

Ambulatory rehabilitation in patients with spinal cord injury: A clinical perspective

Citation for published version (APA):

Wirz, M. (2013). *Ambulatory rehabilitation in patients with spinal cord injury: A clinical perspective*. [Doctoral Thesis, Maastricht University]. Datawyse / Universitaire Pers Maastricht. <https://doi.org/10.26481/dis.20130405mw>

Document status and date:

Published: 01/01/2013

DOI:

[10.26481/dis.20130405mw](https://doi.org/10.26481/dis.20130405mw)

Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.umlib.nl/taverne-license

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

repository@maastrichtuniversity.nl

providing details and we will investigate your claim.

English summary

Deutsche Zusammenfassung

ENGLISH SUMMARY

This dissertation addresses ambulatory rehabilitation in patients with a spinal cord injury (SCI). Topics covered include neurophysiology, assessment of walking capacity and ambulatory training.

Chapter 1 will introduce a background on the spinal cord's anatomy and physiology as well as classification, causes and epidemiological data of SCI. The spinal cord and the brain make up the central nervous system. The spinal cord is involved in the transmission of information between the brain and peripheral organs. In addition, the spinal cord contains its own neural circuitry with the ability to control and generate elementary movements strongly involved in the walking function. These locomotor centers are the focal point of ambulatory training in patients with SCI.

An SCI results in a partial or complete impairment of motor, sensory and autonomic functions. The classification of an SCI is based on a standardized clinical neurological examination (International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury- ISNCSCI) and defines the neurological level and the completeness of the SCI. An injury in the cervical spinal cord or the first thoracic segment leads to a *tetraplegia* while lesions below lead to a *paraplegia*. According to the *Impairment Scale* of the American Spinal Injury Association (ASIA) the completeness of the SCI ranges from A (complete SCI) to E (restitution ad integrum). In addition to tetraplegia and paraplegia, special forms of clinical presentations can be found depending on the location and extent of the spinal cord lesion. A SCI can be the result of either a severe trauma or a non-traumatic event. The condition can also be congenital. The most frequent occurring traumatic SCI is an incomplete tetraplegia.

After an acute SCI patients undergo a multidisciplinary rehabilitation whose primary aim is to maximize patients' independence in performing daily life activities and participating in life situations. Lost functions are substituted using compensatory strategies. Preserved functions such as voluntary muscle contraction in the legs are most impaired directly after the onset of the SCI. As a consequence of targeted rehabilitation training and spontaneous recovery processes these deficits become reduced. Ambulatory training is a main focus of physiotherapeutic interventions. With a supported program of ambulatory function training, spinal locomotor centers can be activated even in patients with severe pareses. For this purpose rehabilitation robots are applied. When patients eventually start to regain some voluntary control of their leg movements, the support can gradually be reduced. If during the period of impaired mobility the locomotor system will not be used a secondary worsening by maladaptive plasticity takes place, it may be expressed by a decreased activity of the spinal locomotor centers.

Chapter 2 comprises a study where the long term effects of a locomotor training in patients with incomplete and complete SCI were investigated. Patients underwent a supported ambulatory training on a treadmill. Support consisted of partial body-weight unloading and leg movement assistance. As a result of the training electromyographic (EMG) activity of M. gastrocnemius increased in both groups of patients. In addition, ambulatory capacity was recovered in patients with incomplete SCI. During a period of more than three years after training, the level of leg extensor EMG remained about constant in incomplete SCI in those who regularly maintained locomotor activity. By contrast, the EMG fell in those with complete SCI.

The results suggest a training-induced plasticity of neuronal centers in the isolated spinal cord. Ambulatory training activated these centers. Once the training and non-use of the ambulatory function ceased, activity decreased.

The study in **Chapter 3** includes a longitudinal analysis on the association between neurological deficit (motorscore) and walking function in three patient groups with SCI. Group allocation was based on measurements taken at the beginning of rehabilitation: A, motor complete; B, motor incomplete, non-walking; C, motor incomplete and able to stand. In addition, we performed a cross-sectional analysis evaluating the influence of neurological level of injury on ambulatory capacity in two groups of patients: group 1 with limited walking; and group 2 with unrestricted walking function 6 months after SCI. The analyses revealed that only few patients of group A showed modest recovery of motor and walking function. In contrast we observed in group B that markedly more patients recovered and this to a greater extent. Even more pronounced recovery was observed in all patients of group C. The results showed that in groups B and C, the improvement of walking function was greater than improvements in motor score. The cross-sectional analysis showed that patients with tetraplegia required more muscle strength to achieve an equal walking function compared with patients with paraplegia.

The conclusions of this study are that neurological deficit and walking ability are linearly associated. A combined assessment of both components (i.e. body functions and activities) is important to comprehensively assess the functioning of patients e.g. for the evaluation of the effectiveness of any new interventional therapy.

Chapter 4 contains a retrospective study in which the time-course of neurological deficit (i.e. muscle function); activities (i.e. walking function and daily life activities); impulse conductivity; and rehabilitation length of stay in subjects with central cord syndrome (CCS) and Brown-Séquard syndrome (BSS) were compared. Both syndromes represent a special form of incomplete SCI. In humans the BSS is relatively rare compared to CCS. In basic science, a hemi section of the spinal cord is a frequently used animal model for SCI. In contrast to the assumption of a better out-

come for subjects with BS, no difference was found between the two incomplete SCI groups.

The findings are of interest with respect to the different potential mechanisms leading to a recovery of functions in these two SCI subgroups. This study included two distinct subgroups of SCI patients. The inclusion of a sufficient number of patients was only made possible by the collaboration of multiple SCI rehabilitation centers within the European Multicenter Study about Spinal Cord Injury (EMSCI).

Chapter 5 includes an evaluation of four walking capacity tests for patients with SCI: Walking Index for Spinal Cord Injury (WISCI II), the 6 minute walk test (6MinWT), 10 meter walk test (10MWT) and the timed up and go (TUG) test. We investigated which of the 20 categories of the WISCI II were applied to SCI subjects who participated in the European Multicenter Study of Human Spinal Cord Injury (EM-SCI) and the relationship between the 10MWT and the TUG. The walking tests were applied 2 weeks and 1, 3, 6 and 12 months after SCI. In addition, we compiled positive and negative aspects of the respective walking tests. The analysis showed that only five categories of the WISCI II described 71% of the walking abilities. This indicates that some categories of the WISCI II are redundant, while some discriminate to an insufficient degree. In addition, there appear to be ceiling effects. The 10MWT correlated excellently with the TUG at each time point.

We conclude from this study that the 10MWT appears to be the best tool to assess walking capacity in SCI subjects. Additional valuable information is provided by assessing the needs for walking aids or personal assistance. To ensure that the tests are reliably assessed in the different centers, proposals for standardized instructions are presented.

In **chapter 6** we evaluated a clinical measurement. It assesses the risk for falls in patients with SCI who regained the ability to walk after their rehabilitation. Based on the literature these patients are at an increased risk for falls. If this risk could validly be measured a targeted fall prevention program might reduce future falls. For the study 42 patients were tested using the Berg Balance Scale (BBS). It has been shown that this test is associated with a risk for falls in the elderly. For the evaluation of the validity, the values of the BBS were compared to experienced falls and other variables.

The study revealed that also the included patients experienced an increased number of falls. However, the BBS was unable to discriminate between people who did fall and people who did not fall. Only falls in the past were associated with future falls. The inter-tester reliability which was also addressed in this study proved to be high. The evaluation of the simultaneously assessed fear of falling showed that patients with impaired balance have adapted to their condition and thus behave accordingly.

In **chapter 7** we collected important aspects of the development and implementation of rehabilitation robots. These encompass the needs of patients, users (therapists) and the safe operation. The applications in an institution or at home are discussed. Rehabilitation robots should allow for a targeted training which is based on motor learning principles. Robotic devices have to be adjustable to a wide range of anthropometric properties and to the amount and the characteristics of their impairment. Technical devices allow for longer training sessions. The associated increased training load should not result in adverse events e.g. skin breakdown. The user-friendliness of the robot's human-machine interface consisting of the mechanical, control and feedback interfaces determines whether a device becomes integrated in the rehabilitation program. An inherent advantage of the more complex rehabilitation robots is their ability to use angular and force sensor signals for assessment and documentation. Based on such measurements training parameters can be adjusted to the actual ability of a given patient. In addition these values can be fed back to the patient to encourage his participation.

The collaboration between engineers and experienced clinicians (e.g. physiotherapists) is important for the successful development of rehabilitation robots.

The study presented in **chapter 8** evaluated the effectiveness of a robot assisted ambulatory training in patients with incomplete SCI who were not able or only partially able to walk. Patients were placed in a harness on a treadmill in an upright position with their body weight partially supported. The robot itself comprised an orthosis which was attached to the pelvis and both legs. Drives actuated the hip and knee joints supported leg movements during walking. In this study patients whose SCI occurred at least two years ago were trained. We observed an improved walking ability after eight weeks of training. Patients who were most severely affected profited most.

The study showed that the robot can be used to train and improve walking function even after spontaneous recovery has been completed.

Chapter 9 describes the protocol of a study. Similar to the study in chapter 8 it investigates the effectiveness of a robot assisted ambulatory training. The goal of the study is the evaluation of training intensity in patients with acute incomplete SCI. It is a randomized, controlled, multicenter study design. The trainings of the intervention group last at least 50 minutes while those of the control group last a maximum of 25 minutes. The walking ability after eight weeks of training and the occurrence of adverse events during the training period will be measured and evaluated.

The discussion in **chapter 10** comprises four parts: SCI, ambulatory rehabilitation, rehabilitation robots and assessments. An SCI is a clearly defined syndrome und

English summary

occurs rarely. The extent of such a lesion depends on the level of the lesion and may be of more or less severity. Accordingly, patients with an SCI have a wide range of impairment and activity limitations. The collaboration of multiple rehabilitation centers is essential for the conduction of valid studies especially when including certain subgroups. Ambulatory rehabilitation and the application of rehabilitation robots are typical examples of how scientific findings become integrated into clinical applications and, vice versa, physiotherapeutic interventions are subjected to scientific evaluation. The assessment and documentation of functioning and training progress using valid and reliable clinical measurements form the basis of this process.

The results and conclusions arising from the study of the ambulatory rehabilitation may be relevant in the near future when new interventions that elicit (partial) regeneration of damaged nerves are applied in combination with walking training.

DEUTSCHE ZUSAMMENFASSUNG

Diese Dissertation befasst sich mit der Rehabilitation der Gehfähigkeit bei Patienten mit Querschnittlähmung. Sie beinhaltet die Bereiche: neurophysiologischen Grundlagen, das Messen der Gehfähigkeit sowie das Gehtraining selbst.

Kapitel 1 ist die Einführung und vermittelt die Grundlagen für das Thema. Es behandelt Anatomie und Physiologie des Rückenmarks sowie Klassifikation, Ursachen und Epidemiologie der Querschnittlähmung.

Das Rückenmark zählt zusammen mit dem Gehirn zum Zentralnervensystem. Neben der Weiterleitung von Nervenimpulsen zwischen Gehirn und Peripherie können im Rückenmark lokalisierte *Lokomotionszentren*, angeregt durch adäquate afferente Signale, koordinierte Bewegungen erzeugen. Dieses Phänomen ist eine der Grundlagen für das Lokomotionstraining bei Patienten mit inkompletter Querschnittlähmung.

Durch eine Querschnittlähmung werden die Funktionen der Motorik, Sensibilität und des vegetativen Nervensystems teilweise oder vollständig beeinträchtigt. Die Klassifikation der Querschnittlähmung basiert auf einer standardisierten, klinisch-neurologischen Untersuchung (International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury- ISNCSCI) und beinhaltet Ort und Ausmass der Schädigung. Eine Läsion des zervikalen Rückenmarks oder des ersten thorakalen Segments führt zu einer *Tetraplegie*, Verletzungen darunter zu einer *Paraplegie*. Das Ausmass der Rückenmarksverletzung wird gemäss *Impairment Scale* der American Spinal Injury Association (ASIA) unterteilt. Diese Skala reicht von A (komplette Lähmung) bis E (vollständige Erholung). Abhängig vom Ort der Schädigung werden neben Tetraplegie und Paraplegie weitere klinische Syndrome unterschieden. Eine Querschnittlähmung kann durch Unfall oder Krankheit erworben werden, aber auch angeboren sein. Die häufigste Form einer unfallbedingten Querschnittlähmung ist die inkomplette Tetraplegie.

Nach einer Querschnittlähmung werden Patienten einer *multidisziplinären Rehabilitation* zugewiesen. Das Ziel der Rehabilitation ist, dass die Betroffenen ihre möglichst grosse Selbständigkeit und Partizipation wiedererlangen. Verlorene Funktionen werden durch kompensatorische Massnahmen ersetzt. Erhaltene Funktionen, z.B. Willkürmotorik in den Beinen durch gezieltes Training gefördert. Sie sind direkt nach der Querschnittlähmung am stärksten ausgeprägt. Durch Training und spontane Erholungsprozesse bilden sich viele dieser Funktionsdefizite im Verlauf der Rehabilitation wieder zurück. Dabei ist das Training der Gehfähigkeit eines der Schwerpunkte der physiotherapeutischen Interventionen. Die beim Gehen involvierten spinalen Lokomotionszentren können bei Patienten mit ausgeprägten Pare-

sen durch unterstütztes Gehtraining aktiviert werden. Dabei kommen auch Rehabilitationsroboter zum Einsatz. Mit zunehmender Erholung wird die Unterstützung stufenweis abgebaut. Fehlende Reize bzw. fehlendes Training führen im Sinne einer unerwünschten Adaptation zu einer Abnahme der Aktivität dieser Zentren.

In **Kapitel 2** wurden die Langzeiteffekte des Lokomotionstrainings bei Patienten mit inkompletter und kompletter Querschnittlähmung untersucht. Dazu haben die Patienten ein unterstütztes Gehtraining auf einem Laufband durchgeführt und gleichzeitig die Muskelaktivität gemessen. Unterstützt wurde das Training durch teilweise Körpergewichtentlastung und Assistenz der Beinbewegungen. Während des Trainings stieg in beiden Patientengruppen die EMG-Aktivität des M. gastrocnemius medialis an. Patienten mit inkompletter Querschnittlähmung verbesserten gleichzeitig ihre Gehfähigkeit. In den drei Jahren nach Beendigung des Trainings blieb die EMG-Aktivität bei Patienten mit inkompletter Querschnittlähmung, die regelmässig gingen, ungefähr konstant. Im Gegensatz dazu nahm die EMG-Aktivität bei Patienten mit kompletter Querschnittlähmung wieder ab.

Die Resultate deuten auf eine durch das Training ausgelöste Plastizität von neuronalen Zentren im isolierten Rückenmark hin. Das Training aktivierte diese Zentren. Nach Beenden des Trainings und Nichtgebrauch der Gehfunktion nahm die Aktivität ab.

Bei der Studie in **Kapitel 3** haben wir mit einem Längsschnitt-Ansatz untersucht, wie neurologisches Defizit (Muskelfunktion) und Gehfähigkeit in drei Gruppen von Patienten mit Querschnittlähmung zusammenhängen. Die Gruppeneinteilung erfolgte aufgrund von Messungen zu Beginn der Rehabilitation. Gruppe A: motorisch komplett; Gruppe B: motorisch inkomplett, nicht stehfähig; Gruppe C: motorisch inkomplett und stehfähig. Zudem untersuchten wir in einer Querschnitt-Analyse den Einfluss der neurologischen Läsionshöhe auf die Gehfähigkeit in zwei Patientengruppen: 1. beeinträchtigte- und 2. Nicht beeinträchtigte Gehfähigkeit sechs Monate nach Unfall. Die Resultate der Längsschnitt-Studie zeigten, dass nur wenige Patienten der Gruppe A sich bezogen auf Motorik und Gehfähigkeit gering erholten. Im Gegensatz dazu fanden wir, dass sich in Gruppe B deutlich mehr Patienten und in grösserem Ausmass erholten. Noch deutlichere Erholungen wurden bei allen Patienten der Gruppe C beobachtet. Zudem zeigten die Resultate, dass in den Gruppen B und C die Erholung der Gehfähigkeit grösser war, als die des motorischen Defizits. Die Querschnitt-Analyse zeigte, dass Patienten inkompletter Tetraplegie mehr Kraft in den unteren Extremitäten benötigten, um die gleiche Gehfähigkeit zu erreichen wie Patienten mit Paraplegie.

Die Studie macht deutlich, dass neurologische Defizite und Gehfähigkeit nicht in einer eindeutigen Beziehung zueinander stehen. Die Erfassung beider Komponenten

(d.h. Körperfunktionen und Aktivitäten) ist wichtig, damit die Funktionsfähigkeit, z.B. im Rahmen von Interventionsstudien, ausreichend erfasst wird.

Kapitel 4 beinhaltet eine retrospektive Studie, bei der die Verläufe des neurologischen Defizits (Muskelfunktion), der Aktivitäten (Gehfähigkeit und Aktivitäten des täglichen Lebens), der Impulsleitung (somatosensorisch evozierte Potentiale) und der Rehabilitationsdauer zwischen Patienten mit zentromedullärem Syndrom (ZMS) und Brown-Séquard Syndrom (BSS), beides eine Form einer inkompletten Tetraplegie, verglichen wurden. Beim Menschen ist das BSS im Vergleich zum ZMS selten. In der Grundlagenforschung jedoch ist die dem BSS entsprechende spinale Hemisektion ein häufig studiertes Verletzungs-Modell der Querschnittlähmung. Messungen wurden ein und sechs Monate nach dem Ereignis erhoben. Im Widerspruch zur Annahme, dass sich Patienten mit BSS besser erholen würden, unterschied sich keine der gemessenen Variablen zwischen den Gruppen.

Da den beiden Gruppen unterschiedliche Schädigungen zugrunde liegen, ist es wahrscheinlich, dass andere Mechanismen zu den beobachteten Erholungen führten. Diese Studie untersuchte zwei spezifische Patienten-Untergruppen. Eine genügende Anzahl Patienten einschließen zu können war nur durch die Zusammenarbeit mehrerer Rehabilitationszentren im Rahmen der European Multicenter Study about Spinal Cord Injury (EMSCI) möglich.

Das **Kapitel 5** befasst sich mit den vier klinischen Tests zur Erfassung der Gehfähigkeit von Patienten mit Querschnittlähmung, die im EMSCI Netzwerk standardmässig eingesetzt werden: 1. Walking Index for Spinal Cord Injury II (WISCI II); 2. 6-Minuten Gehstest (6MinWT); 3. 10-Meter Gehstest (10MWT) und 4. Timed-Up-And-Go Test (TUG). Wir untersuchten, welche der 20 Kategorien des WISCI II die Gehfähigkeit der Patienten des EMSCI Netzwerks abbildeten sowie den Zusammenhang zwischen 10MWT und TUG. Die Messungen wurden 2 Wochen sowie 1, 3, 6 und 12 Monate nach Eintritt der Querschnittlähmung erhoben. Zusätzlich wurden positive und kritische Aspekte aller Tests zusammengestellt. Die Analyse zeigte, dass nur fünf Kategorien des WISCI II bereits 71% der Gehfähigkeit beschrieben. Das deutet darauf hin, dass einige der Kategorien redundant sind oder nicht genügend zu unterscheiden vermögen. Ausserdem zeigte sich ein Deckeneffekt. 10MWT und TUG korrelierten zu jedem Zeitpunkt sehr stark. Dieser Zusammenhang änderte sich zwar im Verlauf, blieb aber hoch.

Die Schlussfolgerung dieser Studie ist, dass mit dem 10MWT sowie der Beschreibung der benötigten Gehhilfsmittel und Assistenz durch Hilfspersonen die Gehfähigkeit ausreichend dokumentiert werden kann. Damit die Tests in den verschiedenen Zentren einheitlich durchgeführt werden können, wurde dieses Kapitel mit einer standardisierten Instruktion für die Durchführung ergänzt.

Wie Kapitel 5 befasst sich auch das **Kapitel 6** mit einem klinischen Test. Es ging dabei um die Testung des Sturzrisikos von Patienten mit Querschnittlähmung, die nach Abschluss der Rehabilitation ihre Gehfähigkeit wieder erlangten. Entsprechend anderer Studien haben diese Patienten ein deutlich erhöhtes Sturzrisiko. Wenn dieses gemessen werden könnte, liessen sich künftige Stürze durch geeignete Massnahmen verhindern. Für die Untersuchung wurden 42 Patienten mit der Berg Balance Skala (BBS) getestet. Das ist ein Test, mit dem bei älteren Patienten das Sturzrisiko ermittelt werden kann. Zur Evaluation der Testzuverlässigkeit wurden die BBS-Werte mit den tatsächlichen Stürzen und weiteren Variablen verglichen.

Die Studie zeigte, dass auch die eingeschlossenen Patienten vermehrt stürzten, die BBS dieses Sturzrisiko aber nicht anzuzeigen vermochte. Einzig Stürze in der Vergangenheit waren prädiktiv für künftige Stürze. Die gleichzeitig evaluierte Inter-tester-Reliabilität war hoch. Messungen der Sturzangst deuteten darauf hin, dass sich Patienten ihres Sturzrisikos bewusst waren und sich entsprechend weniger risiko-reich verhielten.

In **Kapitel 7** werden wichtige Aspekte für die Entwicklung und Einführung von Rehabilitations-Robotern behandelt. Diese betreffen die Bedürfnisse von Patienten und Therapeuten sowie die technische Sicherheit. Es werden Roboter für die Anwendung in einer Institution und zu Hause diskutiert. Rehabilitationsroboter sollen ein gezieltes und den Prinzipien des Motorischen Lernens entsprechendes Training ermöglichen. Dabei müssen die Geräte an die unterschiedlichen Defizite und anthropometrischen Variablen der Patienten angepasst werden können. Das erst durch den Einsatz von Robotern mögliche längere Training darf zu keinen unerwünschten Wirkungen wie z.B. Hautschäden führen. Benutzerfreundlichkeit der mechanischen Elemente und der Steuerungssoftware sind entscheidend dafür, dass die Geräte in die Rehabilitation integriert und regelmässig angewendet werden. Ein Vorteil komplexer Rehabilitationsroboter sind ihre Sensoren, mit denen die Defizite und die Trainingsfortschritte gemessen und dokumentiert werden können. Solche Messungen dienen auch der Anpassung der Trainingsparameter an den jeweils aktuellen Zustand. Zudem können die ermittelten Werte im Sinne eines Feedbacks verwendet werden, um die Motivation fördern.

Die Zusammenarbeit zwischen Ingenieuren und erfahrenen Klinikern (z.B. Physiotherapeuten) ist die Voraussetzung für die erfolgreiche Entwicklung von Rehabilitationsrobotern.

Die Studie in **Kapitel 8** evaluierte die Effektivität eines durch Roboter assistiertes Gehtraining von nicht oder teil-gehfähigen Patienten mit inkompletter Querschnittlähmung. Diese wurden mit Hilfe eines Traggurts in aufrechter Position auf ein Laufband positioniert. Dabei wurde ein Anteil des Körpergewichts entlastet. Der Roboter selbst bestand aus einer Orthese, die an Becken und Beinen des Patienten fixiert

wurde. Motoren an Hüft- und Kniegelenken unterstützten oder übernahmen die Gehbewegungen beim Training. Für die Studie wurden Patienten, deren Querschnittslähmung mindestens zwei Jahre zurücklag, trainiert. Nach acht Wochen Training zeigte sich eine Verbesserung der Gehfähigkeit. Dabei profitierten die Patienten mit den deutlichsten Defiziten am meisten.

Mit der Studie konnte gezeigt werden, dass bei Patienten mit abgeschlossener spontaner Erholung Gehroboter zur Verbesserung einer anfangs stark eingeschränkten Gehfähigkeit eingesetzt werden können.

Das **Kapitel 9** beschreibt das Protokoll einer Studie. Dabei geht es wie in Kapitel 8 um ein durch Roboter unterstütztes Gehtraining für Patienten mit akuter Querschnittslähmung. Das Ziel dieser Untersuchung ist es, den Einfluss der Trainingsintensität bei zu untersuchen. Es handelt sich um eine randomisierte und kontrollierte Multizenter-Studie. Die Patienten der Interventionsgruppe trainieren mindestens 50 Minuten, diejenigen der Kontrollgruppe maximal 25 Minuten. Untersucht wird die Gehfähigkeit nach acht Wochen und das Auftreten von unerwünschten Wirkungen während des Trainings.

Die Diskussion in **Kapitel 10** umfasst vier Teile: Querschnittslähmung, Rehabilitation der Gehfähigkeit, Rehabilitations-Roboter und Assessments. Das Querschnittssyndrom ist eindeutig charakterisiert und kommt selten vor. Neurologische Defizite können in unterschiedlicher Ausprägung auftreten. Entsprechend handelt es sich um eine heterogene Patientengruppe. Für die Durchführung von validen Studien, speziell von Patienten-Untergruppen, hat sich die Zusammenarbeit von mehreren Rehabilitationszentren als unerlässlich herausgestellt. Die Rehabilitation der Gehfähigkeit und die Anwendung von Robotern sind exemplarische Beispiele, wie wissenschaftliche Erkenntnisse in die Therapie einfließen und umgekehrt physiotherapeutische Interventionen wissenschaftlich evaluiert werden. Die Messung und Dokumentation der Funktionsfähigkeit der Patienten und der Trainingsfortschritte mit validen und reliablen Messinstrumenten ist dabei wichtige Voraussetzung.

Die Erkenntnisse zur Rehabilitation der Gehfähigkeit sind möglicherweise in naher Zukunft relevant, wenn neue Interventionen, die eine (Teil-) Regeneration der Nervenverletzung bewirken, in Kombination mit dem Gehtraining angewendet werden.

