

Roboterassistiertes Laufbandtraining mit Hilfe der Lokomat® Gangorthese im Vergleich zu anderen Formen des Laufbandtrainings*

Einsatzmöglichkeiten, Studien, Ergebnisse – ein Review

Michael Brüderlin B.Sc. und Christian Orth

1. Einleitung

Nach vielen Erkrankungen und Verletzungen ist das Gangbild gestört, das heißt es entspricht nicht mehr dem als physiologisch bezeichneten Gangbild oder das Gehen ist gar nicht mehr möglich. Auch bei Erkrankungen, welche von Geburt an vorhanden sind oder durch diese entstanden sind, kann ein gestörtes Gangbild die Folge sein.

Viele Jahre wurde die Gangschulung mittels physiotherapeutischer Fazilitation geübt. Nun werden mechanische, sogenannte roboterassistierte Produkte vorgestellt, welche diese Fazilitation übernehmen sollen. Vor allem das Produkt Lokomat® wird sehr beworben. Hier werden auch einige Studien aufgeführt, welche die Wirksamkeit und die Effektivität belegen sollen^{1,2,3,4,5,6}.

Das roboterassistierte Laufbandtraining kommt sowohl bei Kindern als auch bei Erwachsenen zum Einsatz, jedoch sind noch nicht alle Fragen geklärt.

Für die folgende Übersichtsarbeit wurden in den internationalen Datenbanken Pubmed und PEDro zu diesem Thema umfassend recherchiert. Die Recherche wurde dokumentiert, die Studien bewertet, zusammengefasst und analysiert. Ziel dieser Arbeit ist den aktuellen Forschungsstand neutral wiederzugeben und das Laufbandtraining mittels Lokomat® mit anderen Gangtherapieformen zu vergleichen und dabei unter anderem folgende Fragen zu beantworten:

- Was sind die Indikationen für roboterassistiertes Laufbandtraining?
- Wo ist der Unterschied zwischen Lokomat® Laufbandtraining und anderen Formen des Laufbandtrainings?
- Ist das Laufbandtraining mittels Lokomat®

effektiv und auch effizient?

- Wo liegen die Chancen und Risiken bei einem roboterassistierten Laufbandtraining?

1.1 Beschreibung des roboterassistierten Laufbandtrainings

Der Lokomat® wurde als Gehroboter zum Gehtraining auf dem Laufband entwickelt. Ziel der Entwicklung war es gegenüber herkömmlichen Techniken, wie zum Beispiel der manuellen Fazilitation durch eine Physiotherapeuten das normale Gangbild eines gesunden Menschen noch besser simulieren zu können und damit den Patienten unterstützen zu können und diese Unterstützung auch über eine längere Trainingszeit aufrecht erhalten zu können. Die Ergebnisse der Laufbandtherapie werden unter anderem vom Rehabilitationszentrum Affoltern der Universitäts-Kinderklinik Zürich, dem Behandlungszentrum Vogtareuth und der Firma Hocoma wissenschaftlich untersucht.

Bislang wurden in diesen Untersuchungen bei Kindern (*Abb. 1*) Verbesserungen von Ausdauer, Gehgeschwindigkeit und anderen motorischen Funktionen erreicht. Weitere wissenschaftliche Arbeiten zum Effekt des Laufbandtrainings auf die neuronale Plastizität wurden und werden durchgeführt.

Der Lokomat® ist im wesentlichen eine roboterassistierte Gangorthese. Zusätzlich wird der Patient dabei mit Hilfe eines Gurtsystems (*Abb. 2*), wenn nötig, von seinem Körpergewicht teilentlastet. Die Steuerung durch den Therapeuten erfolgt über einen Computer an dem dieser die Bewegungseinstellungen vornimmt.

1.2 Indikationen für roboterassistiertes Laufbandtraining

In den ersten Monaten nach der Geburt, also vor Ausreifung der pyramidalen Strukturen, oder nach deren Beschädigung sind Primitivreflexe auslösbar. Beim ausgereiften und gesunden Menschen ist das Auslösen dieser Reflexe nicht mehr möglich, da sie der kor-

tikalen Kontrolle unterliegen. Es ist also vom Vorhandensein sogenannter zentraler Bewegungsgeneratoren (CPG) auszugehen, die bei Aufhebung bzw. Störung der kortikalen Kontrolle stimulierbar sind und es trainingsabhängig zur Reorganisation von neuronalen Strukturen, die elementar funktionelle Ziele wie z.B. Lokomotion generieren, kommen kann.

Durch wiederholtes, zunächst passives „richtiges“ Gehen sollen die CPG's, beim roboterassistierten Laufbandtraining, so stimuliert werden, dass sie schließlich in der Lage sind auch ohne Fremdeinwirkung diese Gangmuster abzuspielen und damit dem Patienten eigenständiges Gehen zu ermöglichen.

Das Gangtraining, ob Therapeuten gestützt oder Roboter gesteuert, findet Anwendung bei Patienten mit Gehbehinderungen, aufgrund von zerebralen, neurogenen, spinalen, muskulären oder ossären Ursachen.

Unter Berücksichtigung der Kontraindikationen und der individuellen Charakteristik jedes Patienten kann der Lokomat® eingesetzt werden bei:

- Schlaganfall
- Multipler Sklerose
- Zerebralparese
- Parkinson-Syndrom
- Querschnittlähmung
- Hemi-, Paraplegie
- Schädelhirntrauma
- Muskelatrophie
- Immobilisationsbedingter Muskelschwäche
- Nach operativen endoprothetischen Eingriffen
- Degenerativen Gelenkerkrankungen der unteren Extremität

1.3 Vergleich und Abgrenzung zu anderen Formen des Laufbandtrainings

Das gewichtsentlastete Laufbandtraining wird in der Behandlung von Patienten mit zentralen Gangstörungen schon seit vielen Jahren eingesetzt. Auf einem Laufband kann der Patient zu einem Teil vom Körpergewicht entlastet werden und es besteht die Mög-

* Nach einer Seminararbeit im Rahmen des Studienganges Bachelor of Science in Präventions-, Therapie- und Rehabilitationswissenschaften der DIU Dresden

lichkeit die Bewegungen der Beine zu unterstützen. Dadurch können die Muskelfunktion und auch die Lokomotionszentren im Rückenmark intensiver trainiert werden als beim Gehtraining am Gehbaren oder an Unterarmgehstützen.

Die Grundlage dieser Therapieform besteht darin, das zu Erlernende durch immer wiederholtes Üben zu trainieren. Zusätzlich zu den bereits erwähnten CPG's, von deren Reizung man sich ein verbessertes Gangbild verspricht, hat das gewichtsentlastete Laufbandtraining einen positiven Einfluss auf den Muskel selbst. Regelmäßige Bewegung und Belastung des Muskelbindegewebsystems ist für ein normales Wachstum bzw. den Erhalt der Muskelmasse dringend erforderlich.

Die Gewichtsentlastung ist wichtig, da erst dadurch die Möglichkeit für den Therapeuten entsteht korrigierend und führend einzugreifen. Gerade bei Krankheitsbildern die ein spastisches Muster zur Folge haben kann diese Arbeit sehr kraftaufwendig sowie anstrengend sein, und muss vom Therapeuten oft in einer unphysiologischen Ausgangsstellung ausgeführt werden. Diese besondere Anstrengung limitiert die Dauer und die Häufigkeit des Trainings und nicht alle Therapeuten sind körperlich in der Lage dieses Training durchzuführen. Während die Gewichtsentlastung für den Therapeuten unterstützend ist, ist ein Gehen ohne Gewicht nicht physiologisch und zusätzlich nicht hilfreich für die Aktivierung der Lokomotionszentren.

Inspiziert durch das manuelle Laufbandtraining und mit der Absicht die Limitation des Trainings durch den Therapeuten zu vermeiden, ist das Roboter assistierte Laufbandtraining entstanden. Die Möglichkeit zur quasi unbegrenzten Wiederholung von Schreitbewegungen mit und ohne Gewichtsentlastung, je nach Fähigkeiten des Patienten, eröffnet der Therapie funktioneller Gangstörungen eine neue Perspektive. Die Schweizer Firma Hocoma hat mit dem Lokomat® ein Gerät entwickelt, das nicht nur eine führende Orthese mit einem Laufband sowie Gewichtsentlastung koppelt, sondern darüber hinaus ermöglicht den Patienten schrittweise, bei gleich bleibender Führungskraft der Orthesen, an sein Eigengewicht zu gewöhnen.

So lässt sich erstmals die für die Aktivierung der Lokomotionszentren wichtige Druckbelastung mit einem gleich bleibend physiologischen und geführten Training kombinieren.

1.4 Wissenschaftlicher Hintergrund

In der Literatur sind einige Studien zum robotergestützten Laufbandtraining verfü-

bar. Am häufigsten wurde die Gangorthese Lokomat® untersucht. Diese scheint derzeit eine marktbeherrschende Stellung einzunehmen und das bekannteste und am meisten ausgereift erscheinende Produkt zu sein. Zur Zeit ist diese sowohl für Erwachsene als auch für Kinder erhältlich.

Da die Therapiemöglichkeit relativ neu ist wurden noch nicht viele RCT Studien erhoben. Diese wird jedoch in den nächsten Jahren geschehen, da einige Pilotstudien durchgeführt wurden. Übersichtsarbeiten zu diesem Thema gibt es nur sehr wenige.

Meist gehen die bisher veröffentlichten Studien in verschiedene Richtungen, sodass ein Vergleich schwierig ist. So wurden in manchen Studien objektiverbare Gangparameter wie Gehgeschwindigkeit oder die Reduktion der Lastübernahme durch den Lastengurt gemessen. Andere Studien untersuchten den Einfluss des Biofeedbacksystems oder die kinematischen Muster in der Gangorthese im Vergleich zum freien Gang auf einem Laufband.

In einer Studie wurden mittels funktionellem MRT die supraspinalen Aktivierungsmuster und der Veränderung durch das robotergestützte Laufbandtraining ermittelt.

Im Weiteren soll die Methodik der Literatursuche und der Literatursammlung dargestellt werden. Zudem werden die wesentlichen Ergebnisse der ausgewählten und bewerteten Studien zusammengefasst und mögliche Schwächen der jeweiligen Studien kritisch diskutiert.

2. Methoden

2.1 Dokumentation der Literatursuche

Keywords: Robotic, locomotor, assisted, supported, aid, gait, motion, analysis, training, treadmill, Lokomat

Datenbanken: Pubmed am 25.11.2010, PEDro am 11.12.2010.

2.2 Ein- und Ausschlusskriterien für Studien

Damit die Studie in die Übersichtsarbeit aufgenommen wurde, musste diese in den Datenbanken Pubmed oder PEDro veröffentlicht sein. Es wurden nur Studien in Deutscher und Englischer Sprache berücksichtigt, welche im oder nach dem Jahr 2000 veröffentlicht wurden. Die Studien wurden mittels der PEDro Scale bewertet und mussten mindestens einen Score von 5/11 erreichen.

Verwendet wurden randomized controlled trails, controlled trials, multicenter studies und case reports.

Nach Anwendung dieser Ein- und Aus-

schlusskriterien waren zehn Studien für die Übersichtsarbeit verwertbar.

3. Ergebnisse

3.1 Zusammenfassung der Eingeschlossenen Studien, Ergebnisse und möglicher BIAS

Mayr et al. führten im Jahr 2007 eine prospektive, blindierte, randomisierte Crossover-Studie in der Rehabilitationsphase bei Schlaganfallpatienten mit Hilfe der Lokomat® Gangorthese durch.

Untersucht werden sollte die Anwendbarkeit und die Effektivität der motorbetriebenen Gangorthese beim Laufbandtraining. Die Probanden waren alle in etwa drei Monate nach dem Schlaganfall in die Studie aufgenommen worden und wurden in zwei Gruppen randomisiert. Die erste Gruppe erhielt das Therapieschema ABA, die andere BAB (A = 3 Wochen Lokomat® Training, B = 3 Wochen konventionelle Physiotherapie). Als Messinstrumente wurden die Rivermead Assessment Scale, die EU-Walking Scale, der 10m Gehstest und der 6 Minuten Distanztest durchgeführt. Weiterhin wurden Daten aus dem Motoricity Index, der Medical Research Council Scale of strength und der Ashword scale of tone erhoben.

In den Ergebnissen zeigte sich eine signifikant stärkere Verbesserung während der Lokomat® Trainingsphase in den Parametern Rivermead Assessment Scale, der EU-Walking Scale (P=.016; P=.046), dem 6 Minuten Distanztest (P=.018; P=.012), der Medical Research Council Scale und dem Ashword scale of tone (P=.024).

Die Körpergewichtsübernahme konnte innerhalb von 21 Tagen von 40% auf 0% reduziert werden. Die Gehgeschwindigkeit betrug zu Beginn 0.47m/s (0.28-0.56m/s) und erhöhte sich auf 0.75m/s (0.56-0.83m/s) innerhalb von neun Wochen, was auch am 10m Gehstest zu beobachten war (0.13m/s; nach 9 Wochen 0.30m/s). Alle Patienten konnten die Studie ohne Schwierigkeiten zu Ende führen.

Aus den Ergebnissen dieser Studie wird darauf geschlossen, dass für die große Mehrheit der Patienten in der Rehabilitation nach einem Schlaganfall zur Verbesserung des Gangbildes das Training mittels Lokomat® eine innovative Möglichkeit darstellt und zudem prolongierte, unergonomische Therapeutenhaltungen zur manuellen Fazilitation zukünftig vermieden werden können.

Ebenfalls im Jahr 2007 wurde eine weitere randomisierte, kontrollierte Pilotstudie

wurde von Husemann et al.⁸ durchgeführt. Auch hier sollte die Effektivität der robotergesteuerten Gangorthese auf das Gangbild bei Schlaganfallpatienten untersucht werden. Die Interventionsgruppe erhielt zusätzlich zur täglichen, 30minütigen Physiotherapie eine weitere 30minütige Trainingseinheit mit der Lokomat[®] Gangorthese. Die Kontrollgruppe erhielt zur täglichen, 30minütigen Physiotherapie eine weitere Einheit konventionelle Physiotherapie, sodass beide Therapieumfänge gleich waren.

Messparameter waren die Unabhängigkeit beim Gehen, die Gehgeschwindigkeit, weitere Gangparameter, sowie die Körperzusammensetzung und deren Entwicklung in Bezug auf Fett- und Muskelanteil der Probanden.

Beide Gruppen verbesserten sich in der vierwöchigen Therapiephase signifikant. Die Probanden der Interventionsgruppe hatten eine deutlich längere Einbeinstandphase im Gang auf dem betroffenen, hemiparetischen Bein (0.19 ± 0.17 ; nach der Therapie 0.49 ± 0.07 , $P=.014$). Bei der Kontrollgruppe hatte sich das Körpergewicht erhöht (1.33 ± 1.40 kg, $P=.046$), jedoch größtenteils als Fettmasse wohingegen die Lokomat[®] Interventionsgruppe ihre Fettmasse um durchschnittlich 2.9 ± 1.0 kg reduzierte ($P=.016$) und die Muskelmasse um 3.36 ± 1.4 kg erhöhte ($P=.031$).

In den funktionellen Messparametern konnte jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Studiengruppen festgestellt werden (10 m Gehstest: Interventionsgruppe $.14 \pm .02$, Kontrollgruppe $.12 \pm .03$; Kadenz: 35.9 ± 3.87 , 28.9 ± 4.62 ; Schrittdauer: $4.02 \pm .049$, $5.5 \pm .81$). Das Lokomat[®] Training zeigt lediglich wie oben beschrieben bei der Veränderung der Körpermassenzusammensetzung und der Verbesserung des abnormen Gangmusters eine Überlegenheit im Vergleich zur konventionellen Physiotherapie.

Im Jahr 2008 führten Hilder et al.⁹ eine Studie mit sechs gesunden Probanden durch um die kinematischen Bewegungsmuster im Lokomat[®] im Vergleich zu den Bewegungsmustern beim Gehen auf einem Laufband zu erfassen.

Die Bewegungen wurden mittels Codamotion Markern bei 100Hz erfasst und in die Software Visual 3D exportiert.

Sie stellten fest, dass das Bewegungsausmaß (ROM) und die maximale Dorsalextension im oberen Sprunggelenk im Lokomat[®] größer sind ($P<.05$). Außerdem wurde beobachtet, dass die stärkste Flexion im oberen Sprunggelenk 11.7% früher im Gangzyklus erreicht wird als beim normalen Gang. Für das Kniegelenk konnten keine statistisch signifikanten Beobachtungen gemacht werden. Die Hüftwinkel waren beim Lokomat[®] Gang-

bild und beim Gangbild auf dem Laufband gleich, jedoch waren das ROM des Hüftgelenkes und die maximal erreichte Hüftextension im Lokomat[®] größer.

Die Möglichkeiten des Lokomat[®] die Beine des Patienten zu unterstützen hängt laut dieser Studie stark vom Alignment zwischen den Gelenkzentren des Patienten und den Drehzentren des Lokomat[®] ab. Beim Kniegelenk wurde ein Malalignment von bis zu 2 cm; beim Hüftgelenk von bis zu 4 cm beobachtet.

Dies lässt sich dadurch erklären, dass beim normalen Gang während der Standbeinphase eine Hüftinnenrotation stattfindet, wohingegen im Lokomat[®] eine reine, axial geführte Bewegung in Flexion-Extension und in Abduktion-Adduktion möglich ist.

Mögliche Verzerrungen in Limitationen wurden bereits in der Studie diskutiert. So wurde aufgeführt, dass bei der Studie lediglich junge, gesunde Probanden ausgewertet wurden und dass der Lokomat[®] auf 100% Führung eingestellt wurde. Neuere Software ermöglicht dem Lokomat[®] den Patienten auch lediglich im Gang zu unterstützen. Weiterhin ist festzustellen, dass jeweils nur die für den Probanden als angenehm empfundene kinematische Bewegung analysiert wurde. Weitere kinematische Möglichkeiten wurden nicht untersucht.

Winchester et al.¹⁰ versuchten in ihrer Studie die supraspinalen Aktivierungsmuster bei vier männlichen Patienten nach incompletter Verletzung des Rückenmarks vor und nach einem robotergestützten Laufbandtraining mittels funktionellem MRT (fMRT) zu erfassen.

Das Training wurde drei Mal wöchentlich über einen Zeitraum von 12 Wochen durchgeführt. Als Geräte wurden der Lokomat[®] DGO und ein Woodway Laufband verwendet.

Bei allen Probanden zeigte sich im fMRT leichte Veränderungen im Blut-Sauerstoff-Level abhängigen (BOLD) Signal nach dem Laufbandtraining. Zudem zeigte das fMRT eine stärkere Aktivierung der sensomotorischen kortikalen Regionen (S1, S2) und zerebellärer Regionen.

Auch bei dieser Studie konnte eine Verbesserung der Gehgeschwindigkeit (2.0 km/h zu maximal 3.2 km/h), sowie eine Reduktion in der Körpergewichtsübernahme durch den Lastengurt (35%–55% auf 0%–44%) beobachtet werden.

Daraus wurde geschlossen, dass durch das Lokomat[®] Training die supraspinale Plastizität in den motorischen Zentren, welche bekanntermaßen an der Fortbewegung beteiligt sind, fördert. Zudem wird die Gangsicherheit durch die erhöhte Aktivierung der Zentren im Zerebellum verbessert.

Kritisch zu betrachten bei dieser Studie ist die niedrige Probandenanzahl (4), sowie die unterschiedliche Zeitspanne zwischen Verletzung und Intervention (14 Wochen bis 48 Monate).

Meyer-Heim et al.⁶ führten 2007 die erste Studie des robotergestützten Laufbandtrainings bei Kindern durch. Insgesamt teilnahmen in der Studie 26 Kinder mit unterschiedlichen Diagnosen wie Zerebralparese, traumatische Kopfverletzungen, Guillain-Barré Syndrom, inkomplette Paraplegie, hämorrhagischer Schock und Enzephalopathie. 24 der 26 Probanden beendeten die Studie.

Die Probanden wurden in zwei Gruppen eingeteilt. Gruppe 1 erhielt insgesamt 19 Mal das robotergestützte Laufbandtraining für jeweils 45 Minuten und zusätzliche physiotherapeutische Anwendungen, Gruppe 2 erhielt 12 Mal vorwiegend das Laufbandtraining für 25–45 Minuten ohne weitere Anwendungen.

In Gruppe 1 betrug die durchschnittlich zurückgelegte Strecke während einer Laufbandeinheit 649.1 m; in Gruppe 2 1158 m. Die Gehgeschwindigkeit verbesserte sich von 0.53 m/s zu 0.82 m/s ($P=.001$) in Gruppe 1 und von 0.87 m/s zu 1.09 m/s ($P=.001$) in Gruppe zwei. In Gruppe 1 wurde das Körpergewicht zu 38,2% übernommen; in Gruppe 2 zu 14.4%.

Das robotergestützte Laufbandtraining konnte also erfolgreich in die Rehabilitation bei Kindern integriert werden.

Kritisch anzumerken ist, dass die Probanden in Gruppe 1 homogener in Bezug auf Alter und Diagnose waren. Zudem wurde in der Studie keine Kontrollgruppe eingeführt und die Untersucher waren nicht verblindet.

Hornby et al.¹¹ veröffentlichten im Jahr 2007 eine randomisierte und kontrollierte Studie. Ziel war es die Effektivität des robotergestützten- (Lokomat[®]), gegenüber dem therapeutenassistierten Laufbandtraining zu untersuchen.

Die Daten wurden über einen Zeitraum von 2 Jahren an Schlaganfallpatienten erhoben deren Akutereignis mindestens 6 Monate zurück lag. Um möglichst homogene Gruppen zu erhalten wurde dem Randomisierungsverfahren eine auf die Ganggeschwindigkeit bezogene Zuordnung (<5 m/s und ≤ 8 m/s) vorgeschaltet.

Die Probanden beider Gruppen erhielten 12 Trainingseinheiten zu je 30 Minuten, am Lokomat[®], oder therapeutisch assistiert. Die Geschwindigkeit wurde von 2 km/h ausgehend im 10-Minutentakt, falls toleriert, um 0,5 km/h (s. Tab. 5).

Sowohl SG, als auch vor allem FG kann-

ten durch TA-Laufbandtraining vergleichsweise erfolgreicher gesteigert werden ($P=0.04$). Bei FG hat sich die Gewichtsübernahmedauer des betroffenen Beines durch TA verbessert ($P<0.01$). Im Bereich der klinischen Assessments waren keine nennenswerten Unterschiede zu verzeichnen, außer beim „Physical SF36“, diese wurden jedoch lediglich durch jene Patientengruppe, deren Ganggeschwindigkeit zu Beginn unter 5 m/s lag, bedingt.

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass das TA- dem RG-Laufbandtraining generell mehr oder minder überlegen ist und das gerade die „schwächeren“ Probanden besonders durch den Therapeuten profitierten.

2009 veröffentlichten Patten und Westlake¹² eine randomisierte Pilotstudie in der sich ebenfalls der Lokomat® am Therapeuten messen ließ.

Auch in dieser Studie lag das Schlaganfallsereignis über 6 Monate zurück. Innerhalb von 4 Wochen durchliefen die Probanden eine Trainingsphase von 12 Einheiten zu je 30 Minuten.

Als Messinstrumente kamen zum Einsatz: SG, FG, 6-Minuten-Distanztest, „step length ratio“ (SLR), „lower extremity Fugel-Meyer assessment“, „short physical performance battery“ und die Berg-Balance-Skala (BBS).

In den Ergebnissen zeigt sich bei der RG-Gruppe, im Gegensatz zur TA ein stärkerer Zuwachs der SG von 10 m/s ($p=0.04$). Ebenfalls verringerte sich in dieser Gruppe die Schrittlängendifferenz eindeutiger ($p=0.05$). Auch bei allen anderen Messungen schnitt die Gruppe welche die Trainingseinheiten mit dem Lokomat® absolvierte etwas besser ab ($p<0.05$). Die einzige Ausnahme stellten die Ergebnisse der BBS dar, mit welchen sich die TA-Gruppe, durch eine Verbesserung von (47 ± 7.0) auf (51 ± 5.4), deutlich abhebt ($p=0.02$).

Den Ergebnissen der Studie nach zu urteilen ist die Lokomattherapie der TA generell, vor allem aber in den Punkten, Steigerung der Ganggeschwindigkeit und -symmetrie überlegen, lediglich das Gleichgewicht wird vom Therapeuten besser beeinflusst.

Im Jahr 2000 veröffentlichten G. Colombo et al.¹³ eine von der Schweizer Firma Hocoma in Auftrag gegebene Studie. Das Ziel war es gewisse Erfahrungswerte, des damals gängigen Therapeuten assistierten Laufbandtrainings, mit den Vorteilen der „angetriebenen Gangorthese“, die später den Namen Lokomat® tragen sollte, zu vergleichen und dieser durch Evaluation zur Marktreife zu verhelfen.

Die 4 Probanden, darunter ein inkompletter Tetraplegiker sowie 3 Paraplegiker,

wurden keinen Assessments unterzogen.

Aus den Erfahrungswerten ergab sich, dass der Hauptvorteil des „Lokomatprototyps“ seine Unermüdbarkeit darstellt. Während der Therapeut nach ca. 10–15 Minuten bei ca. 1,5 km/h erschöpft ist, sind mit der „maschinellen Assistenz“ Trainingseinheiten von über einer Stunde, bei bis zu 3 km/h und exakter Repetition des Gangmusters, denkbar. Zum Status quo wurde die Trainingszeit durch mangelnde Fixierung der Orthesen limitiert.

Gerade bei Tetraplegikern stößt der Therapeut, im Gegensatz zur Maschine, schnell an seine Grenzen, da es ihm nicht möglich ist an Rumpf und Beinen gleichzeitig zu assistieren. So ist bei diesem Probanden, mittels der Orthese, eine Reduktion der Gewichtsabnahme von der Hälfte auf 1/4 des Körpergewichtes möglich.

Im Januar 2007 veröffentlichten L. Lüneburger, G. Colombo und R. Riener¹⁴ eine von der Hocoma AG in Auftrag gegebene Studie, deren Aufgabe es war ein kraftbasiertes Biofeedbacksystem für den Lokomat® zu validieren.

Die Validierung wurde an 3 gesunden Probanden, ohne neurologische Fehlsteuerung, vorgenommen. Die Probanden wurden angewiesen auf 3 verschiedene Arten in den Orthesen zu gehen:

1. passiv, ohne die Bewegungen zu unterstützen
2. aktiv, im selben Gangmuster wie von der Orthese vorgegeben
3. aktiv übertrieben

Dabei wurden die Gelenkstellung von Hüfte und Knie und deren Drehmoment mit einer Rate von 1 kHz gemessen.

Da nicht mit einem linearen Verhältnis der Werte zu rechnen war wurde der Spearmans Rangkorrelationskoeffizient verwendet. Während der Schwungphase ergab sich eine hohe Korrelation mit der vorgegebenen Aktivität (range $p=0.63-0.82$, mean $p=0.75$; $p<0.01$). Die Korrelation der Biofeedbackwerte während der Standphase war deutlich geringer (range $p = -0.75 - 0.68$, mean $p = -0.01$) da der Fuß-Laufbandkontakt und die Synchronisation von Laufband Orthese das Drehmoment der Gelenke passiv beeinflussen. Der Einfluss verstärkt sich mit erhöhter Ganggeschwindigkeit. Nach Berücksichtigung des Einflusses auf die Drehmomentwerte im Biofeedbackprogramm wurde die Korrelation deutlich erhöht. Nachfolgend wurden 6 weitere Probanden mit inkompletten Rückenmarksschaden 3 unterschiedlichen Trainingsphasen am Lokomat® unterzogen, einmal vom Therapeuten verbal angeleitet, mit Biofeedback und der Standardtherapie. Bei den ersten 2 Trainingsformen

war die Aktivität der Probanden vergleichbar und deutlich höher als bei der Standardtherapie.

Die Ergebnisse der Studie spiegeln wieder, dass durch Rückmeldung, ob durch Mensch oder Visualisierung, die Motivation zur Aktivität gesteigert werden kann. Des Weiteren kann der Patient selbstständig an der Qualität seine Bewegungsausführungen arbeiten. Die Trainingseinheiten können gespeichert und miteinander verglichen werden.

2009 beschreiben E. Moreh et al.¹⁵ die Wirkung des Lokomattrainings in Kombination mit konventioneller Rehabilitation bei einem 42jährigen Patienten mit Brown-Sequard-Syndrom, manifestiert unterhalb von T11.

Neben 15 Druckkammeranwendungen, medikamentöser Therapie sowie konventioneller Physiotherapie wurde 3 Monate nach dem Akutereignis mit der Lokomattherapie begonnen. 2 Mal wöchentlich absolvierte der Patient insgesamt 18 Trainingseinheiten. Als Assessments kamen zum Einsatz und verbesserten sich von Pre- zu Posttest um: ASIA-score C zu D, Spinal Cord Independence Measurement von 50 auf 90/100, Berg-Balance-Skala von 35 auf 43/56, Walking Index for Spinal Cord Injury von 1 auf 15/20.

Das Lokomattraining scheint einen positiven Einfluss auf die Rehabilitation der Dekompressionskrankheit zu haben.

3.2 Tabellarische Darstellung der Ergebnisse (s. Tab. 1)

3.3 Probleme und Chancen des robotergesteuerten Laufbandtrainings

Allein der stolze Anschaffungspreis von 200.000–300.000 €, für dieses Therapiegerät lässt darauf schließen, dass der Lokomat® in absehbarer Zeit nicht flächendeckend zum Einsatz kommen wird. Ginge es nach dem Bedürfnis der Patienten, könnte sich die Anschaffung eines Lokomats® schon für eine größere neurologisch orientierte Praxis lohnen, da diese Therapie jedoch (noch) nicht Bestandteil der vertragsärztlichen Versorgung ist, gibt es bei der Kostenübernahme häufig Probleme. Dennoch wurde der Lokomat® bereits ca. 250 Mal verkauft und findet in neun deutschen Häusern Verwendung.

Abgesehen von Marketing-strategischen Vorteilen, die man sich von dieser Anschaffung versprechen kann, hat die Maschine im Vergleich zum Menschen den entscheidenden Vorzug, dass sie nicht ermüdet. In der Praxis des therapeutisch assistierten Laufbandtrainings stellt nicht der Patient sondern der Therapeut den limitierenden Faktor dar, davon werden für die Therapie in der

Tab. 1: Tabellarische Darstellung der bearbeiteten Studien

Autoren	Patienten	Intervention	Ergebnisse
Mayr et al.⁷	16 Patienten mit Schlaganfall; ± 3 Monate seit Schlaganfall	A: ABA B: BAB A = 3 Wochen Lokomat® Training B = 3 Wochen konventionelle Physiotherapie	Verbesserung bei: <ul style="list-style-type: none"> ■ Rivermead Assessment Scale ■ EU-Walking Scale ■ 6 Minuten Distanztest ■ Medical Research Council Scale of strength ■ Ashword scale of tone
Husemann et al.⁸	30 Patienten mit Schlaganfall; 28–200 Tage seit Schlaganfall	A: 30 Minuten Physiotherapie und 30 Minuten Lokomat® Training B: 60 Minuten Physiotherapie	<ul style="list-style-type: none"> ■ längere Standbeinphase bei A ■ Erhöhung des Körperfettanteils bei B ■ Senkung des Körperfettanteils bei A ■ Erhöhung der Muskelmasse bei A ■ kein Unterschied bei 10 m Gehstest, Schrittkadenz, Schrittdauer
Hidler et al.⁹	6 Probanden; gesund, jung	Kinematische Analyse mittels Codamotion Markern und Visual 3D Software im Lokomat® und ohne Lokomat® auf dem Laufband	Im Lokomat®: <ul style="list-style-type: none"> ■ ROM und max. DE im OSG größer ■ ROM und max. Ext. im Hüftgelenk größer ■ stärkste PF im OSG 11.7% früher im Gangzyklus ■ kein Unterschied beim Kniegelenk ■ Malalignment: Knie 2cm, Hüfte 4cm
Winchester et al.¹⁰	4 männliche Patienten mit inkomplettem Querschnitt	Erfassung der supraspinalen Aktivierungsmuster mittels fMRT nach robotergestütztem Laufband- training	Nach Lokomat®: <ul style="list-style-type: none"> ■ Veränderungen im BOLD Signal ■ stärkere Aktivierung der sensomotorisch kortikalen Regionen (S1, S2) ■ stärkere Aktivierung zerebellärer Regionen ■ Verbesserung der Gehgeschwindigkeit ■ Reduktion der Lastabnahme durch den Gurt
Meyer-Heim et al.⁵	26 Kinder mit unterschiedlichen Erkrankungen	A: 19 Einheiten robotergestütztes Laufbandtraining und Physio- therapie B: 12 Einheiten robotergestütztes Laufbandtraining	<ul style="list-style-type: none"> ■ Verbesserung der Gehgeschwindigkeit: A: 0.53 zu 0.82m/s; B: 0.87 zu 1.09m/s ■ Körpergewichtsübernahme: A: 38.2%; B: 14.4%
Hornby et al.¹¹	48 Probanden, mind. 6 Monate nach Schlaganfall	A: 12 x 30 min. therapeutisch assistiert B: 12 x 30 min. Lokomat®	<ul style="list-style-type: none"> ■ Verb. selbst gewählte Ganggeschwindigkeit A: 0.43 zu 0.56m/s B: 0.45 zu 0.52m/s ■ Verb. forcierte Ganggeschwindigkeit A: 0.60 → 0.73m/s B: 0.59 → 0.65m/s ■ Physical SF36 A: 41 → 45; B: 45 → 44
Patten et al.¹²	16 Probanden, mind. 6 Monate nach Schlaganfall	A: 12 x 30min. therapeutisch assistiert B: 12 x 30min. Lokomat®	<ul style="list-style-type: none"> ■ Gruppe B schneidet bei allen Assessments unsignifikant besser ab, jedoch Auffälligkeiten bei Berg-Balance-Skala (max. 56): A: 47 → 51; B: 46.9 → 48.3
Colombo et al.¹³	3 Paraplegiker (inkomplett) 1 Tetraplegiker (inkomplett)	“trial and error” Evaluation der Technik	<ul style="list-style-type: none"> ■ Längere Trainingseinheit noch durch mangelnde Fixierung der Orthesen eingeschränkt ■ Beim Tetraplegiker Unterstützung des Körpergewichts von 1/2 auf 1/4 herabgesetzt
Colombo et al.¹⁴	3 gesunde Probanden 6 Probanden mit inkomplettem Rückenmarksschaden	1. Validierung Biofeedbacksystem 2. Biofeedback:Motivation A: verbal angeleitet B: Biofeedback C: Standardtheapie	2. Bei A+B vergleichbare und deutlich höhere Aktivität als bei C
Moreh et al.¹⁵	Proband mit Brown-Sequard Syn- drom	18 Trainingseinh. Lokomat®, 2 x wöch.	ASIA-score: C → D SCIM: 50 → 90/100 BBS: 35 → 43/56 WISC: 1 → 15/20

Regel zwei benötigt, die aus meist unphysiologischen Positionen repetitive Bewegungen auszuführen haben. Für die Lokomattherapie bedarf es lediglich einem Therapeuten, der theoretisch, neben an- und ablegen der Orthesen, viel Freiraum für andere Tätigkeiten hat, da das Biofeedback-Programm die „Restbeschäftigung“ des Anleitens übernehmen kann. In anbetracht dieser Tatsache und im Zusammenhang mit der „Monopolstellung“, die man mit dieser Anschaffung erlangt, besteht die Gefahr der Entmenschlichung der Therapie. Ebenso ist das Risiko der Proletarisierung des Therapeuten gegeben, da das Gerät eine große Entlastung darstellt, aber auch ein verstärktes Abhängigkeitsverhältnis schafft.

4. Diskussion, Limits und Schlussfolgerung

Das robotergestützte Laufbandtraining mittels Lokomat hat sich in den letzten Jahren im Bereich der Rehabilitation, vor allem in der neurologischen Rehabilitation, etabliert. Zahlreiche Pilotstudien und Studien mit geringer Probandenanzahl existieren bereits und wurden in diesem Review verarbeitet. Wie bereits erwähnt fehlt es an RCT Studien mit großer Probandenanzahl.

In der Mehrzahl der gesichteten Studien wurden dem robotergestützten Laufbandtraining im Vergleich zur konventionellen Fazilitation durch einen Therapeuten Vorteile zugeschrieben. Eine Studie sah dennoch die manuelle, therapeutische Assistenz als überlegen an. Die Hauptvorteile, welche in den meisten Studien aufgeführt wurden waren die längere Assistenzmöglichkeit mit Hilfe der Orthese im Vergleich zur manuellen Hilfestellung und die Möglichkeit der Fazilitation bzw. Gangstabilisierung bei einer höheren Gehgeschwindigkeit. Hier ist die Fazilitation durch einen Therapeuten meist auf ca. 1,5 km/h limitiert.

Bei der Lokomatorthese[®] zeigten sich Probleme bei der Simulation des normalen Gangbildes, vor allem die Hüftinnenrotation während der Standbeinphase betreffend. Hier wurde das Bein durch die Orthese in eine axiale, eindimensionale Flexion-Extension Bewegung gezwungen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass robotergestütztes Laufbandtraining sich zu Recht in der Physiotherapie etabliert hat; jedoch gezielt eingesetzt werden muss und die therapeutische Fazilitation in manchen Fällen nicht ersetzen kann. Vor allem bei schwachen Patienten und bei Patienten mit komplexen Abweichungen vom physiologischen Gangbild muss die Hilfestellung von einem Therapeuten übernommen werden.

Weitere Entwicklungsarbeit ist nötig um das komplexe physiologische Gangbild in allen Gangphasen noch besser simulieren und unterstützen zu können.

Um über die Effektivität noch bessere Aussagen treffen zu können sind weitere Studien nötig. Zudem sollten Erhebungen über die Effizienz durchgeführt werden um eventuelle ökonomische Über- oder Unterlegenheiten des robotergestützten Laufbandtrainings darzustellen.

Abbildungsverzeichnis

Abb 1: <http://www.klinikum.uni-muenchen.de/Kinderklinik-und-Kinderpoliklinik-im-Dr-von-Haunerschen-Kinderspital/de/ambulanzen/neuropaediatric/lokomotionstherapie/index.html> am 13.12.2010

Abb. 2: <http://www.hocoma.com/produkte/lokomat/> am 13.12.2010

Literaturverzeichnis

- ¹ Borggraeve I, Klaiber M, Schuler T, Warken B, Schroeder SA, Heinen F, Meyer-Heim A.; Safety of robotic-assisted treadmill therapy in children and adolescents with gait impairment: a bi-centre survey. Dev Neurorehabil. 2010;13(2):114-9.
- ² Borggraeve I, Kiwull L, Schaefer JS, Koerte I, Blaschek A, Meyer-Heim A, Heinen F.; Sustainability of motor performance after robotic-assisted treadmill therapy in children: an open, non-randomized baseline-treatment study. Eur J Phys Rehabil Med. 2010 Feb 18.
- ³ Borggraeve I, Schaefer JS, Klaiber M, Dabrowski E, Ammann-Reiffer C, Knecht B, Berweck S, Heinen F, Meyer-Heim A.; Robotic-assisted treadmill therapy improves walking and standing performance in children and adolescents with cerebral palsy. Eur J Paediatr Neurol. 2010 Feb 5.
- ⁴ Borggraeve I, Kumar A, Schäfer JS, Berweck S, Meyer-Heim A, Heinen F. Roboter-gestütztes Laufbandtraining für Kinder mit zentralen Gangstörungen. Monatsschrift Kinderheilkunde 2007;155:529-534.
- ⁵ Borggraeve I, Meyer-Heim A, Kumar A, Schaefer JS, Berweck S, Heinen F. Improved gait parameters after robotic-assisted locomotor treadmill therapy in a 6-year-old child with cerebral palsy. Mov Disord 2007.
- ⁶ Meyer-Heim A, Borggraeve I, Ammann-Reiffer C, Berweck S, Sennhauser FH, Colombo G, et al. Feasibility of robotic-assisted locomotor training in children with central

gait impairment. Dev Med Child Neurol 2007;49(12):900-6.

- ⁷ Mayr A, Kofler M, Quirbach E, Matzak H, Fröhlich K, Saltuari L. Prospective, Blinded, Randomized Crossover Study of Gait Rehabilitation in Stroke Patients Using the Lokomat Gait Orthosis. Neurorehabilitation an Neural Repair 2007;21:307-14
- ⁸ Husemann B, Müller F, Krewer C, Heller S, Koenig E. Effects of locomotion training with assistance of a robot-driven gait orthosis in hemiparetic patients after stroke: a randomized controlled pilot study. Stroke. 2007 Feb;38(2):349-54.
- ⁹ Hidler J, Wisman W, Neckel N. Kinematic trajectories while walking within the Lokomat robotic gait-orthosis. Clin Biomech (Bristol, Avon). 2008 Dec;23(10):1251-9.
- ¹⁰ Winchester P, McColl R, Querry R, Foreman N, Mosby J, Tansey K, Williamson J. Changes in supraspinal activation patterns following robotic locomotor therapy in motor-incomplete spinal cord injury. Neurorehabil Neural Repair. 2005 Dec;19(4):313-24.
- ¹¹ Hornby G, Campbell D, Kahn J, Demott T, Moore J, Roth H. Enhanced gait-related improvements after therapist- vs. robotic-assisted locomotor training in subjects with chronic stroke. Stroke. 2008;39:1768-1792.
- ¹² Patten C, Westlake K. Pilotstudy of Lokomat vs. manual-assisted treadmill training for locomotor recovery post-stroke. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation 2009.
- ¹³ Colombo G, Joerg M, Schreier R, Diez V. Treadmill training of paraplegic patients using robotic orthosis. Journal of Rehabilitation Research and Development 2000; Vol. 37 No. 6.
- ¹⁴ Colombo G, Lünenburger L, Riener R. Biofeedback for robotic gait rehabilitation: review. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation 2007, 4:1.
- ¹⁵ Moreh E, Meiner Z, Neeb M, Hiller N, Schwarz I. Spinal decompression sickness presenting as partial Brown-Sequard Syndrome and treated with robotic-assisted body-weight support treadmill training. J Rehabil Med 2009; 41: 88-89.

Anschrift des Verfassers

Michael Brüderlin B.Sc.
Reha Zentrum Brüderlin
Forschungs- und Bildungszentrum Brüderlin
Ulrichstraße 21, 73033 Göppingen
www.bruederlin.de