



Interferenz versus Niederfrequenz

Ein Vergleich zweier Verfahren zur elektrischen Muskelstimulation

**B. Gubler
M. Hildebrandt**

Zusammenfassung: In einer experimentellen Studie wurde an 20 gesunden Probanden untersucht, ob mit Interferenz- oder mit Niederfrequenzstimulation von 50 Hz der Quadricepsmuskel effektiver und weniger schmerzhaft stimuliert werden kann. Anhand einer Schmerzskala wurden bei verschiedenen elektrisch induzierten Kontraktionskräften der dabei empfundene Schmerz gemessen. Mit einem Cybex™-Dynamometer wurde die maximal elektrisch stimulierbare Kontraktionskraft des Muskels ermittelt. Die Ergebnisse zeigten einerseits eine signifikant geringere Schmerzhaftigkeit des verwendeten Interferenzverfahrens bei allen gemessenen Kontraktionsstärken und andererseits eine signifikant grössere Kraftentwicklung des Interferenzverfahrens bei maximaler Reizintensität. Diese Studie hat gezeigt, dass mittels Interferenzstimulation eine kräftigere und weniger schmerzhaft Muskelkontraktion möglich ist als mit Niederfrequenzstimulation.

Résumé: L'étude consistait à vérifier chez 20 sujets sains par quelle méthode le Quadriceps pouvait être stimulé de manière plus efficace et avec moins de douleur: soit par une stimulation à 50 Hz par interférence, soit une stimulation de basse fréquence.

Nous avons mesuré la douleur provoquée par différentes contractions induites électriquement, au moyen d'une échelle d'intensité de douleur. La force de contraction maximale atteignable par stimulation électrique fut déterminée au moyen d'un dynamomètre Cybex™. Les résultats mettent en évidence d'une part une douleur nettement réduite du procédé de stimulation par interférence à toutes les valeurs de forces de contraction et, d'autre part, un développement de force nettement plus élevé par ce procédé, par intensité d'excitation maximale. En conclusion, notre étude a mis en évidence une contraction musculaire induite par une stimulation par interférence plus forte et moins douloureuse qu'en cas d'application d'une stimulation à basse fréquence.

Abstract: The purpose of this study was to determine whether interferential or low-frequency stimulation can produce a stronger and less painful contraction of the *quadriceps femoris* muscle in 20 healthy subjects. Both currents used a pulse rate of 50 Hz. The perceived discomfort experienced with each type of electrical stimulation was quantified by the use of a visual analogue scale. An isokinetic dynamometer (Cybex™) was used to assess peak torque. Paired t-test demonstrated that interferential stimulation was perceived to be significantly less uncomfortable than low-frequency stimulation and that interferential stimulation produced a significantly greater peak torque of muscle contraction than low-frequency stimulation.

This study indicates that interferential stimulation can produce an electrically induced muscle contraction which is stronger and less unpleasant than low-frequency stimulation.

Einleitung

Die elektrische Muskelstimulation (EMS) ist eine in der Rehabilitation häufig angewendete Methode zur Innervationsschulung und Kräftigung der Muskulatur. Studien in Amerika haben gezeigt, dass mit hochdosierten elektrischen Muskelkontraktionen während 4–6 Wochen sowohl die isometrische Kraft verbessert [1, 13] als auch der Querschnitt der Typ-II-Muskelfasern vergrößert werden kann [5].

Bei einer elektrischen Muskelkontraktion werden hauptsächlich die Muskelfasern des Typs IIa und IIb, welche durch relativ dicke Axone mit geringem elektrischem Widerstand innerviert werden [12], aktiviert. Dies ist auch möglich, wenn ein willentliches

Aufbieten aller motorischen Einheiten nicht erfolgen kann, zum Beispiel nach Operationen oder anderen schmerzhaften Zuständen. Nicht unwesentlich für den Erfolg von EMS ist die Stärke der elektrisch induzierten Muskelkontraktionen. In den erwähnten Studien wurden Kontraktionen entsprechend 50% der maximalen willentlichen isometrischen Kraft (MWIK) und mehr induziert. Diese hochdosierten elektrischen Muskelkontraktionen wurden mit unter-

Dieser Beitrag ist eine Kurzfassung der Arbeit, welche den wissenschaftlichen Preis 1992 im Bereiche Sportphysiotherapie, getragen von der Schweizerischen Gesellschaft für Sportmedizin (SGSM) und dem Schweizerischen Physiotherapeuten-Verband (SPV), gewonnen hat.

brochenen Mittelfrequenzströmen erzielt, einem bei uns nicht verbreiteten Stimulationsverfahren. Ziel dieser Studie war, herauszufinden, ob mit den bei uns in der Schweiz verbreiteten Stimulationsverfahren, der Interferenz und der Niederfrequenz, ähnlich hohe elektrisch induzierte Muskelkontraktionen erzielt werden können, und welches der beiden Verfahren weniger Schmerzen verursacht.

Methode

Probanden

An der Untersuchung nahmen 20 gesunde Probanden zwischen 20 und 30 Jahren (Durchschnitt = 24 Jahre) teil. Getestet wurde jeweils das dominante Bein (definiert als Bein, mit dem man einen Ball tritt), welches in der Vergangenheit keine Verletzungen, Erkrankungen oder Operationen erlitten hat. Die Teilnehmer wurden zufällig in zwei gleich grosse Gruppen (A und B) aufgeteilt. Jeder Proband wurde mit jedem Verfahren getestet, jedoch im Abstand von einer Woche. Gruppe A zuerst mit der Interferenz, Gruppe B zuerst mit der Niederfrequenz.

Ausrüstung und Material

Für die Interferenzstimulationen verwendeten wir einen Uniphy Phyaaction 787TM-Apparat. Die amplitudenmodulierte Stimulationsfrequenz von 50 Hz resultierte aus den beiden Trägerfrequenzen von 4000 Hz bzw. 4050 Hz. Für die Niederfrequenzstimulationen kam ein Globalcare Myoaid EMSTM-Apparat zum Einsatz. Dieses Gerät produziert biphasische, rechteckförmige Impulse von 300 μ s Dauer bei einer Frequenz von ebenfalls 50 Hz. Die Messung der isometrischen Kräfte erfolgte mittels eines isokinetischen Dynamometers (Cybex 340TM). Um die Schmerzhaftigkeit der jeweiligen Elektrostimulation festzuhalten, wählten wir eine «visual analogue scale» [7]. Es handelt sich dabei um eine 10 cm lange Linie ohne Unterteilungsstriche. Das obere Ende der Linie steht für «unerträgliche Schmerzen», das untere Ende für «keine Schmerzen». Die Probanden mussten nach jeder Stimulation die dabei empfundene Sensation als Strich auf der Skala definieren.

Testablauf

Vor jeder Sitzung wurden die Probanden über den Testablauf informiert. Um die Messungen so wenig



Abbildung 1: Positionierung des Probanden auf dem CybexTM

wie möglich zu beeinflussen, wurden während der ganzen Testperiode keine Ergebnisse an die Probanden weitergegeben. Als erstes wurden die 4 Motorpoints des *M. quadriceps femoris* bestimmt, welche wir als Elektrodenfixationspunkte verwendeten [2]. Die entsprechenden Hautstellen wurden rasiert und desinfiziert. Nach einem kurzen Aufwärmprogramm auf einem Fahrradergometer nahmen die Probanden auf dem CybexTM Platz, die Elektroden wurden fixiert und das Knie in 60° Flexion arretiert (Abb. 1). Anschliessend wurde die maximale willentliche isometrische Kraft (MWIK) des Quadricepsmuskels ermittelt. In der letzten Phase des Tests erfolgten die elektrischen Stimulationen, wobei die Probanden die Intensität selber regulierten (Abb. 2). Zur Ermittlung der zwei ersten Testwerte mussten die Probanden die Reizintensität so lange steigern, bis eine Kontraktion entsprechend 15% bzw. 30% der MWIK

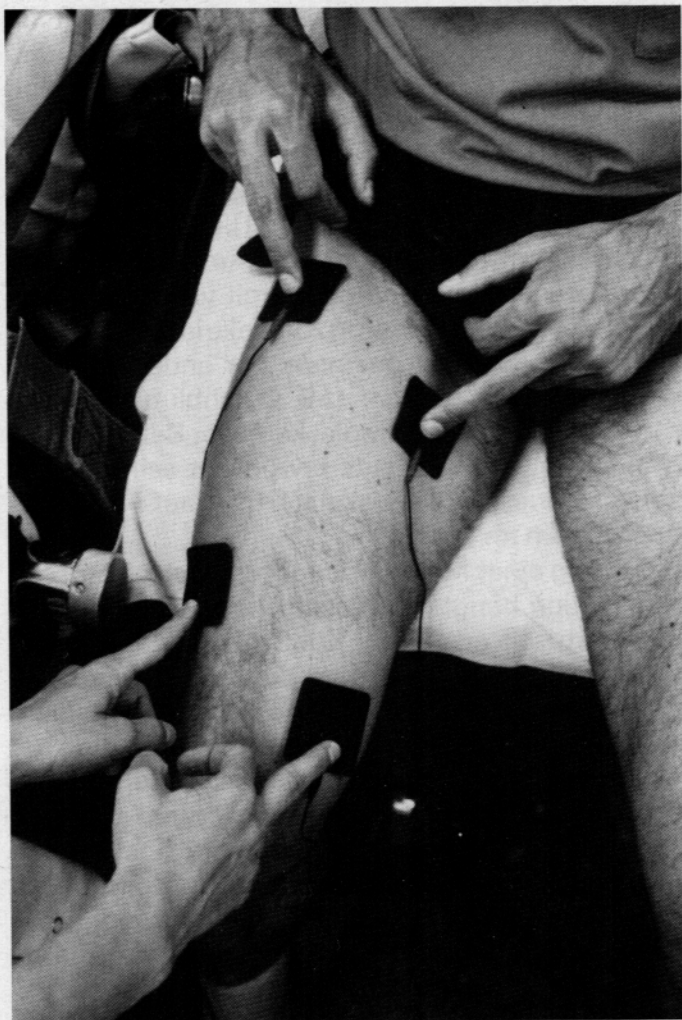


Abbildung 2: Elektrodenplatzierung

dar aus resultierte. Beim dritten Versuch musste die Intensität bis zur maximal erträglichen Kontraktion gesteigert werden. Der dabei erreichte Wert wurde als maximal elektrisch stimulierbare Kraft (MESK) bezeichnet. Nach jeder Stimulation mussten die Probanden die Schmerzskala ausfüllen. Am Ende der Testreihe wurden die Probanden noch nach ihrer subjektiven Meinung bezüglich der Schmerzhaftigkeit der Stimulationsverfahren gefragt.

Statistik

Zum statistischen Vergleich der maximalen elektrischen Kraftentwicklung und der Schmerzen bei Interferenz und Niederfrequenz wurde nach Prüfung auf Normalverteilung der verkürzte *t*-Test (paired *t*-Test) verwendet. Die Schmerzen wurden in Zentimeter vom Nullpunkt (keine Schmerzen) bis zur Markierung des Probanden gemessen. Die Kraftentwick-

lung wurde bei jeder willentlichen oder elektrisch stimulierten Kontraktion in Newtonmeter auf dem Cybex™ abgelesen.

Resultate

Als Ausschlusskriterium wurde die Differenz zwischen Zielwert und dem effektiv erreichten Kraftwert auf nicht grösser als 8% der MWIK gesetzt. Drei Probanden mussten deshalb aus der Studie ausgeschlossen werden.

Die Interferenzstimulationen waren sowohl bei 15% und 30% der MWIK als auch bei maximal erträglicher Stimulation signifikant weniger schmerzhaft als die Niederfrequenzstimulationen (Tab. 1).

Auch subjektiv wurde der Interferenzstrom von allen Probanden ($n = 17$) als angenehmer und weniger stechend empfunden als der Niederfrequenzstrom. Mit dem Interferenzstrom wurde nicht nur weniger Schmerz ausgelöst, sondern auch eine signifikant höhere Kraftentwicklung erreicht. Dies trifft sowohl auf die absolute wie auch die prozentuale Kraftentwicklung (in bezug zur MWIK) zu (Tab. 2 und Abb. 3).

	Interferenz (cm auf VAS)		Niederfrequenz (cm auf VAS)		p ^a
	\bar{x}	\pm SD	\bar{x}	\pm SD	
Schmerzen bei 15% MWIK	2.8	1.9	5.3	2.6	S
Schmerzen bei 30% MWIK	4.0	2.4	6.6	2.0	S
Schmerzen bei maximal erträglicher Stimulation	6.0	2.5	7.3	2.5	S

Tabelle 1: Mittlere Schmerzen nach Interferenz- und Niederfrequenzstimulation für alle Probanden ($n = 17$) bei 15% und 30% der maximalen willentlichen isometrischen Kraft (MWIK) und bei maximal erträglicher Stimulation. VAS = visual analogue scale.

^a signifikant bei $p < 0.05$; SD = Standardabweichung.

	Interferenz		Niederfrequenz		p ^b
	\bar{x}	\pm SD	\bar{x}	\pm SD	
MESK (Nm)	109	33	89	33	S
MESK (%)	56%	18%	46%	15%	S

Tabelle 2: Mittlere Kraftentwicklung während maximaler Interferenz und Niederfrequenzstimulation für alle Probanden ($n = 17$).

^b signifikant bei $p < 0.05$; SD = Standardabweichung.

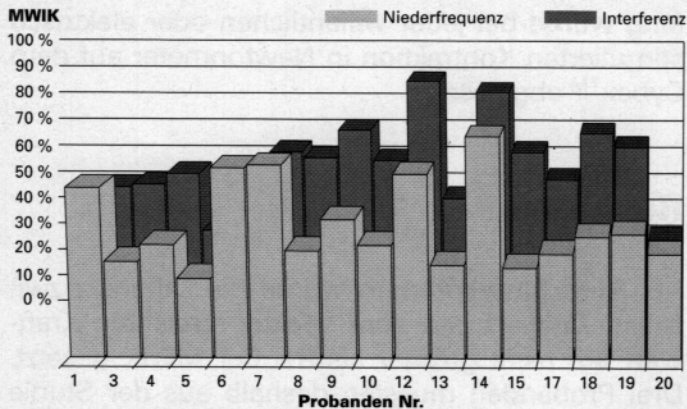


Abbildung 3: Vergleich der maximal elektrisch stimulierten Kräfte

Abbildung 3 stellt für jeden Probanden die mit Niederfrequenz und Interferenz maximal elektrisch stimulierte Kraft dar. Eine kräftige Stimulation mit dem einen Verfahren bedeutete meist auch eine kräftige Stimulation mit dem anderen Verfahren.

Zusammenfassend: Mit dem Interferenzstrom wurde bei signifikant geringerer Schmerzinduktion eine signifikant grössere Kraftentwicklung erreicht.

Diskussion

Das Ziel der Untersuchung war, zu prüfen, inwiefern niederfrequente Wechselströme und Interferenzströme von 50 Hz zur elektrischen Muskelstimulation geeignet sind. Unser Interesse richtete sich dabei einerseits auf die maximale elektrisch auslösbare Kontraktionskraft des *M. Quadriceps femoris* und andererseits auf die damit verbundenen Schmerzen. Dazu wurden an gesunden Probanden die beiden Stimulationsverfahren miteinander verglichen. Die maximale elektrisch stimulierte Kraft wurde in Prozenten der willentlichen isometrischen Maximalkraft berechnet und die subjektiven Schmerzen anhand einer «Visual Analogue Scale», welche vom «keine Schmerzen» bis «unerträgliche Schmerzen» reichte, festgehalten. Die Stromstärke wurde bei beiden Geräten von den Probanden reguliert.

Die Untersuchung zeigte, dass der Interferenzstrom signifikant weniger schmerzhaft war als der niederfrequente Wechselstrom. Dies galt für die Schmerzquantität wie auch für die Schmerzqualität. Der Hauptgrund dafür ist der niedrigere kapazitive Widerstand und die somit geringere Hautbelastung des Interferenzstromes. Die Untersuchung zeigte auch,

dass mit Interferenzstrom eine grössere Kraftentwicklung möglich war als mit niederfrequentem Wechselstrom. Eine Abhängigkeit von der Kraftentwicklung und dem erzeugten Schmerz war hier wahrscheinlich entscheidend, obwohl niederfrequente Ströme eine niedrigere Schwellenstromstärke besitzen als mittelfrequente Ströme [11]. Niederfrequente Wechselströme sind somit aufgrund der höheren Schmerzauslösung und der damit verbundenen limitierten Kraftentwicklung zur elektrischen Muskelstimulation weniger geeignet. Für andere Anwendungsbereiche hingegen (z.B. Durchblutungsförderung oder Schmerztherapie) kann der Reizeffekt der Niederfrequenz durchaus erwünscht sein. Zudem spricht denervierte Muskulatur nur auf Niederfrequenzstrom an [8, 9].

Der Erfolg einer Muskelkräftigung durch elektrische Stimulation hängt im wesentlichen von der Stärke der elektrisch erzeugten Kontraktionskraft ab. Zusätzlich vermutet man, dass die individuelle Empfänglichkeit für die elektrische Muskelstimulation von Wichtigkeit ist. Auch unsere Untersuchung hat gezeigt, dass nicht alle Probanden zu hohen elektrischen Kontraktionskräften fähig waren (Abb. 3). Wahrscheinlich ist dies weniger auf die Hautbeschaffenheit, sondern vielmehr auf anatomische Unterschiede der oberflächlichen Nervenverästelung [10] und nach neuesten Untersuchungen auch auf die Art der Schmerzbewältigung des Empfängers von Elektrotherapie [3] zurückzuführen. Hohe Kontraktionskräfte sind auch für die elektrische Muskelstimulation im Sinne einer Innervationsschulung entscheidend, da anzunehmen ist, dass, je grösser die Anzahl rekrutierter motorischer Einheiten ist, desto grösser auch das sensorische Feedback zum zentralen Nervensystem sein muss. Unserer Meinung nach sollten deshalb die elektrisch ausgelösten Kontraktionen mindestens 50% der willentlichen Maximalkraft betragen. Mit dem Interferenzstrom wurden im Durchschnitt 56%, mit dem niederfrequenten Wechselstrom im Durchschnitt 46% der willentlichen Maximalkraft erreicht. Eine Kraftzunahme wäre also theoretisch durch beide Stimulationsverfahren zu erzielen. Da es sich in unserer Untersuchung um Werte von Gesunden bei maximaler Erträglichkeit handelte, welche in der Praxis kaum zumutbar erscheinen, werden bei Patienten die Trainingsintensitäten vor allem bei Niederfrequenzstimulationen aufgrund der grösseren Schmerzhaftigkeit tiefer liegen. Dies trifft auch für Interferenzstimulationen zu, jedoch in geringerem Masse. Ob nun der potentielle Trainings-

effekt von Interferenzstrom grösser ist als derjenige des Niederfrequenzstromes, konnte in dieser Untersuchung nicht gezeigt werden. Wissenschaftliche Studien, die den langfristigen Effekt beider Verfahren miteinander vergleichen, sind uns nicht bekannt. In Anbetracht des Aufwandes der elektrischen Muskelstimulation stellt sich auch die Frage nach den Vorteilen von elektrischem Muskeltraining gegenüber dem natürlichen Training. Grundsätzlich erscheint uns die elektrische Muskelstimulation als unangebracht, wenn das Ziel einer Kräftigung auch durch natürliches Training erreicht wird, da dieses jederzeit und ohne grossen technischen und finanziellen Aufwand betrieben werden kann. Ein Muskel kann aber durch elektrische Stimulation auch dann noch aktiviert werden, wenn dies willentlich, zum Beispiel schmerzbedingt, nicht mehr möglich ist. Dabei werden hauptsächlich die Muskelfasertyp-II-innervierenden Nerven gereizt [4]. Ein durch Inaktivität bedingter Kraftverlust und eine Hypotrophie eines Muskels kann somit verringert oder sogar verhindert werden [1, 13]. Es gilt dabei zu bedenken, dass durch elektrisches Muskeltraining aufgrund der synchronen Aktivierung fast aller motorischen Einheiten lediglich die Maximalkraft eines Muskels beeinflusst werden kann. Ob auch die intramuskuläre Koordination mit EMS verbessert werden kann, ist zu bezweifeln. Auch die Ausdauerkraft kann wohl kaum wesentlich verbessert werden. Die elektrische Muskelstimulation kann folglich ein natürliches und funktionelles Muskeltraining nicht ersetzen, sondern unter den erwähnten Umständen nur ergänzen. Ein gezielter Einsatz der elektrischen Muskelstimulation könnte hingegen die Rehabilitationszeit verkürzen. Um den Einsatz und die Anwendung der Elektrostimulation noch besser zu definieren, wären weitere Untersuchungen hilfreich. Unser Vorschlag wäre eine Studie, welche aufgrund unserer Ergebnisse den Trainingseffekt von Interferenz- und Niederfrequenzstimulation längerfristig untersuchen würde.

Schlussfolgerung

In einer experimentellen Studie wurde an gesunden Probanden untersucht, ob mit Interferenz- oder Niederfrequenzströmen von 50 Hz der Quadricepsmus-

kel effektiver und weniger schmerzhaft stimuliert werden kann. Anhand eines Testprotokolls wurden bei verschiedenen elektrisch induzierten Kontraktionskräften der dabei empfundene Schmerz gemessen und die maximal elektrisch stimulierbare Kraft ermittelt.

Die Ergebnisse zeigten eine signifikant geringere Schmerzhaftigkeit ($p < 0.05$) des verwendeten Interferenzstromes bei allen gemessenen Kontraktionsstärken einerseits und eine signifikant grössere Kraftentwicklung ($p < 0.05$) bei maximal erträglicher Reizintensität andererseits.

Diese Studie hat gezeigt, dass Interferenzströme unter dem Aspekt der elektrischen Muskelstimulation Niederfrequenzströmen vorzuziehen sind.

Literatur

- 1 Currier D.P., Mann R.: Muscle strength development by electrical stimulation in healthy individuals. *Phys. Ther.*, 63, 915-921, 1983.
- 2 Delagi E.F., Perotto A., Lazzetti J., et al.: Anatomic guide for the electromyographer; the limbs. Charles C. Thomas, Springfield (IL) USA, 1989.
- 3 Delitto A., Strube M.J., Shulman A.D., Minor S.D.: A study of discomfort with electrical stimulation. *Phys. Ther.*, 72, 410-424, 1992.
- 4 Delitto A., Snyder-Mackler L.: Two theories of muscle strength augmentation using percutaneous electrical stimulation. *Phys. Ther.*, 70, 158-164, 1990.
- 5 Delitto A., Brown M., Strube M.J., et al.: Electrical stimulation of quadriceps femoris muscle in an elite weight-lifter: a single subject experiment. *Int. J. Sports Med.*, 10, 187-191, 1989.
- 6 Delitto A., McCarthy J.A., McKowen J.M., et al.: Electrically elicited co-contractions of thigh musculature after anterior cruciate ligament surgery. *Phys. Ther.*, 68, 45-50, 1988.
- 7 Duncan G., Bushnell C., Lavigne G.: Comparison of verbal and visual analogue scales for measuring the intensity and unpleasantness of experimental pain. *Pain*, 37, 295-303, 1989.
- 8 Lange A.: Die Bedeutung der Mittelfrequenz-Stromreizung und ihre Anwendungsmöglichkeiten in Elektrodiagnostik und -therapie. Medizinische Akademie «Carl Gustav Carus», Dresden (D) 1978.
- 9 Lange A.: Diagnostische Möglichkeiten der Mittelfrequenzreizung. *Z. Physiother.*, 31, 3-10, 1979.
- 10 Lieber R.L., Kelly M.J.: Factors influencing quadriceps femoris muscle torque using transcutaneous neuromuscular electrical stimulation. *Phys. Ther.*, 71, 715-723, 1991.
- 11 Müller C., Hollstein H.-J.: Reizintensität/Reizezeitkurven mit Mittelfrequenzströmen im Vergleich zu Niederfrequenzströmen. Medizinische Akademie «Carl Gustav Carus», Dresden (D) 1975.
- 12 Sjöström M., Downham D.Y., Lexell J.: Distribution of different fiber types in human skeletal muscle: Why is there a difference within a fascicle? *Muscle and Nerve*, 9, 30-36, 1986.
- 13 Soo C.L., Currier D.P., Threlkeld A.J.: Augmenting voluntary torque of healthy muscle by optimization of electrical stimulation. *Phys. Ther.*, 68, 333-337, 1988.

Anschrift der Autoren:

Barbara Gubler, Seftigenstrasse 54, CH-3007 Bern

Markus Hildebrandt, Oberdorfstrasse 26, CH-3303 Jegenstorf