

H. U. MAY

**Zur Frage der Behandlung denervierter Muskeln
und gegebenenfalls der geschädigten Nerven
mit elektrischen Strömen**

**unter besonderer Berücksichtigung
der Monographie "The Peripheral Nerve"
von TERZIS & SMITH**

H. U. MAY:

Zur Frage der Behandlung denervierter Muskeln und gegebenenfalls der geschädigten Nerven mit elektrischen Strömen

Die Frage, ob die Behandlung denervierter Muskeln mit elektrischen Strömen therapeutisch sinnvoll ist, wird bis heute kontrovers diskutiert.

Die Befürworter einer Elektrotherapie, die in der bislang üblichen traditionell überlieferten Form mit meist allmählich ansteigenden Gleichstromimpulsen als Dreieckstrom- oder Exponentialstrom-Behandlung durchgeführt wird, berufen sich meist auf sogenannte langjährige Erfahrungen, obwohl sie gewöhnlich weder selbst hinsichtlich der Lokalisation und der Art der Nervenläsion noch hinsichtlich des Alters und des Geschlechtes der Patienten vergleichbare unbehandelte Fälle beobachtet haben noch Literatur mit derartig kontrollierten Studien am Menschen zitieren können, denn solche Publikationen gibt es bis heute nicht, wie einige Befürworter dieser traditionellen Therapie, z. B. auch TERZIS & SMITH (1990) immerhin ehrlicherweise einräumen.

Unbestritten sind einige zu erwartende therapeutisch erwünschte Wirkungen der überlieferten Reizung denervierter Muskeln, die in Tierversuchen objektiviert werden konnten, die allerdings auch - zunächst überraschend, aus heutiger Sicht aber verständlich und sogar zu erwarten - signifikante unerwünschte Folgen der herkömmlichen Reizung ergaben.

Die therapeutisch erwünschten Wirkungen bestehen in der Verzögerung der Inaktivitätsatrophie der elektrisch direkt und möglichst selektiv gereizten denervierten Muskeln.

Dieser Effekt ist die zu erwartende Folge der den denervierten Muskeln regelmäßig elektrisch aufgezwungenen Depolarisationen, der dadurch ausgelösten Muskelaktionspotentiale und der infolge elektromechanischer Kopplungsprozesse erzeugten Muskelkontraktionen, denn diese Vorgänge sind energieverbrauchende Prozesse, die den Stoffwechsel fordern und die Synthese der für diesen Stoffwechsel erforderlichen Enzyme sowie kontraktiler Substanz fördern, allgemein ausgedrückt "trophikfördernd" wirken.

Die Bedeutung dieser mit der herkömmlichen Form der Elektrotherapie erreichten therapeutisch erwünschten Wirkungen wird allerdings geschmälert:

1. Die genannten **trophikfördernden Wirkungen** lassen sich ohne die therapeutischen Nachteile herkömmlicher Dreieck- oder Exponentialstrom-Impuls-Reizung **auch mit Mittelfrequenz-Strömen**, allerdings **über** andere **elektrobiochemische Mechanismen**, erreichen.
2. Die **trophikfördernden Wirkungen sind nur dann zu erwarten**, wenn die Reizung **über den Tag optimal verteilt und intensitätsmäßig sowie hinsichtlich der effektiven Stimulationszeiten weder unter- noch überdosiert wird**.

Bei relativ geringer Distanz der aussprossenden Axonenden bzw. der zur Aussprossung anzuregenden traumatisierten Nerven, d. h. die distalen Enden der proximal von der jeweiligen Läsion überlebenden Anteile der geschädigten Neuriten, verzögert die direkte Reizung und Kontraktion der denervierten Muskeln die Zeit bis zur Wiederherstellung der vollen Funktionsfähigkeit, vor allem die Zeit bis zur funktionsfähigen Reinnervierung über mehrere Mechanismen:

Durch elektrische Reizung "künstlich" oder nach Reinnervation wieder "natürlich" zur Kontraktion veranlaßte denervierte bzw. reinnervierte Muskeln stellen die Bildung von Nervenwachstumsfaktor(en) ein.

(Der Nervenwachstumsfaktor, engl. NGF, nerve growth factor, ist ein Proteinkomplex. Der 1954 von Rita LEVI-MONTALCINI zuerst entdeckte NGF war besonders für das Wachstum sympathischer und sensorischer Neurone bestimmend; inwieweit der oder die NGF-Proteinkomplexe der quergestreiften Muskeln mit dem zuerst entdeckten identisch ist bzw. sind, ist noch Gegenstand der Forschung.)

Die Einstellung der Bildung von diesen Nervenwachstumsfaktor-Proteinkomplexen hat zur Folge, daß der Reiz auf Neuriten bei partieller Denervierung oder partieller Reinnervation, Axonkollateralen zu bilden und auf den denervierten bzw. reinnervierten Muskel zuzuwachsen, verringert wird bzw. ausbleibt.

Durch elektrische Reizung "künstlich" oder nach Reinnervation wieder "natürlich" zur Kontraktion veranlaßte denervierte bzw. reinnervierte Muskeln bilden die bei unbehandelten und somit nicht kontrahierenden denervierten Muskeln auf der gesamten Muskelzelloberfläche vorhandenen **Acetylcholinrezeptoren** wieder **zurück**. In Ruhe gelassene und nicht "künstlich" elektrisch zur Kontraktion gezwungene denervierte Muskeln sind nämlich fähig, an allen Stellen ihrer überall mit Acetylcholinrezeptoren bedeckten Membranoberfläche neue motorische Endplatten auszubilden, sobald ein sprossendes Axon in die Nähe kommt, auch wenn der Ort der ursprünglichen, nunmehr degenerierten motorischen Endplatte noch favorisiert bleibt.

Während der Embryonalzeit und zum Teil auch noch während der postnatalen Entwicklung, ja sogar noch im Erwachsenenalter während der ständigen, der funktionellen Beanspruchung, d. h. der Art der Muskelaktivierung Rechnung tragenden Umorganisation der motorischen Einheiten bestimmt die sogenannte zeitliche **Feuerregel** die kompetitive Eliminierung von Synapsen:

"Jede Erregung der Zielzelle scheint jede Synapse zu festigen, deren präsynaptisches Axon gerade aktiv gewesen ist und jede Synapse zu beeinträchtigen, deren präsynaptisches Axon gerade ruhig gewesen ist."

(Zitiert nach ALBERTS et al., 1990)

Aus dieser **Feuerregel** läßt sich ableiten, daß **bei direkter elektrischer Reizung** eines noch denervierten Muskels mit einigen Anteilen, die sich gerade im Beginn des Übergangs zur Reinnervation befinden, eine von einem aussprossenden Axon sich gerade neu bildende Synapse oder eine gerade **neu gebildete Synapse "geschwächt" und zumindest zur vorübergehenden Rückbildung veranlaßt** wird. In Standard-Lehrbüchern der Molekularbiologie der Zelle (ALBERTS et al., Molecular Biology of the Cell, 2nd Edition 1989, deutsche Übersetzungen, "Molekularbiologie der Zelle", 2. Auflage 1990, 3. überarbeitete und neu gestaltete Auflage 1995) finden sich schon seit nunmehr sieben Jahren an herausragenden Stellen ausführliche Texte und didaktisch sehr einprägsame Abbildungen zu diesem Thema, z.B. eine

der wichtigsten (Abb. 21-114, Synapsen-Eliminierung und ihre Abhängigkeit vom Erregungsmuster) in der 3. Auflage auf Seite 1334 unten. Es hat den Anschein, daß wichtiges Lehrbuchwissen, das für die Neurophysiologie, speziell die Elektrophysiologie und Elektrotherapie des neuromuskulären Systems von grundlegender Bedeutung ist, bisher kaum von den klinisch mit der neurochirurgischen und konservativen neuromuskulären Rehabilitation befaßten Fachkreisen und den für die Erarbeitung elektrotherapeutischer Richtlinien Verantwortlichen zur Kenntnis genommen worden ist. Auch viele Elektrotherapielehrer berücksichtigen dieses für ihr Fachgebiet wichtige Lehrbuchwissen nicht und unterrichten ihre Schüler, angehende Krankengymnasten, Masseur und medizinischen Bademeister bzw. Physiotherapeuten, weiter in der seit Jahrzehnten üblichen Weise, denn es gibt für die Elektrotherapielehrer keinen gesetzlich vorgeschriebenen und klar definierten Zwang auch zur eigenen Fortbildung. So werden die Schüler einerseits mit fachlich nicht mehr zeitgemäßem Lernstoff belastet, den sie - ebenfalls nicht zu fachlich fundierter Fortbildung verpflichtet - nicht nur als unnötigen Ballast sondern als fortschritthemmende Routine für eine weitere Generation in Kliniken und Praxen konservieren. Andererseits fehlt ihnen z. B. das Wissen über schon vor 50 bis 60 Jahren veröffentlichte grundlegende Untersuchungen zu den besonderen physiologischen und psychophysischen Wirkungen der Tonfrequenz- bzw. Mittelfrequenzströme. Aber nicht nur in diesen sondern auch in anderen Bereichen der Elektrotherapie vergehen Jahrzehnte, bis publizierte Erkenntnisse in die Lehrpläne und die Praxis übernommen werden: Dies gilt z. B. für die antihyperhidrotische Wirkung von Gleichstrom, zwar schon 1935 erstmalig publiziert, aber erst seit wenigen Jahren endlich unter dem Namen "Leitungswasseriontophorese" in der Elektrotherapie akzeptiert, und für die Tatsache, daß nicht die Stromdichte sondern die Leistungsdichte für die meisten Wirkungen von Strömen maßgebend sind.

Einige Konsequenzen aus den oben erwähnten wichtigen Ergebnissen der Molekularbiologie der denervierten Muskulatur bestehen darin, daß zumindest spätestens in Stadien der zu erwartenden beginnenden Reinnervation

3. keine die denervierte Muskulatur direkt reizende Exponential- oder Dreieckstrom-Impulse gegeben werden dürfen,
4. zur Senkung des Risikos der Schwächung bereits regenerierender motorischer Endplatten der Patient peinlich genau dazu angehalten werden muß, bei jedem einzelnen elektrischen Reiz gleichzeitig eine Willkürinnervation des gereizten Muskels zu versuchen (Willkürinnervation zu intendieren), gerade auch in Stadien, in denen diese Willkürinnervation noch keinerlei sichtbaren Erfolg hat, denn nur diejenigen motorischen Endplatten sind nicht von einer Schwächung bedroht, die in dem Moment der Depolarisation und Kontraktion des direkt gereizten Muskels gerade selbst elektrisch und hinsichtlich der Ausschüttung des Transmitters Acetylcholin aktiv sind.

Die im Anschluß an diese Ausführungen wiedergegebene Übersetzung eines Absatzes über Elektrostimulation aus einem Buch von TERZIS und SMITH soll begründen und überzeugen helfen, daß **die heute noch häufig geübte Praxis** der zwar regelmäßig aber jeweils viel zu kurz und pro Tag viel zu selten durchgeführten **ambulantem elektrotherapeutischen Behandlung denervierter Muskeln mit dem Ziel, sie durch direkte Reizung zur Kontraktion zu bringen**, nicht nur vom Standpunkt des (schon vor 7 Jahren) modernen Lehrbuchwissens aus dem Bereich der für Medizin und Biologie wichtigen Grundlagenforschung, sondern selbst vom Standpunkt praktisch erfahrener anerkannter Spezialisten, die noch Befürworter der direkten Reizung denervierter Muskeln sind, **nicht mehr vertretbar und daher abzulehnen** ist.

Therapeutisch erwünschte trophikfördernde Wirkungen sind nur bei Gebrauch von Heimgeräten zu erwarten, die es erlauben, daß die elektrischen Reize in einer an den Einzelfall optimal angepaßten Weise über den ganzen Tag verteilt verabfolgt werden.

Nur wenn der Ort der Nervenläsion weit genug von den von der peripheren Lähmung betroffenen Muskeln entfernt ist, z. B. bei Wurzelkompressionssyndromen oder traumatischen Läsionen der Vorderwurzeln im Lumbalbereich, wenn also angenommen werden darf, daß die Bildung von Nervenwachstumsfaktor durch die denervierten Muskeln auf die Wiederausprossung von Axonen in dem weit entfernten Läsionsort noch keinerlei Effekt auf die Regenerationsgeschwindigkeit ausübt, erscheint eine Behandlung der denervierten Muskeln mit kontraktionsauslösenden Strömen vertretbar. Die Dauer einer solchen vertretbaren Behandlung muß die Wachstumsgeschwindigkeit regenerierender Axone berücksichtigen, die je nach Alter des Patienten und nach der Entfernung von der die Regeneration stoffwechselfähig steuernden Zelle 1 - 3 mm pro Tag beträgt. Wird die "Phalanx" der regenerierenden, in die alten Bahnen der zwischenzeitlich der Wallerschen Degeneration anheimgefallenen peripheren Anteile der lädierten Neuriten einsprossenden Axone aufgrund der Berechnungen des Therapeuten bereits in der Nähe eines zur Reinnervierung bereiten Muskels vermutet, so sollte spätestens zu diesem Zeitpunkt mit der direkten Reizung dieses Muskels aufgehört werden.

Es erscheint sehr wichtig darauf hinzuweisen, daß die von TERZIS & SMITH vertretene Meinung und die auf der Basis dieser Meinung von den Autoren gegebenen Behandlungsempfehlungen ganz offensichtlich ebenfalls noch zu einem Zeitpunkt publiziert wurden, als die Autoren weder mit dem zitierten Lehrbuchwissens der Molekularbiologie der Zelle noch mit den modernen Möglichkeiten der Elektrotherapie mit Mittelfrequenzströmen einschließlich der Interferenzströme vertraut waren.

Die zuletzt erwähnten modernen Möglichkeiten der Elektrotherapie mit Mittelfrequenzströmen einschließlich der Interferenzströme wurden bzw. werden an anderer Stelle ausführlich besprochen.

Gegen indirekte Reizung partiell denervierter und partiell reinnervierter Muskulatur ist vom gegenwärtigen Stand des Wissens nichts einzuwenden, wenn die Intensität und die Dauer der durch die elektrische Reizung hervorgerufenen Kontraktionen, die Dauer der jeweiligen Einzelsitzungen und die zeitliche Verteilung der Stimulationen die indirekt gereizten und kontrahierenden Muskelfasern nicht überfordern. Am verträglichsten sind für eine solche Reizung niederfrequent modulierte Mittelfrequenzströme. Eine solche primäre Reizung der motorischen Nerven fordert und fördert deren Stoffwechsel inklusive deren axonalen Transport. Axone, die sich noch im Stadium der Aussprossung befinden, sollen dadurch zu einem schnelleren Wachstum angeregt werden. Die zur Reizung benutzten Frequenzen sollten allerdings die natürlicherweise von peripheren Motoneuronen benutzten Entladungsfrequenzen nicht nur nicht übersteigen sondern sich im unteren Bereich der natürlichen Rekrutierungsfrequenzen motorischer Einheiten, d. h. zwischen 6 und 10 Hz bewegen; falls die Belastbarkeit des Stoffwechsels eines regenerierenden Nerven klinisch als abnorm gering eingeschätzt wird, sollten noch niedrigere Frequenzen, d. h. 1 - 4 Hz, oder sogar Frequenzen unter 1 Hz benutzt werden. Dieses Thema wurde bzw. wird ebenfalls an anderer Stelle ausführlicher behandelt .

Noch kurz einige Worte über die heutzutage als praxisfern zu bezeichnenden, trotzdem aber noch vielerorts gelehrten Methoden der alten Elektrodiagnostik mit Hilfe niederfrequenter Ströme bzw. niederfrequenten Gleichstromimpulsen, eventuell sogar noch einschließlich der

Erstellung sogenannter I/t-Kurven. Führende Spezialisten für Muskelerkrankungen schreiben hierzu in einem Kapitel über "Elektrophysiologische Grundlagen zum Verständnis der Muskelfunktion und Elektrodiagnostik" (R. DENGLER, S. 100, in JERUSALEM & ZIERZ: Muskelerkrankungen, 2. Auflage, 1991): **"Die früher viel geübte direkte elektrische Reizung des Muskels mit Beobachtung des Kontraktionsverhaltens hat ihre Bedeutung verloren."**

Die Erstellung sogenannter I/t-Kurven ist für das Verständnis elektrophysiologischer Gesetzmäßigkeiten für Studenten der Medizin in der Vorklinik während des Physiologischen Praktikums sinnvoll und sicherlich ebenso während der theoretischen Ausbildung im Bereich sogenannter medizinischer Hilfsberufe, nicht jedoch als diagnostisch zuverlässiges Hilfsmittel während der praktischen klinischen Tätigkeit. Abgesehen von der weder diagnostisch noch therapeutisch vertretbaren und daher überflüssigen sensiblen Belästigung des Patienten ist die Erstellung von I/t-Kurven mit entscheidenden Nachteilen behaftet:

5. Da motorische Erregungsschwellen bestimmt werden müssen, ist das Verhalten der meist zufälligerweise zuerst ansprechenden, nur Bruchteile des gesamten Muskels ausmachenden Anteils des gelähmten Muskels für die Beurteilung des Muskels maßgebend.
6. Die Schwellen hängen sehr stark von der Plazierung der Elektroden und von den wiederum von den klimatischen Bedingungen abhängenden Hautwiderständen ab. Demzufolge ist die exakte Reproduzierbarkeit der experimentellen Bedingungen stark erschwert. Ob bei der Wiederholung der Erstellung von I/t-Kurven am selben Patienten in Abständen von Tagen oder Wochen dieselben kleinen Gruppen von Muskelfasern wieder zuerst motorisch überschwellige Reaktionen zeigen, ist meist nicht sicher zu beantworten.

Der von LANGE 1979 beschriebene Mittelfrequenztest ist wesentlich einfacher und zeitsparender durchzuführen und kann daher heutzutage I/t-Kurven ersetzen.

Literatur:

ALBERTS, B., D. BRAY, J. LEWIS, M. RAFF, K. ROBERTS and J. D. WATSON:
Molecular Biology of the Cell.
2nd Edition
New York: Garland Publishing Inc. 1989

Deutsche Übersetzungen:
(L. JAENICKE u. a.):

Molekularbiologie der Zelle.
2. Auflage
Weinheim, Bergstraße, VCH Verlags GmbH 1990

3. überarbeitete und neu gestaltete Auflage 1995

JERUSALEM, F., und St. ZIERZ:
Muskelkrankungen.
Klinik - Therapie -Pathologie
Stuttgart, New York: thieme 1991

LANGE, A.:
Diagnostische Möglichkeiten der Mittelfrequenzreizung.
Z. Physiother. Leipzig **31**, 3 - 10 (1979)

Auszug aus

Julia K. **TERZIS**, M. D., Ph. D., and Kevin L. **SMITH**:

The Peripheral Nerve

Structure, Function and Reconstruction

A Hampton Press Publication, Norfolk, Virginia. Raven Press: New York
1990

Frau Professor Dr. med. et phil. **Julia K. TERZIS**
ist
President of the International Microsurgery Society
(Präsidentin der Internationalen Gesellschaft für Mikrochirurgie),
Associate Professor of Plastic and Reconstructive Surgery
(Professorin für Plastische und Rekonstruktive Chirurgie),
Associate Professor of Anatomy and Physiology
(Professorin für Anatomie und Physiologie)
an der
Eastern Virginia Medical School
(Medizin. Hochschule Ost-Virginia)
in
Norfolk, Virginia, USA

Herr Dr. med. **Kevin L. SMITH**
ist
Assistant Professor of Plastic Surgery
(Professor für Plastische Chirurgie)
an der
University of North Carolina,
Chapel Hill,
und
Attending Surgeon
("Begleitender" Chirurg)
in
Charlotte Memorial, Charlotte Rehabilitation, and Presbyterian Hospitals
in
Charlotte, North Carolina, USA

Auszug aus

Julia K. TERZIS, M. D., Ph. D., and Kevin L. SMITH:

The Peripheral Nerve

Structure, Function and Reconstruction

A Hampton Press Publication, Norfolk, Virginia. Raven Press: New York
1990

Frau Professor Dr. med. et phil. **Julia K. TERZIS**

ist

President of the International Microsurgery Society
(Präsidentin der Internationalen Gesellschaft für Mikrochirurgie),

Associate Professor of Plastic and Reconstructive Surgery

(Professorin für Plastische und Rekonstruktive Chirurgie),

Associate Professor of Anatomy and Physiology

(Professorin für Anatomie und Physiologie)

an der

Eastern Virginia Medical School
(Medizin. Hochschule Ost-Virginia)

in

Norfolk, Virginia, USA

Herr Dr. med. **Kevin L. SMITH**

ist

Assistant Professor of Plastic Surgery

(Professor für Plastische Chirurgie)

an der

University of North Carolina,
Chapel Hill,

und

Attending Surgeon
("Begleitender" Chirurg)

in

Charlotte Memorial, Charlotte Rehabilitation, and Presbyterian Hospitals

in

Charlotte, North Carolina, USA

Seite 134: **Electrical Stimulation****Elektrische Reizung**

Seit den frühen Vierzigerjahren, nachdem man erkannt hatte, daß Elektrostimulation nach Nervenläsionen muskelatrophieverzögernd wirkt (CRAIG, 1944), gewann diese Therapiemethode zunächst und verlor darauf jedoch bald wieder an Popularität. Obwohl noch viel über ihre Brauchbarkeit und Praktikabilität gestritten wird (FRYKMAN & WAYLETT, 1981), vertreten die Autoren zwar nur gefühlsmäßig aber sehr entschieden die Meinung, daß durch Elektrotherapie bei partiell und total denervierten Muskeln die Quantität und die Qualität der Muskeln erhalten werden kann, und daß Elektrotherapie die Chance für eine erfolgreiche Reinnervation dadurch vergrößert, daß sie die für eine solche Reinnervation verfügbare Zeitspanne bis zum Eintritt irreversibler denervationsbedingter Schäden am Muskel verlängert. Die allgemein übliche praktische Durchführung der transkutanen galvanischen Stimulation, appliziert an jedem betroffenen Muskel und durch den Therapeuten oder den Patienten selbst kontrolliert, in einfacher Art und Weise in Form von Ein- und Aus-Reizen angewandt, ist in grober Weise unangemessen (inadäquat), und wahrscheinlich war diese Form der Anwendung der Elektrotherapie die Ursache dafür, daß es in der Folgezeit an allgemeiner Unterstützung für diese Therapie mangelte. Unter den Bedingungen einer derartigen elektrotherapeutischen Behandlung wird jeder betroffene Muskel jeden Tag lediglich während einer kurzen Periode stimuliert, und während jeder therapeutischen Sitzung wird der Strom üblicherweise für eine lange Zeit im Übermaß mit einer wirksamen, d. h. zu Kontraktionen führenden Stimulationsintensität angewandt. Eine Reizdauer in der Größenordnung von 100 Millisekunden für jede Applikation kann nicht manuell kontrolliert werden, und die übertrieben langen Stimulationsperioden führen zu Schmerzen, schaden dem Patienten und verursachen Hautirritationen. Schmerzen und Hautreizungen vermindern die Wahrscheinlichkeit des Einverständenseins ("Compliance") des Patienten mit dieser Art der Behandlung (LIBERSON & TERZIS, 1987).

Um die Wirksamkeit der Elektrotherapie zu maximieren und gleichzeitig eine planmäßig durchzuführende Behandlungsart zu entwickeln, die vom Patienten als bequem, angenehm und praktikabel erlebt wird, müssen mehrere Parameter in Betracht gezogen werden. Der Strom und/oder die Wellenform, die Dauer des Stimulationsimpulses, die Stärke und der Typ der Kontraktion, die Anzahl der Kontraktionen pro Behandlung, und die Zeitplanung sowie die Dauer jeder Behandlung sind die wichtigsten Variablen (ECHTERNACH, 1987).

Unter Berücksichtigung dieser drei Faktoren entwickelte LIBERSON einen "Einschleich-Impuls-Stimulator" ("slow-pulse stimulator"), der eine vernünftige Applikation dieser Art der Elektrotherapie erlaubt (LIBERSON & TERZIS, 1987).

Der "Einschleich-Impuls-Stimulator" gibt Impulse mit einer Frequenz von etwa 0,1 Hz ab, d. h. etwa alle 10 Sekunden 1 Impuls. Der Stimulator enthält eine Uhr, welche die Behandlungszeit auf etwa 20 Minuten begrenzt. Diese zeitliche Verteilung der elektrischen Reize und die zeitliche Begrenzung der Behandlungsdauer hat sich insofern bewährt, als niemals schädigende Wirkungen auf die zwischen Elektroden und Muskel liegende Haut und das subkutane Gewebe beobachtet wurden. Eine alternierende Reizprogramm-Abgabetechnik erlaubt

es, über den ganzen Tag verteilt etwa jede Minute einmal zu stimulieren. Eine "Gegenstrom"-Einrichtung ist in das System eingebaut, die einen entgegengesetzt gerichteten Strom zur Verfügung stellt, jeweils über 10 Sekunden verteilt und mit einer Amplitude von 1 % des stimulierenden Stromes. Dieser Gegenstrom hebt die Polarisation der Haut, die durch den Stimulationsstrom erzeugt wird, wieder auf und hilft damit, Hautschäden zu vermeiden.

Die Ausbreitung des Reizstromes auf benachbarte innervierte Muskeln kann zu verstärkten Kontraktionen führen, welche die Kontraktionen des denervierten Muskels maskieren, so daß sich die Wirkungen der Stimulation auf den Zielmuskel gar nicht beurteilen lassen. Dieses unerwünschte Phänomen kann durch den Gebrauch einer progressiven Sägezahn-Wellenform mit einer Anstiegszeit in der Größenordnung von 100 bis 200 ms eliminiert oder minimiert werden. Mit therapeutischen Sitzungen, bei denen die **eigentlichen Stimulationszeiten auf höchstens 20 Minuten pro Stunde begrenzt** sind, mit völlig stimulationsfreien Intervallen von mindestens einer Stunde zwischen den Sitzungen, beträgt die **für wirklich jeden Tag zu empfehlende Gesamtstimulationszeit 5 Stunden für Erwachsene und 3 Stunden für Kinder** (LIBERSON & TERZIS, 1987).

Wenn die Reinnervation des Muskels beginnt, muß der "Einschleich-Impuls-Stimulator" ("slow-pulse stimulator") durch einen "Kurz-Impuls-Stimulator" ("brief pulse stimulator") ersetzt werden. Dann werden tetanisierende Reize von jeweils 2500 ms Dauer, unterbrochen durch gleichlange Pausen, mit der Absicht appliziert, die Kraft des reinnervierten Muskels zu steigern, das Zentralnervensystem mit muskulokutanem Feedback zu bombardieren zum Zweck der durch Übung zu bewirkenden Wiederherstellung der sensorischen und motorischen Funktionen und zur Verminderung von Schmerzen und anderen Unannehmlichkeiten während der Regeneration der Nerven. Es gibt keine Daten, auf Grund derer man die Dauer der täglich erforderlichen Stimulation wissenschaftlich begründet und verbindlich vorschreiben könnte, aber die gegenwärtig empirisch gültige Formel (LIBERSON & TERZIS, 1987) für Erwachsene und Kinder lautet **"1000 Übungen täglich!"**

Es gibt keine streng kontrollierten Studien am Menschen zur Prüfung der Wirksamkeit von Elektrotherapie, aber Tierexperimente haben gezeigt, daß durch direkte elektrische Stimulation denervierter Muskeln die Atrophie sowohl von Typ-I- als auch von Typ-II-Fasern verzögert werden konnte (PACHTER et al., 1982). Indirekte Reizung partiell denervierter quergestreifter Muskeln führte zu höheren Werten für die Masse (Gewicht) der behandelten Muskeln, die Kraft (Spannung) der Einzelzuckung sowie der tetanischen Kontraktion im Vergleich zu den nicht-stimulierten, partiell denervierten Kontrollen (HERBISON et al., 1986). Es gibt Hinweise darauf, daß dieses Ergebnis auf einen stimulationsinduzierten Anstieg des Aussprossens von Axonen zurückzuführen ist (HOFFMAN, 1952). Experimentelle Langzeitstimulation führt im Ergebnis zu histochemischen Hinweisen auf Muskelfaserumwandlungen (SALMONS & HENRIKSON, 1981) und verhindert die Abnahme der Enzyme des oxydativen Stoffwechsels im Muskel (NEMETH, 1982).

Literatur:

CRAIG, W. M.:

Peripheral nerve surgery - postoperative rehabilitation.
J. Neurosurg. **1**, 149 -155 (1944)

ECHTERNACH, J. L.:

Rehabilitation of peripheral nerves.
Paper presented at
International Symposium on Extremity Trauma and Burns,
November 5 - 6, 1987, Norfolk, Virginia, USA

FRYKMAN, C. K., and J. WAYLETT:

Rehabilitation of peripheral nerve injuries.
Orthop. Clin. North. Am. **12 (2)**, 361 - 379 (1981)

HERBISON, C. J., M. M. JAWEED and J. F. DITUNNO:

Electrical stimulation of sciatic nerve of rats after partial denervation of soleus muscle.
Arch. Phys. Med. Rehabil. **67**, 79 - 83 (1986)

HOFFMAN, A.:

Acceleration and retardation of the process of axon sprouting in partially denervated muscles.
Aust. J. Biol. Med. Sci. **30**, 541 -546 (1952)

LIBERSON, W. T., and J. K. TERZIS:

Contribution of clinical neurophysiology and rehabilitation medicine to the management of brachial plexus palsy.
In: J. K. TERZIS (editor):
Microreconstruction of nerve injuries.
Philadelphia: W. B. Saunders, 1987; pp. 513 - 528

NEMETH, P. M.:

Electrical stimulation of denervated muscle prevents decreases in oxidative enzymes.
Muscle & Nerve **5**, 134 - 139 (1982)

PACHTER, B. R., A. EBERSTEIN and J. GOODGOLD:

Electrical stimulation effect on denervated skeletal myofibers in rats:
a light and electron microscope study.
Arch. Phys. Med. Rehabil. **63**, 427 -430 (1982)

SALMONS, S., and J. HENRIKSON:

The adaptive response of skeletal muscle to increased use.
Muscle & Nerve **4**, 94 - 105 (1981)