

**Zeitschrift:** Physiotherapie = Fisioterapia  
**Herausgeber:** Schweizerischer Physiotherapeuten-Verband  
**Band:** 32 (1996)  
**Heft:** 8

**Artikel:** Möglichkeiten der Funktionellen Elektrostimulation (FES) in der klinischen Anwendung : training von querschnittgelähmten Patienten  
**Autor:** Bruin, Eling D. de  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-929117>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 16.03.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Möglichkeiten der Funktionellen Elektrostimulation (FES) in der klinischen Anwendung – Training von querschnittgelähmten Patienten

Eling D. de Bruin, Physiotherapeut/dipl. Bewegungswissenschaftler  
Laboratorium für Biomechanik ETH Zürich, Wagistrasse 4, 8952 Schlieren

In den Vereinigten Staaten wird seit mehreren Jahren versucht, die physische Leistungsfähigkeit von Para- und Tetraplegikern durch verschiedene Methoden zu verbessern. Das Ziel dieses Berichtes ist es, die Physiotherapeuten in der Schweiz mit den verschiedenen Konzepten der funktionellen Elektrostimulation (FES-Methode) für die Anwendung bei Para- und Tetraplegikern bekanntzumachen und einige Forschungsergebnisse vorzustellen.

Im folgenden Artikel wurde auf die schwer lesbare Doppelform verzichtet und ausschliesslich die männliche Form gewählt. Darin ist die weibliche Form selbstverständlich auch enthalten.

## EINLEITUNG

Der Begriff Querschnittlähmung (QL) bezeichnet eine Paralyse der Beine und Teile des Rumpfes (Paraplegie PP) bzw. eine Paralyse der Arme und Beine (Tetraplegie TP). Die QL kann:

- angeboren sein (z. B. bei der Spina bifida),
- erworben werden durch Infektionen, Tumore, idiopathische Erkrankungen und iatrogene Schäden, oder
- traumatisch im Zusammenhang mit Wirbelfrakturen oder -luxationen, Hieb-, Stich- und Schussverletzungen entstehen.

Als TP bezeichnet man eine Schädigung des Cervikalmarks mit Funktionsausfällen an allen vier Extremitäten, als PP eine Schädigung ab dem Thorakalmark abwärts. Eine vollständige Läh-

mung bedeutet den Ausfall aller Rückenmarksfunktionen, die von einer spinal geleiteten, kortikalen Steuerung abhängen. Bei einer unvollständigen Lähmung besteht ein Teilausfall einer oder aller Funktionen (27).

## MÖGLICHKEITEN UND GRENZEN DER PHYSISCHEN FITNESS

Die QL schränkt die Möglichkeit willkürlicher Bewegungsformen stark ein und führt häufig zu einem sitzenden Lebensstil mit einer markanten Abnahme der physischen Fitness. Dies wiederum kann zur Entstehung sekundärer medizinischer Komplikationen führen.

HMV = Herzminutenvolumen  
PP = Paraplegie  
QL = Querschnittlähmung  
TP = Tetraplegie  
VO<sub>2</sub> = max. Sauerstoffverbrauch pro Minute

## SEKUNDÄRE MEDIZINISCHE KOMPLIKATIONEN DER QL:

- kardiovaskuläre Krankheiten
- Muskelatrophie
- Dekubitus
- Osteoporose
- u. a.

Die entstandene Bewegungsarmut durch den Verlust der Beinfunktion wird von den meisten Patienten durch vermehrten Armeinsatz beim Rollstuhlantrieb und durch Fitnessstraining der Armmuskulatur kompensiert. Wegen der limitierten Übungskapazität der relativ kleinen Armmuskulatur können Paraplegiker aber keine höheren Stufen der physischen Fitness (kardiopulmonale oder aerobe Fitness) erreichen, wie das nicht-invalide Sportler mittels Beinübungen machen können (4, 11). Bei entsprechenden Belastungsformen neigt die Oberkörpermuskulatur aufgrund peripherer Faktoren (z. B. inadäquate Muskelfaserfunktion für benötigte Ausdauerleistung) zur Ermüdung, bevor das kardiovaskuläre und pulmonale System genügend stimuliert wird, um zentrale Trainingseffekte zu erzielen (41). Aufgrund der zusätzlichen Paralyse der oberen Extremitäten haben Tetraplegiker eine substantiell noch schlechtere Entwicklungsmöglichkeit für ihre kardiopulmonale Leistungsfähigkeit.

## MÖGLICHKEITEN UND GRENZEN DER FUNKTIONELLEN ELEKTROSTIMULATION

Während der letzten 25 Jahre wurde sowohl in Europa als auch in den Vereinigten Staaten anhand Funktioneller Elektrischer Stimulation (FES) versucht, funktionelle Bewegungsabläufe in paralysierter Muskulatur zu ermöglichen (1, 3–7, 9, 13, 14, 16, 20, 23, 29, 32, 34, 35). Ein grosser Teil dieser Studien hat sich mit FES-induzierter Fahrradergometrie befasst (2, 6, 8, 9, 15, 19, 21, 22, 24, 26, 29–31, 33, 36). Diese Technik erlaubt es, einen Teil der paralysierten Muskelmasse der unteren Extremitäten zu aktivieren und damit u. a. das (Blut-)Zirkulationsvolumen zu vergrössern, das sonst ungenutzt bliebe. Diese Übungsformen könnten dazu führen, den Gesundheitszustand, die physische Fitness und das Rehabilitationspotential des PP-/TP-Patienten auf ein höheres Niveau zu bringen, als dies mit alleinigem Armtraining möglich ist. Es sollte jedoch klar sein, dass FES-Training die Paralyse nicht «heilt», und, genauso wie bei jedem anderen Training, allfällige positive Trainingseffekte nach Trainingsabbruch wieder verloren gehen. Das bedeutet, dass FES-Training im (wöchent-

In der Schweiz beträgt die Inzidenz der QL (= Anzahl Querschnittgelähmte pro Mio. Einwohner pro Jahr) über die letzten Jahre berechnet zirka 28 (37).

lichen) Lebenslauf eingebettet werden muss, will man seine günstigen Effekte beibehalten.

## ÜBERLEGUNGEN ZUR ANWENDUNG DER FES

Unter dem Begriff der Elektrotherapie werden Behandlungsverfahren zusammengefasst, bei denen Elektrizität unmittelbar angewandt wird. In diesem Beitrag wird eine Übersicht über die Anwendungsmöglichkeit der FES bei Para-/Tetraplegie präsentiert. Die Zielsetzung der FES besteht darin, gelähmten Behinderten mit wesentlichen Funktionseinschränkungen einen Teil der verlorenen Bewegungsmöglichkeiten künstlich zu ermöglichen (34). Voraussetzung für FES-Therapie ist, dass die zu trainierende Muskulatur als Folge einer zentralen Verletzung paralytisch ist, und die (peripher gelegenen) motorischen Einheiten intakt und funktionsfähig sind. Das Vorhandensein von Dehnreflexen und Spastizität weist auf eine potentielle Eignung eines Individuums für FES-Training hin (6).

## BESONDERE VORSICHTSMASSNAHMEN

Eine gründliche medizinische Abklärung ist Voraussetzung für die Teilnahme an einem Trainingsprogramm mit FES. Diese beinhaltet Röntgenaufnahmen der Beine, Bewegungstests, neurologische Abklärung, ein Elektrokardiogramm und möglicherweise eine Abklärung des psychischen Zustandes.

### ALLGEMEINE EINSCHLUSS- KRITERIEN ZUR TEILNAHME AN EINEM FES-TRAINING:

- intakte motorische Einheiten (Motoneuron und dazugehörige Muskelfasern) unterhalb des Verletzungsniveaus;
- verminderte Hautempfindlichkeit;
- minimale oder nur moderate Spastizität;
- Gelenkmobilität der Beine innerhalb der funktionellen Bewegungsgrenzen;
- unauffällige Röntgenaufnahme der unteren Extremitäten;
- guter allgemeiner Gesundheitszustand;
- emotionale Stabilität und realistische Erwartungshaltung.

Bei gewissen Patienten (vor allem bei einem hohen Läsionsniveau) kann eine erhebliche autonome Dysreflexie während der FES-Therapie auftreten, was zu einer gefährlichen Blutdruck-erhöhung führen kann. Vor allem zu Beginn des Trainings wird daher eine periodische Blutdruckmessung empfohlen.

## OFFENHEIT GEGENÜBER DEM PATIENTEN

Der Patient soll über die positiven Effekte und die Risiken des FES-Trainings aufgeklärt werden und sich der Tatsache bewusst sein, dass das FES-Training *nicht* zur Regenerierung von Nervenfunktionen oder zur Wiederlangung der Willkürmotorik beiträgt. Es ist weiter wichtig festzuhalten, dass FES-induziertes Beintraining das Übungsprogramm für die oberen Extremitäten nicht ersetzt, sondern dieses ergänzt.

## TRAININGSAUSÜBUNG MITTELS FES

Künstliche Kontraktionen können in gelähmter Muskulatur durch verschiedene elektrische Stimulationsarten provoziert werden, vorausgesetzt, die Motoneuronen und ihre Muskelfasern unterhalb des Verletzungsniveaus sind intakt. Während selbständiges Laufen mittels FES für PPs/TPs vorläufig noch ein längerfristiges Ziel ist, ist es heutzutage bereits möglich, ein FES-induziertes Bewegungsmuster wie z.B. Velofahren auf einem Ergometer als klinische Intervention einzusetzen. Es ist relativ einfach anzuwenden und wird in den USA auch häufig verschrieben (26).

## FOLGEN DER KÖRPERLICHEN INAKTIVITÄT NACH PP/TP UND EFFEKTE DER FES

Zwar gibt es eine grosse Anzahl nicht beeinflussbarer pathophysiologischer Gründe für die Verminderung des Arbeitsvermögens und den Verlust der physischen Fitness durch eine QL, dennoch erschwert der aufgezwungene sitzende Lebensstil und das Fehlen von adäquaten Ausdauerübungsprogrammen die Situation noch zusätzlich. Relativ wenige PP/TP beteiligen sich an Rollstuhlsportarten und Oberkörpertraining, ausserdem wird in den Schweizer Rehabilitationszentren computergesteuertes FES-Ausdauertraining der unteren Extremitäten nicht durchgeführt. Für die Erhaltung des Leistungsvermögens hat sich der Energieaufwand zum Rollstuhlantrieb und zum Verrichten der täglichen Aktivitäten als inadäquat erwiesen, da die Anforderungen an den Kreislauf dabei zu tief und zu kurz sind (11). Individuen mit einer QL zeigen

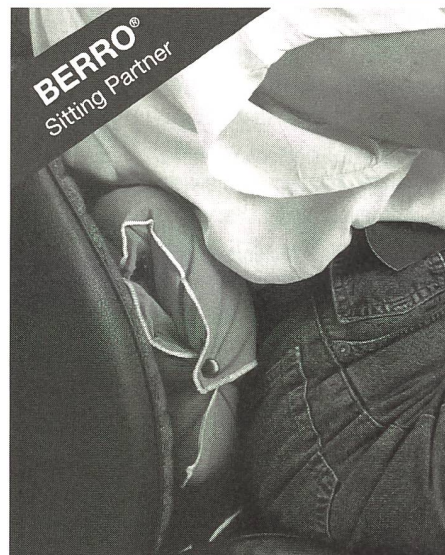
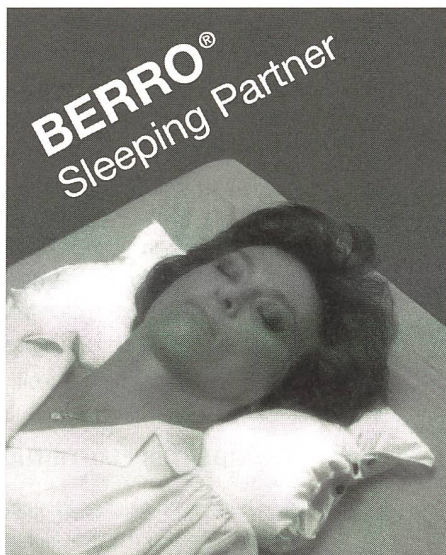
folglich Zeichen eines physischen Abbaus, der die Gesundheit, die funktionellen Möglichkeiten und den Lebensstil beeinträchtigen kann. Die nächste Tabelle zeigt einige der Veränderungen, die mit diesem Abbau und den degenerativen Veränderungen als Folge fehlender körperlicher Aktivität auftreten. Diese Veränderungen, ihr Einfluss auf Gesundheit und Lebensqualität und die Beeinflussbarkeit durch Intervention, d.h. Trainingsübung (aktiv und elektrisch), werden nachfolgend besprochen.

### DEKONDITIONIERUNGS- UND DEGENERATIONSEFFEKTE DER QL

1. Abnahme der kardiovaskulären Leistungsfähigkeit, Zunahme von Herz-Kreislauf-Erkrankungen
2. Abnahme der Atemfunktion
3. Abnahme der Muskelmasse, -kraft, -ausdauer
4. Veränderter emotionaler Status
5. Abnahme der Knochendichte

## ABNAHME DER KARDIOVASKULÄREN LEISTUNGSFÄHIGKEIT / INTERVENTIONSMÖGLICHKEITEN

Während die meisten Individuen nach Läsionseintritt zu Beginn keine pathologischen anatomischen Veränderungen des kardiovaskulären Systems aufweisen, treten dennoch aufgrund der Beeinträchtigung der vegetativen Funktionen Veränderungen in der Physiologie auf. TPs haben keine supraspinale Kontrolle über das sympathische Nervensystem, behalten aber eine im Grunde genommen unbeeinträchtigte parasympathische Funktion (N. Vagus). Individuen mit einer hohen PP, d.h. oberhalb von T5, erfahren ebenfalls einen schweren Verlust an supraspinaler sympathischer Kontrolle, bei PP unterhalb T5 scheint der Verlust von autonomen Funktionen hingegen weniger ins Gewicht zu fallen. Mit ziemlicher Sicherheit darf angenommen werden, dass ein Verlust an sympathischer supraspinaler Kontrolle die maximal erreichbare Herzfrequenz, die Kontraktionsfähigkeit des Herzmuskels, das Schlagvolumen und die Herzleistung einschränkt (26). Zusätzlich wird die Fähigkeit zur effektiven Arteriolendilatation zugunsten arbeitender Muskulatur und zur kompensatorischen Vasokonstriktion in ruhenden Organen beeinträchtigt, was möglicherweise die maximale Arbeitskapazität zusätzlich einschränkt. Verschiedene Studien haben bestätigt, dass die Herzleistung (HMV) bei PP/TP in Ruhe und bei maximaler Belastung der Armmuskulatur tiefer ist als die Vergleichswerte bei nicht-PP/TP.



Die BERRO® Sleeping Partner und die BERRO® Sitting Partner bestehen aus zwei Teilen. Der erste Teil ist weich und zusammenlegbar. Die Füllung besteht aus hochwertigen silikonbeschichteten Hohlfasern aus Polyester. Dieses Füllmaterial hat die Eigenschaft dass Wärme gespeichert, Feuchtigkeit aber abgegeben wird. Die Kissen sind waschbar.

Der zweite, aufblasbare Plastikteil ist zwischen den zusammengelegten Teilen des äusseren Teils mit Druckknöpfen befestigt. Die Höhe dieses Teils kann so eingestellt werden, dass Unterstützung und Komfort optimal sind. Beide Kissen sind preisgünstig.

Der **BERRO® Sleeping Partner** sorgt für eine korrekte **individuell dosierbare** Unterstützung von Kopf und Nacken in Rücken- und Seitenlage. Es entsteht eine leichte Extension im HWS-Bereich, die durch Aufblasen des Plastikteils erhöht werden kann.

Der **BERRO® Sitting Partner** hilft, die Haltung beim Sitzen zu verbessern. Es bewirkt eine richtige, **individuell dosierbare** Unterstützung im Lumbalbereich. Der **BERRO® Sitting Partner** ist kompakt und tragbar, sehr geeignet als Reisekissen.

**BERRO AG** Postfach, 4414 Füllinsdorf  
Tel. 061 - 901 88 44 Fax 061 - 901 88 22

Senden Sie bitte:  Prospekte «Sleeping Partner»

Stempel, Datum

Prospekte «Sitting Partner»

Preise, Konditionen

## Die neue Generation der Dr.-Born-Ultraschall-Therapiegeräte ist da

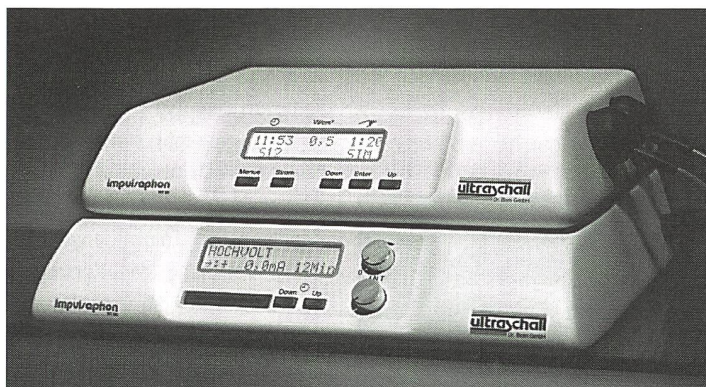
Drei Ultraschallgeräte mit automatischer Kopplungskontrolle und erstmals ein preisgünstiges Elektrotherapiegerät für die Kombinationstherapie, im gleichen Design, stehen zur Auswahl.

**Impulsaphon NT 10**, 1 MHz, das einfache, preisgünstige, mit Anzeigedisplay und 6 Programmen.

**Impulsaphon NT 50**, 1 MHz, mit zweizeiligem Anzeigedisplay, 5 Standardmenüs und frei programmierbar.

**Impulsaphon NT 70**, 1 und 3 MHz (beide Frequenzen mit dem gleichen Behandlungskopf), sonst wie NT 50.

**Impulsaphon NT 95**, preisgünstiges Elektrotherapiegerät für die Kombinationstherapie.



Impulsstation NT 50 und NT 95

Generalvertretung für die Schweiz



FRITAC MEDIZINTECHNIK AG  
8031 Zürich  
Hardturmstrasse 76  
Telefon 01/271 86 12  
Fax 01/271 78 35

### BON

Bitte ausschneiden und einsenden an

FRITAC AG  
Postfach  
8031 Zürich

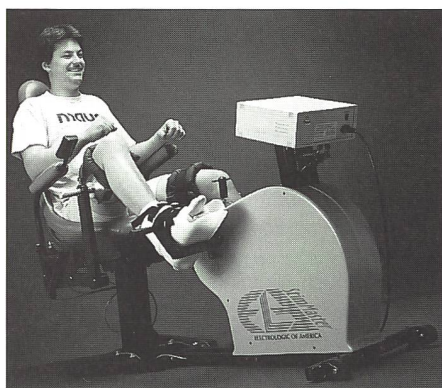
Bitte senden Sie mir/uns Unterlagen

Ultraschall-/Elektrotherapie  
 Therapie-Liegen

\_\_\_\_\_  
Name \_\_\_\_\_  
Strasse \_\_\_\_\_  
Plz/Ort \_\_\_\_\_

Maximaler Sauerstoffverbrauch pro Minute ( $VO_2$ ) wird normalerweise als Mass für die Bestimmung der kardiovaskulären Leistungsfähigkeit (Ausdauer oder aerobe Übungskapazität) verwendet. Bei nichtinvaliden Personen wird  $VO_2$ -max durch verschiedene Faktoren beeinflusst: Geschlecht, Alter, Ausdauertraining, Vererbung, Gesundheit der Organe usw. Eine QL führt meistens zu einer extensiven Muskelparalyse und somit zu einer signifikanten Abnahme der unter Willkürkontrolle verbleibenden Muskelmasse. Es ist daher offensichtlich, dass eine Person mit einer hohen Läsion durch die verbleibende funktionelle Muskulatur keine drastische Steigerung des  $VO_2$ -max erreichen kann. Ein Patient mit tiefem Verletzungsniveau wäre zwar theoretisch imstande, seine  $VO_2$ -max mittels Armübungen zu verbessern, diese Übungen eignen sich aber aufgrund ihrer relativen Ineffektivität (kleine Muskelmasse, inadäquate aerobe Kapazität) schlecht für aerobes Training.

Verminderte kardiovaskuläre Fitness ist klinisch als schnelle Ermüdbarkeit der Muskulatur bei jeglicher Art von Ausdauertraining und als generalisierte Ermüdung und Mattheit im Alltag feststellbar. Bei nicht QL-Personen mit einem sitzenden Lebensstil führt ein gut aufgebautes Trainingsplan zur Verbesserung von  $VO_2$ -max, Schlagvolumen, Herzleistung und oxydativer Kapazität der Muskulatur. Die Effekte eines Trainings mittels FES-Fahrradergometrie-Programm (Abbildung) auf verschiedene kardiorespiratorische Parameter während maximaler Leistung wurde bei elf Personen mit einer TP untersucht (25). Das signifikanteste Ergebnis zeigte eine Verdoppelung des  $VO_2$ -max, was für eine deutliche Verbesserung der maximalen kardiorespiratorischen Leistungsfähigkeit spricht. Verschiedene andere Studien wiesen ähnlich positive Einflüsse nach (3, 6, 9, 31). Das aerobe Training mittels FES-Fahrradergometrie scheint somit eine weit effektivere physiologische Wirkung aufzuweisen als willkürmotorische Armübungen (4).



Training auf dem FES-induzierten Fahrrad.

### ABNAHME DER ATEMFUNKTION / INTERVENTIONSMÖGLICHKEITEN

Eine Paralyse der Interkostal- und Abdominalmuskulatur beeinträchtigt erfahrungsgemäss die respiratorische Kapazität von Personen mit einer QL. Es gibt eine progressive Abnahme der Vitalkapazität mit aufsteigendem Niveau der QL. Die Leistungsfähigkeit wird jedoch hauptsächlich durch die Grösse der noch verbleibenden funktionsfähigen Muskelmasse und nicht durch die reduzierte Atemkapazität eingeschränkt. In verschiedenen Studien wurde gezeigt, dass die noch vorhandene respiratorische Kapazität für die meisten Ausdauerübungen mit dieser Restmuskulatur ausreicht.

Allerdings stellen pulmonale Komplikationen (z.B. Pneumonien) heutzutage eine der Haupttodesursachen nach einer QL dar, und ein kausaler Zusammenhang dieser Komplikationen mit der Abnahme der respiratorischen Kapazität ist anzunehmen. Trotz dieser Tatsache und obwohl Kraft und Ausdauer der Atemmuskulatur mittels geeignetem Training verbessert werden könnten, bestehen heute keine routinemässig eingesetzten Programme für ein gezieltes Aufbautraining der Atemmuskulatur (26).

### ABNAHME DER MUSKELKRAFT UND AUSDAUER-/INTERVENTIONSMÖGLICHKEITEN

Eine QL hat eine Abnahme von Muskelmasse, Muskelkraft und Muskelausdauer zur Folge. Die rasche und progressive Atrophie der paralyisierten Muskulatur findet während des areflexiven Stadiums in der Phase des spinalen Schocks statt. Diese Atrophie zieht sich über mehrere Monate hin, wobei der zurückkehrende Muskeltonus (Spastizität) dieser Entwicklung entgegenwirkt, bis sich schliesslich ein Gleichgewicht einstellt. Morphologische Studien haben gezeigt, dass nach einer QL eine Umwandlung der Muskelfasern vom Typ I (langsam, aerob) zu Typ II (schnell, anaerob) stattfindet (17). Begleitend findet sich eine Abnahme der Mitochondrienkonzentration, des oxydativen Enzymniveaus und der Kapillarisation. Folglich ergibt sich eine dramatische Änderung der Kontraktionseigenschaft der Muskulatur, die vor allem die Typ-I-Fasern betrifft. Kontraktions- und Relaxationsgeschwindigkeit nehmen zu, während langdauernde Kontraktionen niedriger Intensität, d.h. die übliche Kontraktionsanforderung an «Antigravitationsmuskeln» nicht mehr erzeugt werden können (17). Die Muskelausdauer, d.h. das Vermögen der Muskeln, wiederholte Kontraktionen gegen wenig oder keinen Widerstand durchzuführen, ist auch klinisch betrachtet vermindert, da schon

nach relativ wenigen elektrisch ausgelösten Kontraktionen messbar eine deutliche Ermüdung eintritt (26).

Verschiedene wissenschaftliche Studien (22, 28, 31, 36) haben gezeigt, dass Muskelkraft und -ausdauer mit verschiedenen Formen der Elektrostimulation (Gewichtstraining, Veloergometrie, Laufen) verbessert werden können. Eine signifikante Zunahme der isometrischen Muskelkraft und -ausdauer der stimulierten Muskeln fanden z.B. Sloan et al. (1994) nach einem FES-Veloergometer-Training.

### VERÄNDERTER EMOTIONALER STATUS

Eine QL wird von einer psychologischen Reaktion begleitet, die von der individuellen Art, mit Problemen fertig zu werden, abhängig ist. In der Akutphase tritt schätzungsweise bei 10–50% der Fälle eine starke Depression auf, in der chronischen Phase seltener (26). Diese Depression bei QL wird durch die Reaktion auf die ernste und lebensbedrohende Situation und durch die Trauer über die für immer verlorengegangenen Körperfunktionen verursacht. Zusätzlich kann dieser Zustand aber auch durch eine neuroendokrine Dysfunktion verstärkt werden, d.h. durch exzessive Cortisolsekretion und inadäquate Ausscheidung von Betaendorphin (BE). BE ist ein natürliches Peptid mit morphinartigen Eigenschaften, das man im Gehirn und in anderen Geweben antrifft. Verschiedene Studien haben gezeigt, dass der Serum-Plasmaspiegel von BE und seinem Vorläufer, Beta-lipotropin, bei plötzlicher körperlicher Anstrengung steigt, und dass Fitnessstraining die Wirkung dieser natürlich vorkommenden Substanz verstärkt (26). Es wird daher angenommen, dass Fitnessstraining, welches die Produktion von Endorphinen stimuliert, eine wichtige Rolle in der Behandlung von emotionalen Störungen spielen kann.

In einer Studie von Sipski et al. (1989) berichtete die Mehrheit der Patienten nach Teilnahme an einem FES-Ergometrieprogramm über ein stärkeres Selbstwertgefühl und ein verbessertes Aussehen als vor Trainingsbeginn (30).

### ABNAHME DER KNOCHENDICHTE

Mit der QL entwickelt sich in den von der Paralyse betroffenen Gliedmassen eine Osteoporose, die in die Gruppe der Inaktivitätsosteoporosen gehört. Die Osteoporose beginnt mit Auftreten der Läsion und tritt bei schlaffen Lähmungen stärker in Erscheinung. Als Folge dieser Osteoporose treten pathologische Frakturen meist in den langen Röhrenknochen der unteren Extremitäten auf, wobei oft sehr geringe Traumata zu einem Bruch führen können (10).

Khang (1988) und Vossius (1990) behaupten, dass FES-Fahrradergometrie auch einen Beitrag in der Osteoporosebekämpfung leistet, während Glaser (1994) findet, dass es für diese Behauptung zu wenig Beweise gibt. Eine dritte Gruppe findet die vorliegenden Forschungsergebnisse noch zu kontrovers (18, 20).

Aufgrund dieser widersprüchlichen Resultate scheint es gerechtfertigt zu behaupten, dass die Effektivität der FES-Fahrradergometrie in bezug auf Osteoporose-Entwicklung nach einer QL noch unklar ist. Aus diesem Grunde hat man sich am Laboratorium für Biomechanik der ETH Zürich in Zusammenarbeit mit dem Schweizer Paraplegiker-Zentrum Nottwil entschieden, eine Interventionsstudie durchzuführen, die die Effekte der

FES-Fahrradergometrie auf die Osteoporose-Entwicklung bei PP und TP untersucht. Das heisst also auch, dass die FES-Fahrradergometrie erstmals in der Schweiz im Interesse der PP und TP eingesetzt werden wird. Zukünftige Forschungsergebnisse aus dieser Studie werden der «Physiotherapie» zu gegebener Zeit zur Publikation angeboten werden.

## ZUSAMMENFASSUNG

Es gibt viele Hinweise dafür, dass selbst bescheidenes Bewegungstraining für die Gesundheit und das allgemeine Wohlbefinden wichtig ist. Kaum eine andere Patientengruppe wird so dramatisch und plötzlich um die Möglichkeit der

aktiven Bewegung beraubt wie die der Querschnittgelähmten. Dieser «Bewegungsentzug» wird einerseits durch die Paralyse selbst und die physiologischen Reaktionen auf Bewegung verursacht, andererseits aber auch durch Mangel an Gelegenheit. Folglich zeigen Menschen mit einer QL viele Zeichen eines physischen Abbaus, der ihre Gesundheit, ihre funktionellen Möglichkeiten und ihren Lebensstil beeinflussen wird. FES-Ergometertraining liefert bessere physiologische Effekte (und somit einen therapeutischen Nutzen) als konventionelle Armübungen. Ein angemessenes FES-Übungsprogramm könnte daher eine wichtige Rolle in der Verbesserung der Gesundheit, Fitness und Rehabilitation von QL-Patienten spielen.

## Literaturverzeichnis

- BAJD T., A. KRALJ, R. TURK, H. BENKO, J. SEGA: Use of functional electrical stimulation in the rehabilitation of patients with incomplete spinal cord injuries, *J. Biomed. Eng.* 1989, Vol. 11, pp. 96–102.
- BREMNER L.A., K.E. SLOAN, R.E. DAY, E.R. SCULL, T. ACKLAND: A clinical exercise system for paraplegics using functional electrical stimulation, *Paraplegia* 30 (1992): 647–655.
- FAGHRI P.D., R.M. GLASER, S.F. FIGONI: Functional Electrical Stimulation Leg Cycle Ergometer Exercise: Training Effects on Cardiorespiratory Responses of Spinal Cord Injured Subjects at Rest and During Submaximal Exercise, *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, Vol. 73, 1992.
- GLASER R.M.: Exercise Conditioning of the Spinal Cord-Injured Patient Via Functional Electrical Stimulation, In: J.S. Torg. *Athletic Injuries to the Head, Neck, and Face*, Mosby Year Book, 1991.
- GLASER R.M.: Cardiovascular Problems of the Wheelchair Disabled, In: R.J. Shephard, H.S. Miller (Eds); *Exercise and the Heart in Health and Disease*, ISBN 0-8247-8633-5, 1992.
- GLASER R.M.: Functional Neuromuscular Stimulation; Exercise Conditioning of Spinal Cord Injured Patients, *Int. J. Sports. Med.* 15 (1994): 142–148.
- GUTTENBERG U., H.-J. HOLLÄNDER, G. VOSSIUS: Verschiedenartige Stimulationssysteme für die Einrichtung und den Einsatz in der Funktionellen Elektrostimulation bei Querschnittgelähmten, *Biomedizinische Technik Band 35; Ergänzungsband*, 1990.
- HANGARTNER T.N., M.M. RODGERS, R.M. GLASER, P.S. BARRE: Tibial bone density loss in spinal cord injured patients: Effects of FES exercise, *J. Rehabil. Res. Dev.*, Vol. 31, No. 1, pp. 50–61, 1994.
- HOOKER S.P., S.F. FIGONI, R.M. GLASER, M.M. RODGERS, B.N. EZENWA, P.D. FAGHRI: Physiologic Responses to Prolonged Electrically Stimulated Leg-Cycle Exercise in the Spinal Cord Injured, *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, Vol. 71, 1990.
- JÄGER M. UND C.J. WIRTH: *Praxis der Orthopädie*, Georg Thieme Verlag Stuttgart-New York, 1986.
- JANSSEN T.: Physical strain and physical capacity in men with spinal cord injuries, Thesis Vrije Universiteit, Amsterdam, ISBN 90-9007132-7, 1994.
- KHANG G.: Paraplegic standing controlled by functional neuromuscular stimulation: Computer model, controlsystem design and stimulation studies, dissertation, Stanford University, 1988.
- KRALJ A., T. BAJD, R. TURK: Gegenwart und Zukunft der funktionellen Elektrostimulation bei Querschnittslähmungen, *Med. Orth. Tech.* 110 (1990): 75–83.
- LASKIN J.J., E.A. ASHLEY, L.M. OLENIK, R. BURNHAM, D.C. CUMMING, R.D. STEADWARD, G.D. WHEELER: Electrical stimulation-assisted rowing exercise in spinal cord injured people. A pilot study, *Paraplegia* 31 (1993): 534–541.
- LEEDS E.M., K.J. KLOSE, W. GANZ, A. SERAFINI, B.A. GREEN: Bone Mineral Density After Bicycle Ergometry Training, *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, Vol. 71, pp. 207–209, 1990.
- LEVY M., T. KUSHNIR, J. MIZRAHI, Y. ITZCHAK: In vivo/sup 31/p NMR studies of paraplegics' muscles activated by FES, *Magnetic resonance in Medicine*, Vol. 29, Iss. 1, pp. 53–58, 1993.
- LIEBER R.L.: Skeletal muscle adaptability II: muscle properties following spinal cord injury. *Devel Med Child Neurol* 1986; 28: 533–542.
- MAGYAROSY I., W. SCHNIZER: Muskeltraining durch Elektrostimulation, *Fortschr. Med.* 108, Jg. (1990), Nr. 7, 1990.
- MALAGODI M.S., M.W. FERGUSSON-PELL, R.D. MASIELLO: A Functional Electrical Stimulation Exercise System Designed to Increase Bone Density in Spinal Cord Injured Individuals, *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, Vol. 1, No. 4, 1993.
- MOKRUSCH T., B. NEUNDÖRFER, A. ENGELHARDT, O. SEMBACH, B. ARNDT, K.-F. EICHHORN: Elektrostimulation in der Neurologie – Was leistet die direkte Muskelstimulation bei schlaffen Lähmungen?, *Biomedizinische Technik Band 35; Ergänzungsband*, 1990.
- MULDER A.J., H.J. HERMENS, F. JANSSEN, G. ZILVOLD: A low-cost FES exercise bicycle for training paraplegics at home, *J. of Med. Eng. & Techn.*, Vol. 13, No. 1/2, pp. 90–92, 1989.
- PACY P.J., R. HESP, D.A. HALLIDAY, D. KATZ, G. CAMERON, J. REEVE: Muscle and bone in paraplegic patients, and the effect of functional electrical stimulation, *Clinical Science* (1988), 75, 481–487.
- PECKHAM P.: Functional Electrical Stimulation: Current Status and Future Prospects of Application to the Neuromuscular System in Spinal Cord Injury, *Paraplegia* 25 (1987): 279–288.
- PETROFSKY J.S., J. SMITH: Three-wheel cycle ergometer for use by men and women with paralysis, *Med. & Biol. Eng. & Comp.*, 1992, 30, 364–369.
- POLLACK S.F., K. AXEN, N. SPIELHOLZ, N. LEVIN, F. HAAS, K.T. RAGNARSSON: Aerobic training effects of electrically induced lower extremity exercises in spinal cord injured people, *Arch. Phys. Med. And Reh.*, 1989; 70: 214–219.
- RAGNARSSON K.T., S.F. POLLACK, D. TWIST: Lower Limb Endurance Exercise After Spinal Cord Injury: Implications for Health and Functional Ambulation, *J. Neuro Rehab* 1991; 5: 37–48.
- REIFFERSCHIED M. & S.: WELLER: *Chirurgie*, 8. Neubearbeitete und erweiterte Auflage, Georg Thieme Verlag Stuttgart-New York, 1989.
- RODGERS M.M., R.M. GLASER, S.F. FIGONI, S.P. HOOKER, B.N. EZENWA, S.R. COLLINS, T. MATHEWS, A.G. SURYAPRASAD, S.C. GUPTA: Musculoskeletal responses of spinal cord injured individuals to functional neuromuscular stimulation-induced knee extension exercise training, *J. Rehabil. Res. Dev.*, Vol. 28, No. 4, 1991.
- SCHUTTE L.M., M.M. RODGERS, F.E. ZAJAC, R.M. GLASER: Improving the Efficacy of Electrical Stimulation-Induced Leg Cycle Ergometry: An Analysis Based on a Dynamic Musculoskeletal Model, *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, Vol. 1, No. 2, 1993.
- SIPSKI M.L., J.A. DELISA, S. SCHWEER: Functional Electrical Stimulation Bicycle Ergometry: Patient Perceptions, *Am. J. Phys. Med. Rehabil.*, Vol. 68, No. 3, pp. 147–149, 1989.
- SLOAN K.E., L.A. BREMNER, J. BYRNE, R.E. DAY, E.R. SCULL: Musculoskeletal effects of an electrical stimulation induced cycling programme in the spinal injured, *Paraplegia* 31 (1994): 407–415.
- STEFANIC M., A. KRALJ, R. TURK, T. BAJD, H. BENKO, J. SEGA: Neurophysiological background of the use of functional electrical stimulation in paraplegia, *Electromyogr. Clin. Neurophysiol.*, 1986, 26, 423–435.
- VELTINK P.H., H.M. FRANKEN, J.A. VAN ALSTE, H.B.K. BOOM: Modelling the optimal control of cyclical leg movements induced by functional electrical stimulation, *The International Journal of Artificial Organs/ Vol. 15/ No. 12*, pp. 746–755, 1992.
- VOSSIUS G.: Möglichkeiten der Funktionellen Elektrostimulation in der klinischen Anwendung, *Biomedizinische Technik Band 35; Ergänzungsband*, 1990.
- VOSSIUS G., H.-J. HOLLÄNDER, R. FRECH: Funktionelle Elektrostimulation bei Spastik, *Biomedizinische Technik Band 35; Ergänzungsband*, 1990.
- YARKONY G.M., E.J. ROTH, G.R. CYBULSKI, R.J. JAEGER: Neuromuscular Stimulation in Spinal Cord Injury II: Prevention of Secondary Complications, *Arch. Phys. Ed. Rehabil.*, Vol. 73, 1992.
- ZÄCH G.A., H.G. KOCH, M. WOLFENBERGER, D. MICHEL: Demographie und Statistik der Querschnittlähmung, *Swiss Med 6-S/ 1995*.