

신경근전기자극에 의한 대퇴사두근의 최대 등척성 수축력 및 피로도 변화

정 성 관

(가톨릭대학교 대전성모병원 물리치료실)

이 정 우

(홍재의원 물리치료실)

Changes of Maximal Isometric Contraction and Fatigue of Quadriceps Femoris Muscle by NMES

Jeong Seong-Gwan, P.T., M.S.

(Dept. of Physical Therapy, Daejeon Sungmo Hospital, Catholic University)

Lee Jung-Woo, P.T., M.P.T.

(Dept. of Physical Therapy, Hongjae Clinic)

ABSTRACT

The purpose of this study was to determine the effect of muscle contraction torque and muscle fatigue by low-frequency PC. In this article, We would like to experiment on electrical stimulation, determine optimal forms of stimulation setting.

We used normal fourteen subjects(seven women, seven men) without neuromuscular disease and all subjects participated in the 3 session. Torque was measured using a computerized Kin-Com dynamometer for MVIC, MIC, Fatigue tests.

The following results were obtained;

1. Torque of man were significantly higher than women in the MIC test($p < .05$).
2. Torque of women, man were significantly decreased in the Fatigue test($p < .001$).
Between woman and man groups were significant difference($p < .05$).

These results lead us to the conclusion that muscle fatigue was influenced by PC, fatigue of women was higher than man. Therefore, A further studies concerning the electrical stimulation should consider differences between sexes in response to treatment and could enhance the development of the most effective treatment regimens.

Key Word : NMES, Maximal Isometric Contraction, Fatigue, Pulsed Current.

1. 서 론

신경지배근의 자극을 위해 사용되는 전류로는 저전압 맥동전류, 고전압 맥동전류, 중주파 교류 등 다양하다. 그러나 임상적으로 신경근전기자극(neuromuscular electrical stimulation; NMES)을 목적으로 가장 많이 사용하는 전류는 맥동전류이다(Pfeifer 등, 1997). 맥동전류는 전자가 다음 맥동전 한정된 시간동안에 한 방향 또는 양방향으로 흐르면서 단속되는 것이고, 맥동은 한정된 시간에 분리되고 단절되는 전류이다(Robinson & Snyder-Mackler, 1995). 맥동전류에는 위상기간(phase duration), 맥동기간(pulse duration), 맥동간격(interphase interval), 강도증감속도(rise and decay rate) 등에 따라 형태가 다양하고 생리화학적 반응이 서로 다르다(이재형, 1995).

맥동전류를 이용한 신경근전기자극은 1970년대부터 시작되었으며, 정상근육뿐만 아니라 위축이 있는 근육에서도 근력이 증가되었다는 연구 결과가 보고된 이후부터 본격적으로 임상에 적용되기 시작하였다(Delitto 등, 1995). Snyder-Mackler 등(1989)은 위상기간을 변조하면 전기자극에 의해 발생한 우력(torque)이 달라진다고 하였으며, Binder-Macleod 등(1993)은 근 피로에 크게 영향을 주는 자극 변수들은 맥동 진폭, 맥동 빈도와 순환주기라고 하였다. 그러나 Laufer 등(2001)은 최소의 근 피로를 유발하면서 강한 근 수축을 일으킬 수 있는 최상의 조건을 결정하기는 어렵다고 하였다. Delitto 등(1995)은 신경근전기자극에 의한 근력강화 훈련에서 근 피로가 효과를 결정하는 요소라 하였으며, 근 지구력 향상을 위한 훈련방법의 임상연구는 없었다고 하였다.

Gersh(1993)는 전기자극에 의한 수축동안 수축시간과 자극빈도를 제한하여 피로를 최소화 할 수 있다고 하였고, 수축 사이에 적당한 휴식기간을 두면 연속적이고 강한 근수축을 유발 할 수 있다고 하였다. 전기자극으로 발생한 수축력에 대한 연구에서, Delitto 등(1995)은 최대 수의적 등척성 수축(maximal voluntary isometric contraction; MVIC)과 전기자극에 의한 최대 등척성 우력(maximal voluntary isometric torque; MVT)을 비교하였고, Selkowitz 등(1985)은 수의적 수축에 의한 근력과 전기자극에 의한 근수축력은 상관관계가 있다고 하였다. 또한 Alon 등(1999)은 전기자극에 의한 통증역치와 이 때 발생하는 수축력은 모두 여자가 남자보다 더 낮다고 하였다.

근육재활을 위한 전기자극은 널리 사용되고 있으나 성별에 따른 근수축력과 근피로에 관한 연구는 많지 않았다. 따라서 본 연구는 맥동전류를 이용한 신경근전기자극이 성별에 따른 근수축력과 근피로에 미치는 영향을 등속성 운동분석 장치를 이용하여 정량적 평가를 통하여 알아보고 임상적 효율성을 평가하는데 필요한 자료로 활용하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상

대상자는 신체 건강한 남자 7명과 여자 7명이 참여하였다. 모든 대상자들은 신경계나 근골격계 손상이 없는 사람으로 하였으며, 본 실험에 영향을 미칠 수 있는 물리적, 화학적인 모든 요인을 최대한 제한시켰다. 실험대상자는 실험 시작 전 20분간 안정을 취했으며, 실험실 온도는 25~28℃, 습도는 64~70%였다.

2. 측정기구

전기자극은 단상직사각형파의 저주파 맥동전류가 발생하고, 주파수, 맥동기간, 순환주기, 경사증감시간의 변조가 가능한 신경근전기자극기(Best, Dynatens 301, Korea)를 사용하였다(표 1).

Kin-Com dynamometer(Chattanooga Group Inc, 4717 Adams Rd, PO Box 489, Hixon, TN 37343)는 좌측 대퇴사두근의 MVIC와 모든 전기자극에 의한 등척성 근수축의 근수축력을 측정하고자 사용하였다. 전기자극에 의한 수축에서 근수축력을 측정하기 위한 Kin-Com dynamometer 적용은 선행연구논문을 따랐다(Laufer 등, 2001).

표 1. Characteristics of Parameters

Waveform	Frequency (pps)	Phase Duration (μ s)	Duty Cycle(s)		Ramp Time(s)	
			On	Off	Up	Down
Monophasic rectangular	50	200	7	2	1	1

3. 실험방법

각 대상자는 3가지 과정에 참여하였다. 대상자들은 실험과정동안 어떤 형태의 파형인지 정보를 주지 않았다. 측정부위는 좌측 대퇴사두근으로 하였다.

실험은 3단계로 실시하였는데, 먼저 대퇴사두근의 최대 수의적인 등척성 수축력을 측정하였고, 2단계에서는 최대 참을 수 있는 자극 강도에서 근 수축력을 측정하였으며, 3단계에서는 전기자극에 의한 근 피로를 측정하였다.

1) 최대 수의적 등척성 수축(MVIC)

대상자를 슬관절 60° 굴곡상태로 dynamometer에 앉히고 다리와 대퇴 그리고 골반은 패드와 벨트로 고정하였다. 등 받침은 110° 후방으로 기울였고 경골 내측상과로부터 상부로 5 cm위치에서 경골패드를 부착하였다. 지레받침대(fulcrum lever arm)는 대퇴골 외측상과에 일직선이 되게 하였다. 대상자의 자세는 모든 실험과정에서 같도록 유지하였다.

대상자들에게 팔짱을 끼게 하고, "kick"라고 구두명령을 하면 3초 동안 최대로 슬관절을 신전하도록 하여 그 힘을 측정하였다. 대상자들은 모니터의 측정값을 볼 수 없도록 하였으며, 1분간의 휴식시간을 두고 3회 실시하여 그 평균값을 MVIC로 정의하였다.

2) 전기자극에 의한 최대 등척성 수축(MIC)

대상자들의 대퇴부 피부저항을 줄이기 위하여 젖은 수건으로 닦고 2개의 전극을 배치하였다. 하나의 전극은 내측광근의 원위

부에 직접 배치하였고, 다른 하나는 전극간 거리가 20 cm인 대퇴직근의 근위부에 배치하였다. 연속적인 실험의 정확성을 위해 피부표면에 표시를 하였다. 대상자들은 MVIC 검사와 같은 자세로 dynamometer에 앉히고 전극을 배치하였다. 전류강도를 증가시키면서 3~5초 동안 근 수축을 6-8회 시행하여, 각 전류의 최대 내인성 강도(maximal tolerated intensity; MTI)를 결정하였다. 가시적인 근수축을 일으킬 정도의 전류강도로 증가시킨 후에 "전류강도를 더 증가시켜도 됩니까?"라고 대상자에게 물어보았고 전기자극을 주었을 때 최대한 편안함을 주기 위해 전극배치를 조절하였다.

대상자가 더 이상 참을 수 없다고 말했을 때의 그 전류강도를 결정하고 3분간 휴식을 주었다. MTI 자극 강도에서 7초간 전기자극을 주고, 이때 발생한 대퇴사두근의 근수축력 값은 dynamometer에 기록되었다. 실험하는 동안 대상자들에게 긴장을 풀도록 유도하였고, 모니터의 측정값을 볼 수 없도록 하였다.

3) 전기자극에 의한 근피로

20분 휴식을 취한 후, dynamometer에 같은 자세로 앉고 MTI의 강도로 7초 수축과 2초 휴식의 지속적인 자극을 주면서 피로측정을 하였다. 이 패턴은 48회 반복 수축하거나 근수축력의 값이 거의 zero가 될 때까지 진행시켰다. 피로자극조건인 신뢰성은 건강한 사람의 대퇴사두근을 실험한 이전의 연구에서 증명이 되었고 intraclass correlation coefficients range는 0.75에서 1.0사이이다 (McDonnell 등, 1987). 대상자들에게 팔짱을

끼게 하고, 전기자극에 의한 근수축을 일으키는 동안 긴장을 풀도록 교육시켰으며 모니터의 측정값을 볼 수 없도록 하였다.

4. 분석방법

측정된 자료들을 부호화하여 SPSS/PC 10.0(statistical package for the social sciences/personal computer)을 이용하여 통계처리 하였다. 전기자극에 의한 성별 간 근수축력 비교를 위하여 맨-휘트니 검정(Mann-Whitney U test)을 실시하였고, 시간에 따른 근 피로의 변화를 비교하기 위하여 반복측정분산분석(repeated measures ANOVA)을 실시하였다. 각 통계방법에 대한 유의수준은 $\alpha=0.05$ 로 하였다.

III. 결 과

1. 연구대상자의 일반적 특성

연구대상자 총 14명 중 남자 7명, 여자 7명이었다. 평균연령은 25.21 ± 4.28 세이었고, 평균신장은 165.93 ± 7.75 cm이었다. 평균체중은 59.64 ± 9.82 kg이었고, MVIC는 123.36 ± 43.98 N-m이었다(표 2).

2. 전기자극 강도 및 최대 등척성 수축력

대상자에게 전기자극의 강도를 증가시키면서 최대 참을 수 있는 자극강도 즉 MTI

를 측정하였는데 MTI는 남자와 여자에 따른 차이는 없었다. MTI의 자극 강도에서 유발된 MIC는 남자 15.1 ± 3.72 N-m, 9.24 ± 2.18 N-m로 남자가 여자보다 통계적으로 유의하게 높았다(표 3).

표 2. General characteristics of studied subjects

Characteristics	Mean±SD
Age(years)	25.21± 4.28
Height(cm)	165.93± 7.75
Weight(kg)	59.64± 9.82
MVIC(N-m)	123.36±43.98

표 3. Comparison of MTI and MIC

Group	MTI(mA)	MIC(N-m)
Male	40.29±9.36	15.10±3.72*
Female	39.29±3.25	9.24±2.18

mean±SD

MTI : Maximal tolerated intensity

MIC : Maximal isometric contraction

* : $p < .05$

3. 근피로도

피로도 측정동안 각 자극에 대하여 성별에 따른 변화를 살펴보면, 남녀 모두 수축력이 자극 횟수가 많아질수록 감소되었다(그림 1). 남자와 여자의 근수축력 감소는 모두 통계적으로 유의하였으며 성별에 따른 변화도 통계적으로 유의하였다(표 4).

표 4. Quadriceps femoris muscle torque of all subjects during fatigue test

Time Group	1	13	25	37	48	p ¹	p ²
Male	14.00±3.42	7.14±2.41	6.43±2.64	4.57±1.62	2.43±0.98	0.000	0.044
Female	8.43±2.30	5.71±2.69	4.29±1.11	3.43±1.40	2.71±0.76		

mean±SD

p¹ : test of Within-Subjects Effects

p² : test of Between-Subjects effects

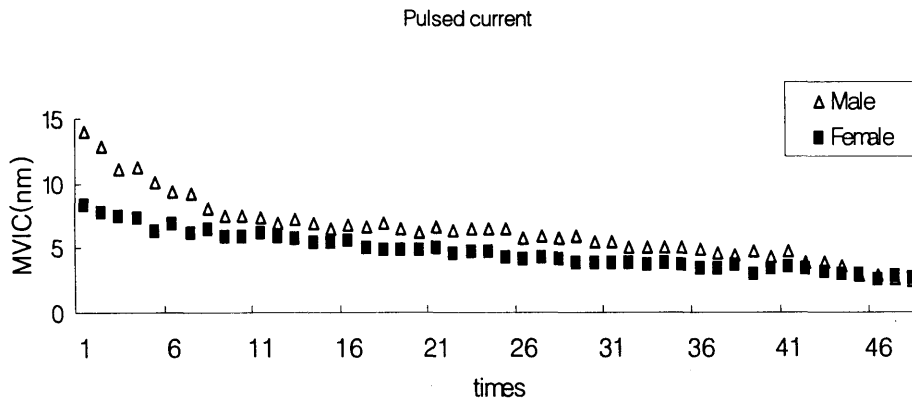


Figure 1. Quadriceps femoris muscle torque during the fatigue test of male and female subjects

IV. 고찰

임상에서의 전기치료는 전기자극으로 흥분할 수 있는 조직을 활성화시키기 위하여 이용되고 있는데 이는 신경자극과 근재교육, 근 위축방지, 근 훈련 등의 목적으로 사용되고 있다. 그러나 환자의 피로저항, 영양상태, 연령, 개인의 병력에 따라 적절히 적용하지 않으면 근 피로를 일으킬 수 있는 문제점이 있다(김순희 등, 1999). 전기의 모든

요소들은 신체에 전기의 어떤 형태를 적용하는 것이고(Basford, 1990), 박래준(1983)은 사람과 동물을 대상으로 생체에 전기자극을 적용하면 생리학적, 병리학적인 변화를 초래한다고 하였다. Kots(1982)는 전기자극 치료가 운동단위 동원을 증가시키고, 활성화되지 못한 운동단위를 이끌어낼 수 있다고 하였고, 동원된 운동단위가 근 수축을 최대로 만들고, 자극이 반복되면 장력이 증가되어 결국 근력이 증가한다고 하였다. 그러나

전기자극 치료로 근력이 증가된다는 것은 여러 연구에서 확인되고 있지만 이에 대한 반증도 많이 있다(Selkowitz, 1989).

본 연구는 전기자극 치료 중 맥동전류가 근 수축력과 근 피로에 미치는 영향과 성별에 따른 차이를 알아보려고 하였다. 본 연구의 결과를 살펴보면, MIC는 MVIC의 2~26%의 수축력에 해당되었는데, 이것은 전기자극에 대한 민감성이 높게 나타난 것이며, 성별에서 남자가 여자보다 높았다. 전기자극으로 반복수축을 발생시킨 피로도 측정에서, 근수축력의 성별에 따른 변화는 남녀 모두에서 근 수축력이 유의하게 감소하였고, 남녀사이에서 유의한 차이를 보였다.

김진호 등(1997)은 근 피로란 더 이상의 근력을 발휘하지 못하는 상태 혹은 지구력을 잃어버린 상태를 의미하고, 최대 근력의 15% 이상의 근력으로 운동을 지속하면 결국에는 피로에 빠진다고 하였으며, 최대 근력에서 특정 비율만큼 근력이 감소하거나 더 이상 반복운동을 못할 때를 피로상태라 하였다. Basmajian(1985)은 국소적인 근피로는 반복적인 자극에 대한 근육의 반응이 감소하는 것이라고 하였고, Darling(1994)은 이것을 정상적인 근육의 생리적 반응이며 잠재하고 있는 운동단위가 감소한 것으로 보았다. Bigland-Ritchie 등(1984)은 근 지구력과 근 피로는 상반된 개념이고, 근 피로는 근육의 힘 발생능력이 감소하는 것을 의미한다고 하였다. 근 피로에 대한 기전으로 Fox 등(1981)은 저장된 에너지의 감소와 산소 부족, 젖산 축적에 의하여 근육의 수축기전이 방해되어 근육의 반응이 줄어드는 것이며, 특히 II형 섬유에서 신경근접합부

에서의 흥분전달이 감소하는 것으로 보았다. 많은 연구자들은 지속적인 힘으로 출력되는 자극으로 반복수축을 하여, 임상에서 사용되는 전기자극에 의한 피로도를 측정하였다 (Binder-Macleod 등, 1993). Laufer 등(2001)은 단상과 맥동전류, 양상과 맥동전류, 다상과 교류를 이용하여 최대 전기자극으로 발생한 수축력을 비교한 결과 다상과 교류의 근수축력이 더 약했으며 더 빨리 피로해졌고, 맥동 전류에서 남자가 여자보다 더 피로를 느꼈다고 하였다. Binder-Macleod 등(1993)은 수축력과 주파수 모두 피로에 직접 영향을 주며 효과도 다르고, 근력향상을 위해서는 강축(tetany)보다 고주파 적용이 요구된다고 하였으며, 주파수가 높을수록, 수축력이 클수록 피로를 더 유발한다고 하였다.

따라서, 본 연구에서는 근력증가가 요구되는 대상자들에게 적절한 자극 기준을 선택하는데 중요한 정보를 제공할 것이라고 사료된다. 이런 결과들은 환자들을 대상으로 하지 않았고 실험집단의 크기도 크지 않았기 때문에 일반화하는 데는 어려움이 있을 것이다. 그러므로 신경근 자극의 효과와 관련된 더 나은 연구가 진행되어야 하고, 치료를 적용할 때 남녀의 차이를 고려해야 할 것이다. 이런 연구들은 치료방법에서 더 효과적인 발전을 높일 것으로 생각된다.

V. 결론

본 연구는 맥동전류가 근 수축력과 근 피

로도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 신경계나 근골격계 손상이 없는 신체 건강한 남자 7명과 여자 7명을 대상으로 실험을 하였다. 최대 참을 수 있는 자극 강도에서 발생하는 근 수축력과 반복적인 자극으로 피로를 유발시켜 변화하는 수축력을 측정하고 남녀에 따른 차이를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. MIC에서 남자가 15.1±3.72 N-m, 여자가 9.24±2.18 N-m으로 남자가 더 높았다(p<.05).
2. 근피로 변화에서, 맥동전류에 대한 남자와 여자의 근수축력의 변화는 통계적으로 유의하게 감소하였고(p<.001) 성별사이의 변화에서도 통계적으로 유의한 차이를 보였다(p<.05).

이상의 결과를 보면 맥동전류가 근 피로에 영향을 주며, 남자가 여자보다 더 피로한 것으로 나타났다. 그러므로 치료 적용시 성별차이를 고려해야 것이라고 사료되고 향후에도 전기자극에 대한 정량적 평가를 통한 지속적인 연구가 필요하다고 생각한다.

참고문헌

김순희, 천기영, 최영덕 : 인체에 적용한 전기자극이 serum myoglobin과 aldolase에 미치는 영향에 대한 생리학적 효과. 대한물리치료학회지. 6(3);54, 1999.

김진호, 한태륜 : 재활의학. 서울. 군자출

판사. p.47-65, 1997.

박래준 : 전기자극이 흰쥐의 골격근 형태에 미치는 영향. 박사학위논문. 대구효성가톨릭대학교. 1983.

이재형 : 의용전류. 전기치료학. 대학서림. 3;55, 1995.

Alon G, Kantor G, Smith GV : Peripheral nerve excitation and plantar flexion force elicited by electrical stimulation in males and females. J Orthop Sports Phys Ther. 29;208-213, 1999.

Basford JR, Kotte FJ, Lehmann JF : Electrical therapy : In Krusen's handbook of physical medicine and rehabilitation. 4th ed. Philadelphia, WB Saunders. p.382, 1990.

Basmajian JV : Muscle alive. 5th ed. Williams & Wilkins. Baltimore. p.187, 1985.

Bigland-Ritchie B, Woods JJ : Changes in muscle contractile properties and neural control during muscular fatigue. Muscle & Nerve. 7;691-699, 1984.

Binder-Macleod SA, Halden HE, Jungles KA : Force frequency relationship and fatiguability of human muscle: effects of stimulation intensity. Med Sci Sports Exer(in press). 1993.

Binder-Macleod SA, Snyder-Mackler L : Muscle fatigue: clinical implications for fatigue assessment and neuromuscular electrical stimulation. Phys Ther. 73;902-910, 1993.

Darling RC : Fatigue. In Downey J, Darling RC(3ed) : The physiological basis

of rehabilitation medicine. Philadelphia. WB Saunders. p.125-130, 1994.

Delitto A, Synder-Mackler L, Robinson AJ. : Electrical stimulation: In Clinical electrophysiology. 3rd ed. Philadelphia, Wolters Kluwer. p.123-139, 1995.

Fox E, Matthews D : The physiological basis of physical education and athletics. 3rd ed. Philadelphia, Saunders College Publishing. p.677, 1981.

Gersh MR. : Electrotherapy in rehabilitation. Philadelphia. F.A. Davis. p.56-80, 1993.

Kots YM. : Electrostimulation (Canadian-Soviet exchange symposium on electrostimulation of skeletal muscle. Concordia University. Montreal. Quebec. Canada. December 6-15. 1977). Quoted in: Kramer J. Mendryk SW. Electrical stimulation as a strength improvement technique. J Orthop Sports Phys Ther. 4;91-98, 1982.

Lauffer Y, Ries JD, Leiminger PM, et al. : Quadriceps Femoris Muscle Torques and Fatigue Generated by Neuromuscular Electrical Stimulation With Three Different Waveforms. Phys Ther. 81;1307-1315, 2001.

McDonnell MK, Delitto A, Sinacore DR et al. : Electrically elicited fatigue test of the quadriceps femoris muscle: description and reliability. Phys Ther. 67;941-945, 1987.

Pfeifer AM, Cranfield T, Wagner S et al. : Muscle strength : a comparison of electrical stimulation and volitional isometric contractions in adults over 65 years. Phys ther. 81;32-39, 1997.

Robinson AJ, Snyder-Mackler L : Clinical electrophysiology. Lippincott Williams and Wilkins, 1995.

Selkowitz DM : High frequency electrical stimulation in muscle strengthening. Am J Sports Med. 103-111, 1989.

Selkowitz DM. : Improvement in isometric strength of the quadriceps femoris muscle after training with electrical stimulation. Phys Ther. 65;186-196, 1985.

Snyder-Mackler L, Garrett M, Roberts M. : A comparison of torque generating capabilities of three different electrical stimulating currents. J Orthop sports Phys Ther. February 297-301, 1989.