

高齢者に実施するEEMT法(電氣的遠心性収縮筋力トレーニング)の筋力・筋持久力・持続歩行距離改善効果

Effect of the Electrically Eccentric Muscle Training (EEMT) Method on Walking Distance, Muscle Endurance and Strength of the Elderly

鈴木 康裕^{1,2)} 砂川 伸也²⁾ 千住 秀明³⁾

YASUHIRO SUZUKI, RPT^{1,2)}, SINYA SUNAGAWA, RPT²⁾, HIDEAKI SENJYU, RPT, PhD³⁾

¹⁾ Master Course of Health Science, Graduate School of Biomedical Science, Nagasaki University: 1-12-4 Sakamoto, Nagasaki 852-8523, Japan. TEL +81 095-819-7900 E-mail dm09059c@cc.nagasaki-u.ac.jp

²⁾ Rehabilitation, Minaminagasaki Clinic

³⁾ Department of Health Sciences, Graduate School Biomedical Science, Nagasaki University

Rigakuryoho Kagaku 26(1): 127-131, 2010. Submitted Aug. 26, 2010. Accepted Sep. 30, 2010.

ABSTRACT: [Purpose] The purpose of this study was to investigate whether the effect of increased muscle strength of the electrically eccentric muscle training (EEMT) method seen in healthy young people is also observed in the elderly. [Subjects] The subjects were 11 men and 11 women, average age 80.3 ± 5.2 , who could walk independently. [Method] The subjects were divided randomly into an intervention and a control group, and the intervention group performed EEMT. We measured maximum walking distance, muscle endurance and strength before and after the intervention in the respective groups. [Results] The changes in muscle strength between the intervention and control group before and after the intervention were not significant, but for walking distance, they were significant. A significant change was also seen in the muscle endurance of the intervention group. [Conclusion] The results of the present study suggest that EEMT for sarcopenia can increase muscle endurance but has a limited effect on muscle strength increase.

Key words: electrically eccentric muscle training (EEMT) method, elderly, muscle strength increase

要旨: [目的] 本研究の目的は、若年健常者に有効であったEEMT法の筋力増強効果が高齢者で得られるか検討することである。[対象] 自立歩行可能な高齢者(平均年齢 80.3 ± 5.2 歳), 男性11例, 女性11例, 計22例である。[方法] 介入群と対照群に無作為に割り付け介入群にはEEMT法を実施した。それぞれ実施期間前後で筋力, 筋持久力, 持続歩行距離を測定した。[結果] 介入群と対照群ともに実施前後の変化は, 筋力では有意でなく, 持続歩行距離では有意であった。また筋持久力では介入群のみ有意な変化がみられた。[結語] 今回の結果は, 高齢者(サルコペニア)に対するEEMT法の筋力増強効果の限界と, 持久力向上効果の仮説を示唆するものであった。

キーワード: 電気刺激療法, 高齢者, 筋力増強

¹⁾長崎大学大学院 医歯薬学総合研究科保健学専攻修士課程: 長崎県長崎市坂本1-12-4 (〒852-8523) TEL 095-819-7900

²⁾南長崎クリニック リハビリテーション部

³⁾長崎大学大学院 医歯薬学総合研究科

I. はじめに

筋力増強法には、電気刺激を骨格筋に与える方法(以下、Electrical Muscle Stimulation: EMS)がある。その1つとして、主に主動筋に電気刺激を与え、筋を形態学的にも生理学的にも変化させ筋力を高める効果が報告されている。EMS法は健常者^{1,2)}のみならず、スポーツ選手³⁾において、さらに臨床ではACL損傷患者^{4,5)}や慢性心不全患者(以下CHF)^{6,7)}、慢性閉塞性肺疾患患者(以下COPD)⁸⁾など多くの疾患においても効果的であると報告されている。

最近着目されている効果的なEMS法として前田らが考案したhybrid法⁹⁻¹¹⁾がある。hybrid法は短時間、短期間で著明な効果を示すことが明らかにされている。それは、主動筋に随意性の求心性収縮を、拮抗筋に電気刺激を与えながら遠心性収縮を起こす2種類の筋収縮様式を組み合わせる方法であり、従来の主動筋への電気刺激による筋力増強に比べて大きな効果が得られる¹⁰⁾。しかしhybrid法は、志波らが独自に開発した電気刺激装置(関節感知センサー)が必要なため、広く臨床場面で活用されていない。我々はhybrid法を改変した小型で使用場面を選ばず安価な医療機器を使用し、簡便に行えるEEMT法(電気的遠心性筋力トレーニング: Electric Eccentric Muscle Training)¹²⁾を考案した。その有用性については若年健常者を対象として短期間(4週間)で45%の筋力増強効果を示すことで明らかにしたが¹²⁾、高齢者を対象とした場合の検討は行っていない。本研究の目的は、若年健常者に有効であったEEMT法の筋力増強効果が高齢者で得られるか検討することである。

II. 対象と方法

1. 対象

対象は外来リハビリテーションまたは通所リハビリテーションを利用する65歳以上の高齢者22名(平均年齢: 80.3 ± 5.2歳, 男性11例・女性11例)である。対象者は封筒法によりEEMT法を実施する電気刺激群と対照群に無作為に割り付けられた(表1)。全ての対象者において、選択基準は杖や手すりなどの物的介助を含めた起居動作および歩行動作の自立した者である。除外基準は脳血管障害や慢性リウマチなどの身体機能障害や重度の認知症などにより、膝伸展筋力測定が困難な者である。本研究は、事前に長崎大学大学院医歯薬学総合研究科の承認を得ており(承認番号09082781)、被検者は十分な説明を受けた後に同意書に署名を得た。

表1 対象者の属性

| 項目 | 電気刺激群 (n=11) | 対照群 (n=11) |
|--------------------------------------|---------------------|----------------------|
| 性別(男:女) [†] | 3:8 | 7:4 |
| 年齢(歳) [‡] | 80 (65-88) | 82 (68-86) |
| 身長(cm) [‡] | 148.5 (140.0-161.0) | 160.0* (137.0-169.0) |
| 体重(kg) [‡] | 48.7 (41.0-66.0) | 56.4 (40.4-61.5) |
| BMI(kg/m ²) [‡] | 22.4 (20.8-28.8) | 22.4 (14.4-30.0) |
| MVC90(Nm/kg) [‡] | 1.31 (0.92-1.80) | 0.92 (0.59-2.39) |
| WBI(%) [‡] | 39.4 (29.6-55.0) | 26.3 (19.1-68.3) |
| 6 MWD(m) [‡] | 260 (120-382) | 288 (61-455) |

中央値(最小値-最大値), *: p<0.05, BMI: body mass index, MVC 90: maximum voluntary contraction 90, WBI: weight bearing index, 6 MWD: 6 minute walling distance, [†]: χ^2 検定, [‡]: Mann-Whitney U検定

2. 方法

EEMT法の実施において低周波治療器(OG技研 パルスキューア・プロ KR-7)と粘着導子(4.0 cm × 4.5 cm)による電気刺激を用いた。被検者の姿勢は端坐位(股関節90°, 膝関節90°)とし、右側大腿四頭筋(右側)の内側広筋(1 ch)、大腿直筋(2 ch)を各々触診した上で、筋腹の近位と遠位に粘着導子を貼付した。

電気刺激の負荷は、大腿四頭筋の電気的な筋強縮による膝伸展運動に抗して、ハムストリングスを随意収縮させ膝関節100°位まで自動屈曲可能な程度の不快に感じない最大強度の電圧(最大耐容電圧)とした。刺激条件は、刺激周波数を20 Hz(パルス幅: 0.2 msec)、刺激強度を前述した最大耐容電圧、そして対象高齢者の筋疲労を考慮し間歇通電法を5秒-10秒(on-off)の1:2サイクルとした。EMS法を実施する際、対象者の筋疲労を軽減するためon:off時間の設定は当初1:6から開始され、徐々に1:2へ近づけるように示されている¹³⁾。このスケジュールでの運動を1日20分間、週2回、12週間行わせ、その間に週2回の頻度の全身調整運動を主とした一般的理学療法を行った。

大腿四頭筋測定の方法は、筋力・筋持久力測定機器としてハンドヘルドダイナモメーター(以下HHD: アニマ株式会社 ミュータスF-1)を用いて等尺性最大筋力を測定した。測定姿勢は端坐位(股関節90°, 膝関節90°)でセンサーを足関節前面部位にファスナーで固定し、ベルトの長さは力を入れたときに膝関節90°になるように設定された状態とした。この状態から大腿四頭筋を最大収縮させ、約3秒間で最大となり、5秒後まで定常状態となるように筋収縮を促した。この間の最大値を計測する作業を3回繰り返し、そのうちの最大値を最大随意収縮筋力(Maximum Voluntary Contraction 90: 以下MVC90)として計測した。

筋疲労テストとして筋持久力測定(fatigue-protocol)

表2 MVC90と6MWDの介入前後の変化

| | 電気刺激群(n=11) | | | 対照群(n=11) | | |
|------------|------------------|------------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | 介入前 | 介入後 | 変化量 | 介入前 | 介入後 | 変化量 |
| MVC 90 (N) | 175 (103-339) | 215 (119-320) | 1 (-53-58) | 146 (73-420) | 149 (48-438) | 13 (-30-52) |
| 6 MWD (m) | 260 (120-382) | 301 (190-405) | 34* (5-80) | 288 (61-455) | 235 (55-483) | -6 (-54-113) |

中央値 (最小値 - 最大値)

*: 介入前後に生じた 6 MWD の変化量を電気刺激群と対照群で比較 (p<0.05)

を行った。先行研究⁷⁾より重症心不全患者に施行した手法に基づき実施した。方法は、股関節90°、膝屈曲90°で椅子脚と被検者の右足首を固定した椅子坐位をとらせ、最大等尺性の膝伸筋の収縮を行わせた。その収縮時における最大値をMVC 90とし、準最大値を各対象者のMVC 90の40%の値と定義した。この準最大レベルで、一定間隔での音響信号によって、20回/分、1秒間の継続時間で等尺性筋収縮を行わせた。またMVC90を負荷前、5分後、10分後、15分後、20分後で測定し、20分後以外はそれぞれの準最大値を次の5分間の筋疲労負荷量の目安とした。そして試験時間、つまり筋疲労負荷時間を20分間(5分間×4セット)とし、直後のMVC 90の低下の絶対値を疲労指数と定義し、初期値に対する百分率で表した。

6分間歩行試験(6 Minute Walling Test: 以下6 MWT)は、米国胸部医学会のガイドライン¹⁴⁾に準じて対象者に口頭にて説明し、6分間で片道20mの廊下歩行を繰り返して6分間歩行距離(6 MWD)を計測した。

以上のように、筋力(大腿四頭筋)をMVC90、筋持久力(大腿四頭筋)を疲労指数、また持続歩行能力を6 MWDとそれぞれの指標として示すこととした。

統計学的解析は、次のようにした。群間評価として、MVC 90と6 MWDの介入前後に生じた差を電気刺激群と対照群とで比較しMann-Whitney U検定を使用した。また、電気刺激群の6 MWDと疲労指数の改善率の比較にはPearsonの相関係数を用いて検定を行った。群内評価としては、介入前後における疲労指数の比較をWilcoxonの符号付き順位検定を使用して行った。解析には、統計ソフト(Windows版SPSS:バージョン16)を使用し、有意水準を5%未満とした。

III. 結果

電気刺激群と対照群における双方の介入前後の結果を表2に示す。MVC 90の介入前後の差は、電気刺激群と対照群において有意値は認められなかった。一方6 MWDの介入前後の差は、電気刺激群と対照群において

表3 疲労指数の介入前後の変化

| | 電気刺激群(n=11) | | 対照群(n=11) | |
|--------|----------------|-----------------|----------------|----------------|
| | 介入前 | 介入後 | 介入前 | 介入後 |
| 0-5分間 | 95 (79-107) | 92 (71-101) | 96 (85-110) | 82 (69-99) |
| 0-20分間 | 78 (45-101) | 89* (61-100) | 89 (54-110) | 79 (60-111) |

中央値 (最小値 - 最大値)

*: 電気刺激群の介入前後における 20 分後疲労指数の比較 (p<0.05)

有意値を示し(p<0.028)、EEMT法施行期間前後において34(5-80)mの改善を示した。fatigue-protocol実施によって得られた疲労指数の結果を表3に示す。疲労指数は電気刺激群の方で、介入前後において78(45-101)%から89(61-100)%へ向上し有意差を示した(p<0.036)。一方、対照群では介入前後で有意差は認められなかった。

6MWDと疲労指数の変化率の比較については、双方に有意な相関は認められなかった。

IV. 考察

今回の研究結果は、同じくEEMT法を用いて若年健康者を対象として行った先行研究¹²⁾の結果とは異なるものであった。先行研究における結果から高齢者を対象とした場合にもEEMT法の筋力増強効果を期待したが、効果は認められず筋力増強を目的とした臨床応用については再考すべき結果となった。ただし筋持久力と持続歩行距離については向上の可能性を認め、これらについては今後の臨床応用の可能性を示唆するものであった。

筋萎縮をきたす病態として、筋の加齢性変化によりサルコペニア(sarcopenia:加齢性筋肉減少症)が知られている。Lauretaniら¹⁵⁾はサルコペニアを定義付けるため、各年代毎の握力や筋断面積(CT)などを調査し指標を検討している。その結果、膝伸展筋力(筋パワー)が最も有用な指標であったと報告し、膝伸展筋力にお

いて20歳代の平均筋パワーの2SD (2標準偏差) 区間を下回った場合がサルコペニアであると定義している。本研究における電気刺激対象群の属性中央値としての膝伸展筋力(男: 38.3, 女: 32.2)は、日本人における20歳代の平均膝伸展筋力の2SD下限値¹⁶⁾(男: 70.1, 女: 46.6)を下回っており、すなわち対象者はサルコペニアである可能性が考えられた。

筋力増強を目的に考案された本法は、人為的な電気刺激を筋組織が受容し筋収縮が発生することによる筋力増強効果を期待するものである。また通電により筋強縮が起こり膝伸展動作の誘導がなされることではじめて本法の特徴である遠心性収縮訓練ができる。しかし対象者は電気刺激に対する筋の反応が弱く筋強縮が小さかったため膝伸展動作が十分でなく、結果的に本法による遠心性収縮による抵抗負荷は十分でなかったと考えられる。サルコペニアに対する随意筋収縮を基調としたレジスタンストレーニング(以下RT)には筋力増強効果を実証されているが¹⁷⁾、本法の場合は電気刺激による膝伸展運動の惹起がRTの前提となるため、これがなされなければ十分な筋力増強効果は期待できない。EMS法のサルコペニアに対しての報告は少なく、明確な効果の検証はされていない。今回の結果は、サルコペニアを呈する高齢者に対してのEEMT法すなわちEMS法自体の筋力増強効果における否定的根拠を示した。

サルコペニアは加齢に伴い筋肉の量・強度・機能が低下する現象とされているが、Motor Unit(神経筋単位: 以下MU)数の減少、神経筋接合部の変性など、神経筋システムの異常をきたすのが特徴的である¹⁸⁾。サルコペニアにEMS法が効果的でないのは、神経因性要素の障害が原因で電気刺激が末梢の筋組織に通電できずその効用が十分でないためではないかと考える。EMS法は外部操作による電気刺激を神経筋接合部から筋組織に伝導させる¹⁹⁾目的で使用する。そのため、皮膚表面から受身的に通電させるため、MU数の減少した状態すなわち神経筋接合部の減少した状況が、通電状況にも大きく影響してしまうと考えられ、結果的にMU数の減じているサルコペニアの筋組織へは筋力増強するための十分な負荷強度の刺激にならないのではないかと考えられる。一方で6MWDは有意な改善を示し、また疲労指数すなわち筋持久力の有意な改善もみられた。本法は電気刺激に対する筋の反応の弱さから膝伸展運動によるレジスタンス負荷が少なく、また20分間負荷の少ないレジスタンス運動を繰り返していたことから、結果的に筋持久力訓練となっていた可能性が考えられる。つまり高齢者に実施した場合のEEMT法が、筋力増強負荷には十分でないが筋持久力増強には適当な負荷となる可能性が考えられた。

今回の本研究の結果はサルコペニアに対するEEMT法のみならずEMS法の筋力増強効果の限界を示唆するものであった。下肢のみのパフォーマンスの観点で考えれば、対象者の下肢筋力が20代の平均筋パワーの2SD区間を下回った時点で、若年健常者レベルから逸脱しサルコペニアに陥ってしまった状態と定義できる。しかしそのポイントがEMS法の治療適応の境界域にもなりうるかどうかについては不明確であり、適応範囲が明確でない。下野²⁰⁾は、表面筋電図を用いてMUの活動状況を具体的な数量として評価できる方法を報告している。そのため大腿四頭筋に筋電図検査を実施することによって疫学として電気刺激に反応する、すなわちEMS法に効果のある具体的なMU数を把握できれば、サルコペニアについても治療適応の基準についての精度の高いcut-offポイントの判別が可能と考えられる。また近藤²¹⁾は、表面筋電図を用いて60歳以降に限り加齢に伴い筋のMU数は経時的に有意な減少を示すと報告しており、そのためEMS法の治療適応となるcut-offポイントは、MU数だけでなく年齢(60歳以上)についても特定できる可能性があるものと考えられる。

筋持久力と6MWDの改善率については、6MWDの改善因子に筋持久力向上が関与しうると考えたが相関はみられず、今回EEMT法アプローチが片側下肢のみに対してであったこと、高齢者適応の筋持久力評価自体のEBM(根拠に基づいた医療)が確立されていないことが原因として考えられた。片側のみのアプローチであったにもかかわらず両下肢動作の帰結である持続歩行距離が向上したことについては、EEMT法の両下肢へのアプローチを必須とし、その改善効果についても6MWTの臨床的改善値とされる54m²²⁾を目安とするなど、研究デザインを強化することで本来の効果が明らかになると考えられる。

若年健常者を対象とした筋持久力評価の報告は散見されるが²³⁾、高齢者に適応する確立された評価の報告は見当たらない。そのため先行研究で重症心不全患者を対象とした低体力者でも筋持久力評価が可能であるfatigue-protocol¹⁷⁾に着目し、これを高齢者にも代替できると考え、今回本研究で使用した。しかし筋持久力とフィールドテストの相関自体に現在EBMはなく、筋持久力と6MWDの関係についても議論が深まらないのが現状である。何れも考慮すると、筋持久力評価の精度を上げることが必須であり、さらにフィールドテストとの相関を明らかにし、その上でEEMT法の持続歩行距離と筋持久力の改善効果について再検討することが必要であると考えられる。

我々はEEMT法を先行研究より、高齢者を対象として筋力増強効果を同様に望むべく実施した。しかし結果的に筋力増強効果を示すことができず、原因として

高齢者特有の病態であるサルコペニアが影響している可能性が考えられた。今回の結果はEMS法の筋力増強効果における否定的根拠を示すものであったが、今後の治療適応を模索する必要性とその方法論を導く側面を示唆するものであった。また今回EEMT法効果の新しい効果の知見として、筋持久力が向上する可能性が考えられた。同じく改善がみられた6MWTの結果に筋持久力が関与し得るかどうかについては制限因子も多いが、今後検討の余地はあると思われる。

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 femoris muscle during 2 neuromuscular electrical stimulation programs. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2003, **33**: 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**: 223-228.
- 4) Snyder M, De Luca P, Williams PR, et al.: Reflex inhibition of the quadriceps femoris muscle after injury or reconstruction of the anterior cruciate ligament. *Bone Joint Surg Am*, 1994, **76**: 555-560.
- 5) Snyder M, Delitto A, Bailey SL, et al.: Strength of the quadriceps femoris muscle and functional recovery after reconstruction of the anterior cruciate ligament. A prospective, randomized clinical trial of electrical stimulation. *J Bone Joint Surg Am*, 1995, **77**: 1166-1173.
- 6) Dobsák P, Nováková M, Siegelová J, et al.: Low-frequency electrical stimulation increases muscle strength and improves blood supply in patients with chronic heart failure. *Circ J*, 2006, **70**: 75-82.
- 7) Quittan M, Sochor A, Wiesinger GF, et al.: Strength improvement of knee extensor muscles in patients with Chronic Heart Failure by neuromuscular electrical stimulation. *Artif Organs*, 1999, **23**: 432-435.
- 8) Isabelle V, Yves L, Francois M, et al.: Neuromuscular electrical stimulation of the lower limbs in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *JCRP*, 2008, **2802**: 79-91.
- 9) 岩佐聖彦, 前田貴司, 広田桂介・他: 拮抗筋の電気刺激による遠心性収縮を伴う筋力増強法—長時間の電気刺激による刺激強度と筋出力の変化—. 理学療法学, 2002, **29**: 171-177.
- 10) Yanagi T, Siba N, Maeda T, et al.: Agonist contractions against electrically stimulated antagonists. *Arch Phys Med Rehabilitation*, 2003, **84**: 843-848.
- 11) Matsuse H, Siba N, Umezu Y, et al.: Muscle training by means of combined electrical stimulation and volitional contraction. *Aviat Space Environ Med*, 2006, **77**: 581-585.
- 12) 河戸誠司, 千住秀明, 濱出茂治: 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. 理学療法科学, 2010, **25**(3): 333-336.
- 13) 細田多徳 (監): 物理療法テキスト. 木村貞治, 沖田 実, Goh Ah Cheng (編), 南江堂, 東京, 2008, pp203-229.
- 14) Brooks D, Solway S, Gibbons WJ, et al.: ATS statement on six-minute walk test. *Am J Respir Crit Care Med*, 2003, **167**: 1287.
- 15) Lauretani F, Russo CR, Bandinelli S, et al.: Age-associated changes in skeletal muscles and their effect on mobility: an operational diagnosis of sarcopenia. *J Appl Physiol*, 2003, **95**: 1851-1860.
- 16) 平澤有里, 長谷川輝美, 山田純生・他: 健康成人における等尺性膝伸筋力. 理学療法学, 2002, **29**(Suppl): 342.
- 17) Borst SE: Interventions for sarcopenia and muscle weakness in older people. *Age Ageing*, 2004, **33**: 548-555.
- 18) 石川愛子, 長谷公隆, 千野直一: Disuse syndrome (廃用症候群)とSarcopenia. *Geriat Med*, 2004, **42**: 895-902.
- 19) 志波直人, 梅津祐一: 筋萎縮に対する電気刺激の効果—電気刺激による筋力増強効果について—. *Monthly Book of Medical Rehabilitation*, 2004, **42**: 73-80.
- 20) 下野俊哉: 高齢者に対する筋力トレーニングの効果に関する筋電図学的検討. 理学療法学, 2007, **34**: 160-162.
- 21) 近藤 健: 上腕二頭筋の運動単位数の計測とその臨床応用に関する研究, *リハ医学*, 1995, **32**(6): 367-375.
- 22) Troosters T, Casaburi R, Gosselink R, et al.: Pulmonary rehabilitation in chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med*, 2005, **172**: 19-38.
- 23) 舌間秀雄, 大峰三郎, 木村美子・他: 等運動性収縮による筋持久力と回復の測定. 理学療法学, 1998, **25**: 323-328.