

# 大腿四頭筋に対する電氣的遠心性収縮の 筋力増強効果に関する研究

## *A Study About the Muscle Strength Effect of Electrically Stimulated Eccentric Contraction of the Quadriceps*

河戸 誠司<sup>1)</sup> 千住 秀明<sup>2)</sup> 濱出 茂治<sup>3)</sup>

SEIJI KAWATO<sup>1)</sup>, HIDEAKI SENJYU<sup>2)</sup>, SIGEHARU HAMADE<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Department of Rehabilitation Medicine, Iizuka Hospital: 3-83 Yoshiomachi, Iizuka-city, Fukuoka 820-8505, Japan.  
TEL +81 948-22-3800 E-mail skawato1@aih-net.com

<sup>2)</sup> Division of Physical Therapy, Department of Physical and Occupational Therapy, Nagasaki University Course of Health Sciences, Graduate School of Biomedical Sciences

<sup>3)</sup> International Medical and Welfare College

*Rigakuryoho Kagaku 25(3): 333-336, 2010. Submitted Oct. 20, 2009. Accepted Dec. 3, 2009.*

**ABSTRACT:** [Purpose] This study investigated the effect of muscular strength reinforcement through electrical stimulation and eccentric contraction. [Subjects] The subjects were 20 healthy volunteers. [Methods] Low frequency electric stimulation was given to the vastus medialis, rectus femoris, vastus lateralis and a muscular exercise of eccentric contraction by flexure exercise of the knee joint was performed. Subjects trained for 20 minutes 3 times a week for 4 weeks. The quadriceps femoris muscle strength and thigh circumference diameter were measured at the beginning the exercise, and two and four weeks later. [Results] The quadriceps femoris muscle strength increased significantly by 22.9% two weeks later, and 44.3% four weeks later in comparison with the beginning the exercise. In addition, the thigh circumference diameter increased significantly four weeks later. [Conclusion] This method using a joint movement was an effective exercise method for the muscular strength reinforcement.

**Key words:** muscular strength reinforcement, low frequency electrical stimulation, eccentric contraction

**要旨:** [目的] 筋力増強を目的とする筋への電氣刺激と、同時にその拮抗筋の求心性収縮により生じる遠心性収縮を利用した筋力増強法の効果について、大腿四頭筋を対象に検討することである。[対象] 健常成人20名を対象とした。[方法] 低周波電氣刺激を内側広筋、大腿直筋、外側広筋に与え、膝関節の屈曲運動によって生じる遠心性収縮を利用した筋力トレーニングを20分間/回、週3回、4週間行った。測定項目を大腿四頭筋力と大腿周囲径とし、トレーニング前、2および4週間後に測定した。[結果] 大腿四頭筋力は2週間後に22.9%、4週間後に44.3%に増加し、大腿周囲径は4週間後に有意に増加した。[結語] 本法は関節運動を利用した筋力増強法であり、簡便な電氣刺激装置を用いているため臨床の理学療法に幅広く利用可能と考えられた。

**キーワード:** 筋力増強, 低周波電氣刺激, 遠心性収縮

<sup>1)</sup> 飯塚病院 リハビリテーション部: 福岡県飯塚市芳雄町3-83 (〒820-8505) TEL 0948-22-3800

<sup>2)</sup> 長崎大学大学院 医歯薬学総合研究科保健学専攻理学・作業療法学講座

<sup>3)</sup> 国際医療福祉専門学校

受付日 2009年10月20日 受理日 2009年12月3日

## I. はじめに

我が国は2025年には全人口に対する高齢者（65歳以上）の割合が25%を越え、超高齢化社会を迎えようとしている。高齢者は20歳代と比較して最大筋力は30～40%低下するといわれ、筋力低下は長期臥床やギプス固定、下肢術後など様々なイベントによって引き起こされる。その予防・治療に対する理学療法には重錘法などの他に治療的電気刺激法（Therapeutic Electrical Stimulation：TES）が用いられている。電気刺激を骨格筋に与える方法は、健常者<sup>1,2)</sup>やスポーツ選手<sup>3)</sup>、臨床ではACL損傷患者<sup>4)</sup>や慢性心不全患者<sup>5,6)</sup>、慢性閉塞性肺疾患患者<sup>7-10)</sup>の筋力増強に効果を示している。

近年、前田らによって拮抗筋に電気刺激を与えて得られる筋強縮を主動作筋の運動抵抗として筋力トレーニングを行うHybrid法が考案され、その基礎研究が行われている<sup>11)</sup>。この方法は主動作筋と拮抗筋に交互に電気刺激を与え、その筋強縮に抗して自動運動を行う方法である。しかし、主動作筋への影響は随意収縮によるものと電気刺激時に伸張される遠心性収縮によるものの2つが考えられ、どちらの収縮様式が筋力増強に作用しているか明らかにされていない。また、前田らは独自に開発した電気刺激装置（関節感知センサーを使用）を用いているため、一般的にはその利用は困難である。

そこで、本研究の目的は一般的に使用可能な電気刺激装置を用い、電気刺激を目的筋である大腿四頭筋に与え、拮抗筋を随意収縮することで生じる遠心性収縮を筋力トレーニングに利用した筋力増強法の効果について検討することである。

## II. 対象と方法

### 1. 対象

本研究に対して同意が得られ、心肺機能や筋骨関節系の問題がなく、かつ定期的な運動習慣のない健常成人20名（男性11名、女性9名、年齢 $25.8 \pm 3.8$ 歳、身長 $164.8 \pm 9.2$ cm、体重 $59.1 \pm 7.5$ ）を対象とした。また、研究期間内は筋力増強などの運動をしないことを条件とした。

なお、倫理的配慮には長崎大学医歯薬学総合研究科倫理委員会の承認を受け（承認番号：07051744）、各被験者に研究方法を十分説明し、文章による承諾を得た。

### 2. 方法

電気刺激装置には低周波治療器（パルスキューア・プロ KR-7, OG 技研）を使用し、粘着導子（4.0 mm × 4.5 mm）を用いた。被験者を端坐位（股関節90°、膝関節90°）にさせ、非利き脚の内側広筋、大腿直筋、外側広筋を各々触診した上で、電極を筋腹の近位と遠位に貼付した。なお、利き脚はボールを蹴る脚とし、その反対側を非利き脚とした。電気刺激は周波数：20 Hz、パルス幅：0.2 msecとし、通電時間10秒間、休止時間10秒間（1：1）の間歇通電法により行った。通電中に膝屈曲運動を一回実施し、筋力トレーニング時の大腿四頭筋の収縮様式は、電気刺激による筋強縮を利用した膝関節伸展後に、随意的に屈曲することで伸張される遠心性収縮である（電氣的遠心性筋力トレーニング法：Electrically Eccentric Muscle Training：以下、EEMT法）。筋力トレーニングの頻度は20分間/回、週3回、期間は4週間とした。被験者が不快としない最大電圧（主観的的最大強度）をトレーニング毎に決定し、電氣的な筋強縮による膝伸展運動に抗して膝関節90°位まで自動屈曲可能な電気刺激強度とした。この刺激強度はアナログダイヤルの値（最大10ダイヤル：最大電圧80 V）から0.5ダイヤル毎に測定され、全被験者の平均値は $46.4 \pm 12.6$ （V）であった。なお、Müller<sup>12)</sup>は6秒間の最大収縮が筋力増強に効果的であると報告しているため、EEMT法における通電時間を電気刺激開始と拮抗筋の随意的求心性収縮とのタイミングを考慮して10秒間とした。

大腿四頭筋力としてマイクロFET（日本メディックス）を用いて等尺性最大筋力を測定した。測定姿勢は端坐位とし、非利き脚を膝関節完全伸展位に保持させ足関節前面に徒手にて測定器具を固定して測定を実施した。最大筋力の測定を5回施行し、その平均を解析の対象とした。

大腿周囲径は、仰臥位にてランドマークとなる膝蓋骨上縁と上前腸骨棘を結ぶ直線上の膝蓋骨上縁から5.0 cm、10.0 cm、15.0 cmの位置で巻尺を用いて測定した。上記の各測定項目はトレーニング前および2、4週間後に測定した。

統計解析は次のようにした。各測定項目の測定値を平均値±標準偏差で表記した。得られた結果を反復測定一元配置分散分析によって検定し、F値が有意な場合はBonferroni法を用いて多重比較検定を行った。統計解析には、統計ソフトSPSS 15.0J for windowsを用い、有意水準は5%未満とした。

表 1 各測定項目の経時的変化

	トレーニング前	2週間後	4週間後
大腿四頭筋力 (N)	188.3±72.0	231.5±70.4	271.7±73.2
大腿周囲径 (cm)			
5.0 cm位	38.6±2.0	38.7±2.0	39.2±2.1
10.0 cm位	42.6±2.4	42.7±2.5	43.2±2.6
15.0 cm位	43.4±2.4	43.6±2.5	44.0±2.4

平均値±標準偏差 \* : p<0.001 \*\* : p<0.01 N : ニュートン

### III. 結 果

EEMT法を施行した大腿四頭筋力と大腿周囲径の経時的変化について表1に示した。大腿四頭筋力はトレーニング前は188.3±72.0Nであり、2週間後は231.5±70.4N、4週間後は271.7±73.2Nへ有意な増加 (p<0.001)を示した。また、最大筋力の増加率は2週間後には22.9%、4週間後には44.3%であった。

また、大腿周囲径は測定部位に関わらずトレーニング前と比較して、2週間後での有意差は示されなかったが、4週間後には有意な増加 (p<0.001)を示した。また、2週間後から4週間後にかけて有意な増加 (p<0.01)を認めた。

### IV. 考 察

低周波治療器を用いて目的筋である大腿四頭筋に電気刺激を与え、拮抗筋の求心性収縮によって生じる遠心性収縮を利用した筋力増強法の効果について検討した。

本研究のEEMT法による最大筋力の増加率は、トレーニング前と比較して2週間後は22.9%、4週間後は44.3%であった。TESによる大腿四頭筋の筋力増強効果について検討した先行研究では、健常者を対象とした4～6週間のトレーニングで約11～15%の増加率が示されている<sup>1,2)</sup>。また、Iwasakiら<sup>13)</sup>は健常者を対象としたHybrid法による大腿四頭筋の筋力増強効果について、角速度30°/秒と180°/秒の求心性および遠心性筋力を各々測定して検討している。それによると3週間で8～26%、6週間で19～33%の増加率であり、重錘を用いた筋力増強法と比較してほぼ同等かやや劣る効果が得られると報告されている。本研究におけるEEMT法は、先行

研究で行われている電気刺激を用いた筋力増強法と比較しても遜色のない筋力増強効果が認められ、その有用性が示唆されたものと考えられる。

筋力増強効果は、電気刺激による筋収縮と遠心性収縮が筋力増強に影響を与えたことによるものと考えられる。随意収縮による筋活動では運動強度が高くなるにつれて遅筋線維から徐々に速筋線維が動員される(サイズの原理)<sup>14)</sup>が、電気刺激では速筋を支配する太い軸索の神経から最初に興奮し、刺激強度が強くなるにつれて遅筋を支配する細い軸索の線維が動員される<sup>15)</sup>特徴があり、容易に最大筋力に影響する速筋線維を刺激することが可能である。さらに遠心性収縮も速筋線維が優先的に動員されるという特徴をもち<sup>16)</sup>、高い筋張力が得られるため筋力増強に効果的な収縮様式とされている。長尾ら<sup>17)</sup>は、遠心性収縮は重錘を用いた求心性収縮による筋力増強効果と比較して、最大筋力の増加率が高いと報告している。したがって、EEMT法においては電気刺激による筋収縮と同時に、遠心性収縮により筋力増強効果が得られたものと考えられる。また、本研究に用いた電気刺激装置でも主観的最大強度の刺激において、筋力増強が可能な筋収縮が得られたと考えられる。しかし、本研究に用いた方法は先行研究の方法とは異なっているため、被検者の無作為抽出や、筋力トレーニング方法には電気刺激のみ、電気刺激と同時に求心性収縮または遠心性収縮を行う3つの筋力トレーニング法の効果を比較し、EEMT法の有効性をさらに検証する必要がある。

また、筋力増強には神経学的要因と形態学的要因の2つの要素が関与し、運動単位数や活動頻度の増加による神経学的要因の影響は初期に、筋肥大や羽状角の増加による形態学的要因の影響は3～5週以降にあらわれる<sup>18,19)</sup>。本研究においては2週間後では大腿周囲径に有意な変化はみとめられず、最大筋力が有意に増加していたことから、初期の筋力増強は神経学的要因による効果と考えられる。また、4週間後では、大腿周囲径(膝蓋骨直上5.0cm、10.0cm、15.0cm)にも有意な増加がみられたことから、神経学的要因に加えて筋肥大が最大筋力に影響を与えていたものと考えられる。しかし、本研究において大腿周囲径に影響を与えるハムストリングスの随意収縮による筋力増強効果については考慮してはいない。さらには筋肥大の測定に簡便で安全ではあるが測定誤差のある巻尺を用いたため、筋線維の変化をより詳細に検討するためにはMRIや超音波を用いて分析する必要がある。

ベッドレストにより筋力低下と関節拘縮が生じやす

いため、早期から随意的な関節運動を行わせることは有用である。本研究におけるEEMT法は、Hybrid法と同様に関節運動を利用した筋力増強法であり、目的筋の電氣的遠心性収縮と拮抗筋の随意収縮の同時収縮が得られるという利点を持つ。また、前田らはHybrid法システムとして独自に電気刺激装置を開発しているが、本研究で用いた低周波治療器は小型で使用場所を選ばない簡便な医療器具として一般的に用いられているものである。そのため、ベッドサイドや長期臥床患者などに対する理学療法に幅広く利用可能ではないかと考えられる。しかし、筋力トレーニングに20分間を費やし、電氣的な遠心性収縮は筋損傷を誘発する<sup>20)</sup>ため、臨床応用するためには、年齢や疾患による対象者も検討が必要である。

### 引用文献

- 1) 江崎重昭, 川村次郎, 本多和行・他: 電気刺激による筋力強化—健康人に対する高周波電気刺激の効果—. 理学療法学, 1995, **22**(2): 49-52.
- 2) Parker MG, Bennett MJ, Hieb MA, et al.: Strength response in human quadriceps femoris muscle during 2 neuromuscular electrical stimulation programs. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2003, **33**(12): 719-726.
- 3) 赤嶺卓哉, 重岡孝文, 荻田 太・他: スポーツ選手の大腿部筋群に対する電気筋肉刺激法の効果について. *臨床スポーツ医学*, 1999, **16**(2): 223-228.
- 4) Snyder-Mackler L, Delitto A, Bailey SL, et al.: Strength of the quadriceps femoris muscle and functional recovery after reconstruction of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Am*, 1995, **77**(8): 1166-1173.
- 5) Dobsák P, Nováková M, J Siegelová, et al.: Low-frequency electrical stimulation increases muscle strength and improves blood supply in patients with chronic heart failure. *Circ J*, 2006, **70**(1): 75-82.
- 6) 神谷昌孝, 山田純生, 八木 了・他: 心臓手術後の下肢筋力低下に対する電気刺激療法の効果. *心臓リハビリテーション学会誌*, 2005, **10**(1): 113-116.
- 7) Neder JA, Sword D, Ward SA, et al.: Home based neuromuscular electrical stimulation as a new rehabilitative strategy for severely disabled patients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD). *Thorax*, 2002, **57**(4): 333-337.
- 8) Bourjeily-Habr G, Rochester CL, Palermo F, et al.: Randomised controlled trial of transcutaneous electrical muscle stimulation of lower extremities in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax*, 2002, **57**(12): 1045-1049.
- 9) Zanotti E, Felicetti G, Maini M, et al.: Peripheral muscle strength Training in Bed-Bound Patients With COPD Receiving Mechanical ventilation. *Chest*, 2003, **124**(1): 292-296.
- 10) Vivodtzev I, Pépin JL, Vottero G, et al.: Improvement in quadriceps strength and dyspnea in daily tasks after 1 month of electrical stimulation in severely deconditioned and malnourished COPD. *Chest*, 2006, **129**(6): 1540-1548.
- 11) 前田貴司, 柳東次郎, 荻野美佐・他: 表面電極による電気刺激時の筋出力測定—拮抗筋の電気刺激による遠心性収縮を伴う筋力増強法—. *日本臨床バイオメカニクス学会誌*, 2000, **21**: 467-470.
- 12) Müller EA: Influence of training and of inactivity on muscle strength. *Arch Phys Med Rehabil*, 1970, **51**(8): 449-462.
- 13) Iwasaki T, Shiba N, Matsuse H, et al.: Improvement in knee extension strength through training by means of combined electrical stimulation and voluntary muscle contraction. *Tohoku J Exp Med*, 2006, **209**(1): 33-40.
- 14) Henneman E, Somjen G, Carpenter DO, et al.: Functional significance of cell size in spinal motoneurons. *J Neurophysiol*, 1965, **28**: 560-580.
- 15) Garnett R, Stephens JA: Changes in the recruitment threshold of motor units produced by cutaneous stimulation in man. *J Physiol*, 1981, **311**: 463-473.
- 16) Hortobagyi T, Barrier J, Beard D, et al.: Greater initial adaptations to submaximal muscle lengthening than maximal shortening. *J Appl Physiol*, 1996, **81**(4): 1677-1682.
- 17) 長尾史博: 遠心性収縮を利用した訓練法とその他訓練法との比較. *リハビリテーション医学*, 1981, **18**(6): 321-333.
- 18) Moritani T, deVries HA: Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am J Phys Med*, 1979, **58**(3): 115-130.
- 19) Kraemer WJ, Fleck SJ, Evans WJ, et al.: Strength and power training: physiological mechanisms of adaptation. *Exerc Sport Sci Rev*, 1996, **24**: 363-397.
- 20) Nosaka K, Newton M, Sacco P, et al.: Responses of human elbow flexor muscles to electrically stimulated forced lengthening exercise. *Acta Physiol Scand*, 2002, **174**: 137-145.