapy based on »rules of spinal locomotion« is effective in spinal cord injured persons. *Eur J Neurosci* 1995; 7: 823-829
21. Wernig A, Nanassy A, Müller S: Maintenance of locomotor abilities following Laufband (treadmill) therapy in para- and tetraplegic persons: follow-up studies. *Spinal Cord* 1998; 36: 744-749

Korrespondenzadresse:

Prof. Dr. med. A. Wernig
 Physiologisches Institut der Universität Bonn
 Wilhelmstraße 31
 53115 Bonn