

平成 28 年度 優秀卒業研究論文

EMS が及ぼす反対側の筋への影響

The Effects of EMS on the Contralateral Untrained Muscles

理学療法学専攻 堀本 秀作
(指導教員 坪田 裕司)

要 約：本研究は、Cross Education 効果に着目し、これが EMS (Electrical Muscle Stimulation) による低周波電気刺激に対しても生じるかを明らかにするという目的で行った。本学の健常な男子学生 10 名を対象とし、実験群として、両大腿部に EMS 機器を取り付け、右足 (利き足) のみに EMS に内蔵されている電気刺激を 23 分間行う群を設けた。また、コントロール群として、実験群と同様の条件を電気刺激なしで過ごしてもらう群を設定し、それぞれ 5 名ずつ振り分けた。電気刺激を 4 週間、週 3 回行い、実験開始前と実験終了後 (4 週間後) の両膝関節の最大等尺性伸展筋力を測定した。その結果、膝関節伸展筋力の上昇率が実験群の右脚 (電気刺激あり) では 20%、コントロール群の右脚では -1% となり、実験群の左脚 (電気刺激なし) が 18%、コントロール群の左脚では 1% と、群の間で有意な筋力増強効果が認められた。また、実験群の左右の筋力を比較したところ、20% と 18% で有意差のない上昇率が認められた。これらにより、EMS にも、Cross Education 効果が生じることが示唆された。この結果から、ギプス固定を行っている部位の筋力低下や筋萎縮を予防できることが示唆される。

キーワード：EMS、筋力増強、Cross Education 効果

1. 序文

臨床において、中枢神経系疾患による片麻痺患者や、整形外科疾患による片側にギプス固定を行っている患者に対して、患側の筋力低下や筋萎縮は廃用の要因となるため、早急に対処する必要がある。阿部らは脳卒中片麻痺による長期臥床での下肢の筋萎縮は、28 病日まで継続して起こると報告している¹⁾。その中の運動療法の一つに Cross Education 効果による筋力増強効果がある。

そもそも Cross Education 効果とは、片側の

筋力トレーニングによって、反対側にも筋力増強効果が生じることとされており、今日に至るまで、様々な研究が成されている。Cross Education 効果に対する研究は半田らによれば、1894 年に Scripture らにより、最初に報告され、その後、1950 年 Hellebrandt らによって臨床応用が提唱された。その後は 1955 年に Darucus らによって片側の等尺性運動で、対側の筋力の増大が認められたと報告され、Cross Education 効果は運動療法の適応の一つとして活用されている²⁾。また、最近の研究では、1981 年に半田らが片麻痺患者の健側膝伸筋群の等速性収縮に

よって、麻痺側膝伸筋群の筋力増強が認められたと報告している²⁾。

EMSによる筋力増強効果については、内山らが最大筋張力、筋持久力ともに効果が認められたと報告しており³⁾、他にも様々な研究が成されている。これも臨床に対して、物理療法の適応の一つとして広く認知されている。しかし、このEMSがCross Education効果によって反対側の筋力増強効果が生じるかどうかは明らかになっておらず、これに対する研究も2016年6月25日現在ではみられない。

そこで、これらのCross Education効果による対側の筋力増強効果と、EMSによる筋力増強効果に着目し、低負荷で筋力低下、筋萎縮を予防できるのではないかと考えた。そこで、EMSを、筋力の神経適応が生じる最低限の期間である4週間⁴⁾、片側の筋に行った場合、刺激しない反対側の筋力増強はみられるのか、また、右足（刺激側）と左足（非刺激側）の筋力の上昇率を比較したときと、右足（利き足）に電気刺激を行う群（実験群）と電気刺激を行わない群（コントロール群）の筋力の上昇率に有意差が認められるか研究し、その結果について考察したので、以下に報告する。

2. 対象

本学の健常な男子学生10名（21～22歳）とし、利き足が全員右足の人を対象とした。実験群として、両大腿部にEMS（MTG社製、SIXPAD）を取り付け、右足のみにEMSに内蔵されている電気刺激を行う群（以下、電気刺激群）を設けた。また、コントロール群として、実験群と同様の状態で、同様の時間を電気刺激なしで過ごしてもらう群（以下、非刺激群）を設定し、それぞれ5名ずつ振り分けた。なお本研究はヘルシンキ宣言に基づき、本学倫理審査委員会の承認（承認番号：OKRU28-B109）を

得て実施した。

3. 方法

方法として、電気刺激群はEMS機器（MTG社製、SIXPAD）を両大腿部に装着し、利き足の大腿四頭筋に対して20Hzの低周波電気刺激を行った。内蔵されている電気刺激時間の23分間（図1）を1回とし、安静立位にて行った。また非刺激群は同様の条件で電気刺激を与えないで過ごした（図2）。

期間は、幸田が「最大筋力はトレーニング開始直後から20日までは急速に増強される。」⁴⁾と報告しているため、筋力の神経適応が生じる最低限の期間として4週間とし、最も筋力増強が期待できるように⁴⁶⁾月曜日・水曜日・金曜日の週3回とした。また、学生の勉強面に影響を及ぼさないよう、本学のカリキュラムに従い放課後に実施した。

測定は等尺性運動での両膝関節最大伸展筋力を筋力測定器（BIO DEX, GT-30）を用いて行った。端座位で下腿遠位部を測定器のアームにベルトで固定し、膝関節を95～100°に設定した。また、代償動作の防止のために、体幹と測定する下肢の大腿部もベルトで固定した（図3）。この状態での膝関節伸展最大等尺性収縮を5秒間測定し、インターバルを10秒間として3セットずつ両下肢で行った。測定期間は、両群の実験開始前とその4週間後とし、反復する筋力測定に伴う筋力増強効果が結果に影響しないように、実験開始前と4週間後の2度のみの測定とした。3回の最大等尺性収縮の測定値の中から最大値をNmで算出し、電気刺激群の左右脚それぞれの筋力と、電気刺激群と非刺激群の左右脚の筋力の最大値を比較した。これにより、片側の大腿部に対する低周波電気刺激が対側に影響し、Cross Education効果が生じるかどうかをみた。

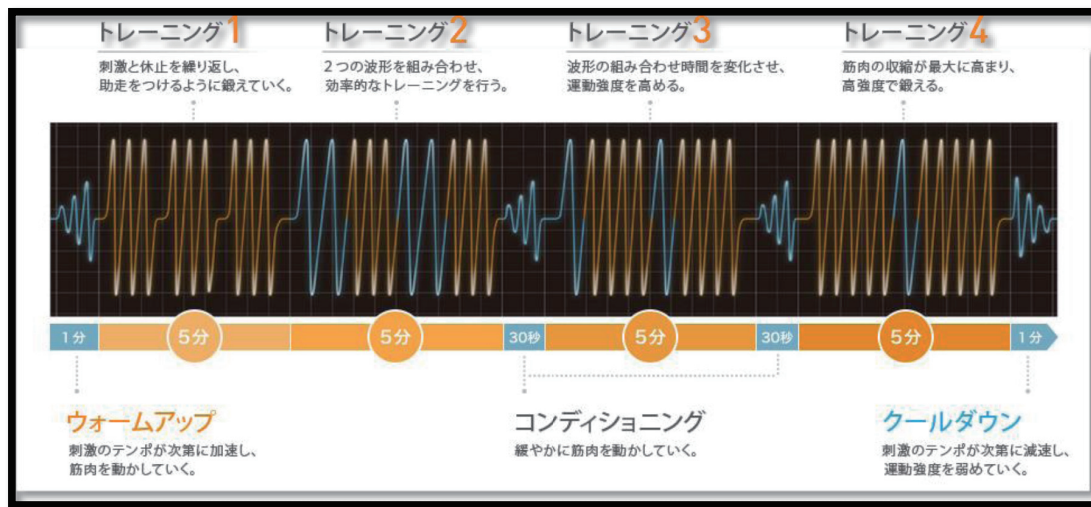


図1. MTG 社製 SIXPAD の電気刺激頻度 (<http://www.mtgec.jp/wellness/sixpad> より)

統計はJSTATを用い、対応のあるt検定を行った⁷⁾。また有意水準を5%以下とした。

4. 結果

4週間にわたる実験前後の膝関節伸展筋力の変化は、電気刺激群右脚（刺激あり）の実験開始前は 300 ± 67 （平均±標準偏差、Nm）、4週間後は 376 ± 44 で20%筋力が上昇していた（図4）。それに対し左脚（刺激なし）では、実験開始前が 284 ± 32 から4週間後が 347 ± 18 と、18%筋力が上昇していた（図5）。それぞれ実験開始前と4週間後の筋力について、対応のあるt検定⁷⁾を行った結果、左右どちらにも有意な筋力増強効果が認められた。また、電気刺激群の左右脚の上昇率を比較すると、右脚が20%、左脚18%で、ほぼ同様に筋力の上昇がみられ、有意差は認められなかった。

また、非刺激群右脚（刺激なし）の実験開始前は 316 ± 83 、4週間後は 314 ± 85 で上昇率は-1%であり、左脚（刺激なし）の実験開始前は 313 ± 104 、4週間後は 316 ± 105 で上昇率は1%であった。こちらにも対応のあるt検定⁷⁾を行った結果、左右の実験前後、左右の上昇率に有意差は認められなかった。



図2. EMS 機器の装着部位

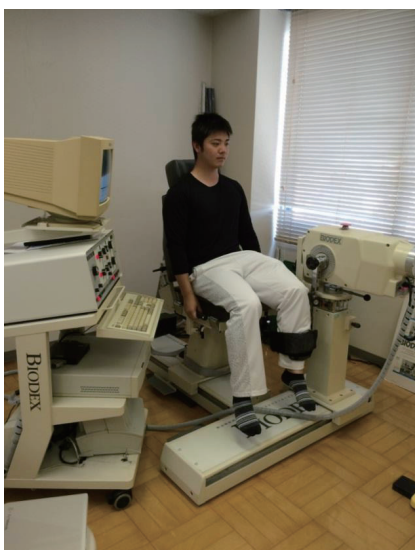


図3. BIO DEX での測定肢位

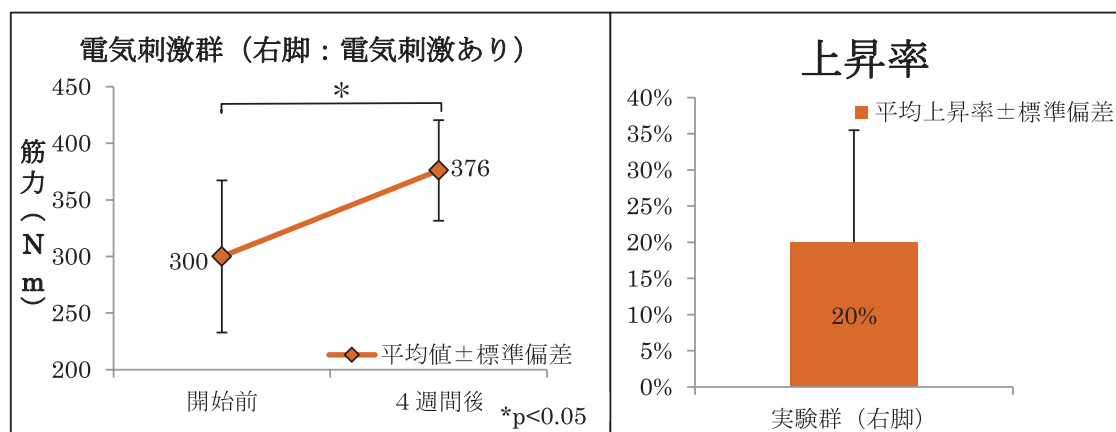


図4. 電気刺激群の右膝関節伸展筋力の推移と上昇率

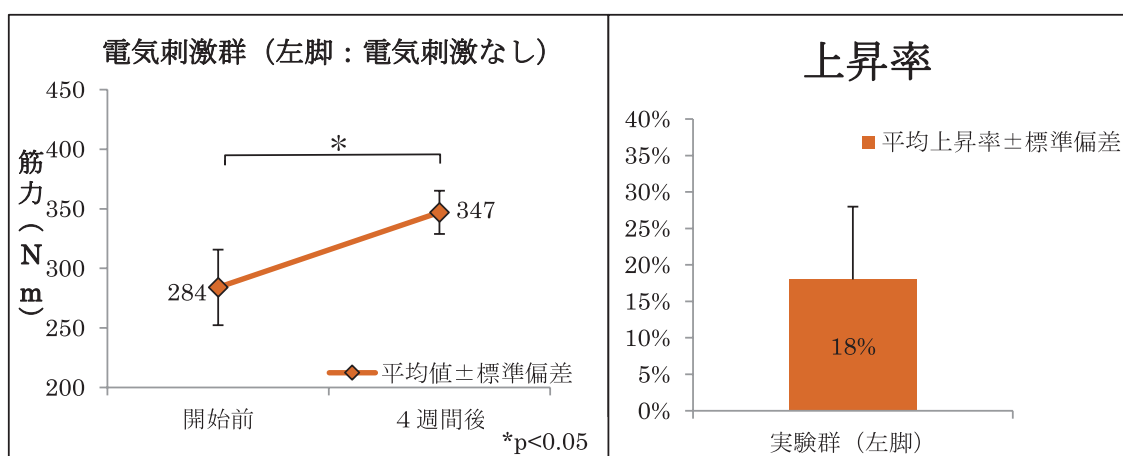


図5. 電気刺激群の左膝関節伸展筋力の推移と上昇率

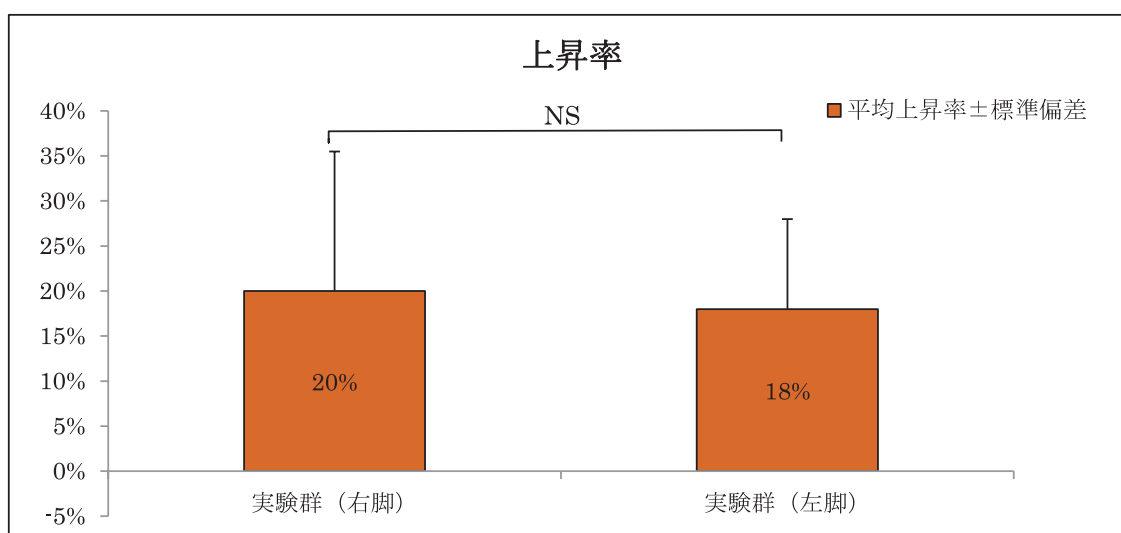


図6. 電気刺激群両膝関節伸展筋力の上昇率の比較

5. 考察

今回、電気刺激群の右脚（刺激あり）、左脚

（刺激なし）ともに有意な筋力増強効果が認められた。EMSによる筋力増強効果については、ソ連の Dr.kots が「低周波電気刺激は最大筋力

に關係する Type II 筋線維（速筋）の力を増大させる」⁸⁾と報告しており、他にも、「スポーツ選手において EMS 訓練によって最大筋力の 110%～130% の筋収縮を起こし、訓練開始から 5 週間後には最大筋力の 40% が増加した」⁸⁾とも報告している。このことから、電気刺激側の膝関節伸展筋力が上昇したのは、右大腿四頭筋が EMS によって刺激され、筋収縮が起こり、右大腿四頭筋の神経適応によって運動単位の活動量の上昇と発射頻度の上昇が起こった⁹⁾と考える。また、片側大腿部への電気刺激を筋力の神経適応が生じる最低限の期間として 4 週間として設定し週 3 回で行ったことにより、筋力増強運動の原則である継続性の原則が生じ、神経適応レベルでの筋力増強効果を生じさせたと考える^{4,6)}。

また、非刺激側の筋力が 18% 上昇したことについては、片側の電気刺激によって刺激側の大腿四頭筋の収縮が感覚入力となって感覚路を通り、脳の中心前回からの興奮が Cross Education 効果により、刺激側と同期化し、左大腿四頭筋の運動単位の活動数を上昇させるとともに、運動単位の発射頻度も上昇した⁹⁾と考える。また、河戸らの研究によると、電気刺激は速筋を支配する太い軸索から先に興奮させ、刺激強度が強くなるにつれて遅筋を支配する細い軸索が興奮させるという特徴があると報告しており¹⁰⁾、これらも 4 週間で最大筋力が上昇した要因の一つであると考えられる。

また、刺激側と非刺激側の筋力の上昇率に有意差の無い同程度の増強があったことについても、中心前回からの神経の興奮が左右ともに同期化されたためと考える。また、左大腿部にも、電気刺激はないが、中川らが、「感覚入力を行うことにより、効率のよい筋力増強が期待できる」と報告しているように、両下肢に器具を装着することによって、左大腿四頭筋から皮膚感覚の入力が入り、動作目標としてのイメージ刺

激が加わることにより、筋力増強を助長させたのではないかと考える¹¹⁾。

これらの実験によって、片側のみの電気刺激が反対側の筋力にも影響し、筋力増強効果が期待されることが分かった。これにより、ギプス固定されている部位や、脳卒中片麻痺患者の麻痺側²⁾にも、その反対側に電気刺激を与えれば筋力低下の予防につながるのではないかと考える。

6. 結語

本研究では、Cross Education 効果によって、片側に対する EMS が反対側の同名筋にも筋力増強効果を生じさせることが分かった。電気刺激群の右脚（電気刺激あり）と、左脚（刺激なし）それぞれに有意な筋力増強効果が認められ、左右の上昇率を比較すると 20% と 18% で、同じようなパーセンテージで上昇しており、有意差のない上昇率となった。

これらの片側に対する EMS が対側の筋にも影響することが分かったが、両側に EMS を行った場合に今回の結果とどのような相違が生じるのか研究していきたい。また、今回筋の神経適応が生じる期間である 4 週間で研究してきたが、これに対して筋肥大が生じるといわれる 8 週間行くと筋力はどう変化するのか、今後の研究につなげていきたいと思う。

謝辞

今回の研究に協力してくださった方々、ならびにご指導くださった担当教員の先生に心からの感謝の念を表して謝辞とさせていただきます。

〔引用文献〕

- 1) 阿部 千恵, 村上 賢一, 藤澤 宏幸 急性期脳卒中片麻痺患者における筋厚の経時的変化 理学療法

- 学 2016, 43(2):136-142.
- 2) 半田 健壽, 星 文彦 Isokinetic exercise を用いた筋力強化訓練における Cross-education 効果の検討. 臨床理学療法: 社団法人日本理学療法士協会機関紙 1981, 8(2):101.
- 3) 内山 考憲, 西川 龍朗, 大西 祥平 電気刺激による筋力増強と筋損傷の評価 バイオメカニズム学会 バイオメカニズム 17, 2004, 57-68.
- 4) 幸田 利敬 筋力トレーニングについて. 理学療法のための運動生理 1994, 9(3):131-138.
- 5) 小柳 磨毅 “実践 PT ノート第2版” 三輪書店, 東京, 2013, p.22-25.
- 6) 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.
- 7) 山本 澄子, 谷 浩明 “すぐできる! リハビリテーション統計” 南江堂, 東京, 2012, p.38-42.
- 8) Anthony Delitto, Lynn Snyder-Mackler: Two theories of muscle strength augmentation using percutaneous electrical stimulation. Phys Ther 1990, 70(3):158-164.
- 9) 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. リハビリテーション医学 1995, 32(6):367-375.
- 10) 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.
- 11) 中川 志織 イメージトレーニングと感覚入力法における筋力増強の効果の比較. 大阪河崎リハビリテーション大学 2010 年度卒業論文 坪田ゼミ卒業研究論文集 2010, p.25-31.

〈主査講評〉

真に人体の不思議にはきりが無い。この論文で著者は片側の筋力増強刺激が反対側に効果を及ぼす cross education 現象について、特段の身体運動を伴わない EMS を刺激要因に用いて追求し、有意な結果を得た。本文中で彼が指摘しているように、この論文は、例えば安静臥床状態でギプス固定された状況においても、健側への負担の少ない EMS 刺激によって患側の筋力低下を防ぎうるという可能性を綺麗なデータで示した仕事である。今回の結果を見る限り、反対側への影響はイメージトレーニング等他の影響を越える大きさがある様に見える。今後の検証・展開が望まれる研究である。

基礎的に見える筋力増強の研究から、臨床場面へのつながりを考え、さらに応用へと考察したこの卒業研究は、そのままではないにせよ、いずれ彼によって職場で生かされて行くに違いないと願っている。

人体の左右の「動き」には、単に姿勢制御や協調運動の為だけでなく、交差性伸展反射に見るように生体防御も含め、片側に留まらず反対側とも密な連携や制御があり、まだまだ不思議は残っている。