

＜シンポジウム 21—3＞神経変性疾患と脳卒中のリハビリ；理論と実践

神経疾患に対するリハビリテーションの理論と実践

原 行弘

(臨床神経 2011;51:1063-1065)

Key words : リハビリテーション, 脳可塑性, 機能的電気刺激, 神経機能画像, 機能障害

I. はじめに

従来、脳卒中上肢麻痺は発症後3カ月以降にはほとんど機能がプラトーになるといわれ、リハビリテーション（以下リハ）アプローチは“残存機能を生かす”つまり非麻痺側の機能を積極的に高めて麻痺肢を代償することによって、日常生活動作を獲得するものとされてきた。さらに、20世紀までは、脳をはじめとする中枢神経は損傷すると再生することはないといわれてきた。しかし、脳にも神経幹細胞が発見され、脳神経が再生する可能性が示されるとともにニューロイメージングの発展によって、脳神経機構の再構築の存在が明らかにされた。一方で、損傷後の神経機能回復促進を目的にしたニューロ・リハビリテーション（以下ニューロリハ）という概念が提唱されてきた。これは、脳の運動学習メカニズムによって、麻痺した筋肉を動かすこと自体が脳神経再構築をうながす治療になることに基本をおいた概念である。この基本理念に基づいて中枢神経の回復過程における脳の可塑性や神経ネットワークの再構築がニューロイメージング研究で確認されている。

II. 筋電誘発型機能的電気刺激 (FES)

単純な電気刺激よりも随意運動がともなったトリガー型の電気刺激のほうがより効果的であり、とくに導出した筋活動電位に比例して電気刺激がおこなわれる筋電誘発型 FES は、脳卒中片麻痺上肢の機能改善効果がみとめられている。これは、村岡の考案した随意筋電制御電気刺激装置 (IVES)¹⁾をもとに開発され、家庭でも使用可能なパラメーター記憶機能付パワーアシスト FES (PAS システムTM) である。本法の特徴は、①筋肉がスイッチを兼ねている自律型の制御の一種であり、緻密な制御と運動学習が可能、②装着・操作が容易で家庭で毎日長時間使用可能、③同一筋肉部位にて筋活動電位測定と電気刺激をおこなうので誤動作がない、であり、従来不可能であった動きにまで機能を拡大できるので、まさにニューロリハの概念にあてはまると思われる。従来の FES で使われてきた on-off スイッチ制御とはことなり、標的筋の収縮による筋活動電位を制御入力として取り込み、筋活動電位の振幅に



Fig. 1 脳梗塞右片麻痺患者において、ポータブルスプリングバランサー（上肢重免荷）およびスティムレーター2台（近位筋・遠位筋を同時刺激）を使用してリーチ動作および手指伸展を同時に促進する。

比例して電気刺激強度を調節し標的筋を収縮させる機構なので、緻密な制御と運動学習が可能である。応用的方法として、拮抗筋の痙縮をボトックスで抑制することで negative factor を減ずるとともに、標的筋を筋電誘発型 FES で促進して positive factor を増すハイブリッドな相乗効果を意図する方法がある。また、片麻痺上肢近位筋の筋力低下があると、上肢運動時に屈筋共同運動パターンや屈筋群の痙縮が増強されやすいので、BFO やポータブルスプリングバランサーを併用して、片麻痺近位筋への負担を減らすことで片麻痺上肢の筋緊張軽減を図るのも有効である (Fig. 1)。FES は頻度が高いほど効果的であり、毎日自宅で長時間施行できれば、いっそうの改善効果が期待できる。本装置を使用して課題指向型訓練 (task oriented training) が可能であり、効率のよい巧緻訓練が可能である。発症後約1年経過した脳卒中片麻痺患者10例において、家庭での自己促進訓練の簡便性、安全性および訓練効果を検討したところ、手・手指関節伸展動作および肩関節屈曲動作の自動可動域増加、標的筋の RMS 増加、拮抗筋痙縮減弱、上肢巧緻動作改善の各効果がみとめられ、簡便性・安

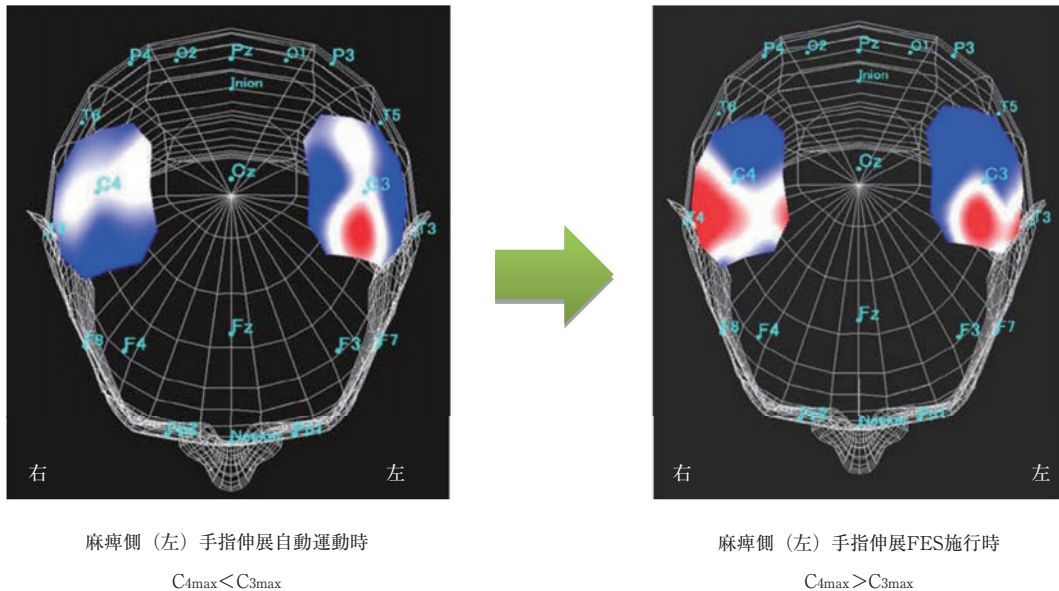


Fig. 2 脳梗塞 25 歳, 右前頭葉梗塞, 左片麻痺例の NIRS : 3-D マッピングと ROI 解析所見.

C4max : ROI 解析による C4 中心の関心領域の最大値

C3max : ROI 解析による C3 中心の関心領域の最大値

全性も確認されている²⁾.

III. 筋電誘発型 FES の適応

集中的な筋電誘発型 FES は慢性期の片麻痺改善に有効であるが, 障害の重症度と有効性は反比例する傾向にあり, 従来の FES は重度片麻痺例には有効性が乏しいことが示唆される. しかし, 筋活動電位がある程度感知できる筋収縮があれば, 見た目には関節運動に乏しくても筋電誘発型 FES の適応となりうる. とくに手・手指関節伸展筋の麻痺回復は片麻痺上肢巧緻障害回復の鍵となる重要な標的筋といえる³⁾. 入力刺激に対して脳の反応性がより高まっている脳卒中急性期～亜急性期には, 体性感覚入力は脳の再構築に重要な役割を担っているとされ⁴⁾, 発症早期から筋電誘発型 FES を施行するほうが脳機能再構築に有効に働く可能性を Meilink は指摘している⁵⁾. 一般的な FES の適応疾患として脳卒中片麻痺例を中心とした報告が多いが, 中心性頸髄損傷によって生じた手指屈筋筋力低下による把持動作障害に対し, 手指屈筋群を標的筋とした筋電誘発型 FES を施行することで, 把持動作を中心に ADL の改善がみとめられている. また, 腕神経叢麻痺によって肩挙上障害をみとめた症例に対し, 三角筋を標的筋として筋電誘発型 FES を施行したところ, 肩関節挙上動作に改善がみとめられており, 腕神経叢麻痺でも筋電誘発型 FES が脳神経の再構築をうながし, 麻痺の改善を促通する可能性が考慮される.

IV. 筋電誘発型 FES の作用機序

1. 末梢性機序 : 末梢性の作用機序として①標的筋の筋力

増強, ②随意運動と電気刺激による相反抑制による拮抗筋の過度の筋緊張抑制が考えられる. とくに②については H 反射をもちいた筋電図学的検討で確認されている³⁾. これは電気刺激がもたらす相反抑制の回復と考えられ, 求心性 Ia 神経線維に対する反復刺激が, 脊髄内の抑制性介在ニューロンに post-tetanic potentiation をもたらし, 拮抗筋支配の運動ニューロンの興奮性を低下させることによると考えられる.

2. 中枢性機序 : 脳卒中患者の麻痺手の運動課題によるニューロイメージングでは, 早期の片麻痺回復には非障害側半球の一次運動野, 運動前野や補足運動野などの運動関連領域の賦活が関与している (半球間の脱抑制によると推察されている)⁶⁾. 経時的な研究では機能回復にともない, 運動野や運動前野の活動が障害側半球で優位になり, 脳卒中半年～一年後にはしだいに非障害側の一次運動野や運動関連領域の活動はむしろ減少し, 逆に長期に非障害側半球の賦活が優位であると機能回復が不良であることが多い⁷⁾. 以上のような脳機能再構築の傾向が, FES の治療経過中の近赤外光脳機能測定 (NIRS) でもみとめられており (Fig. 2), 単純な随意運動時および低周波電気刺激時にくらべ, 筋電誘発型 FES 使用時には障害側感覚運動野にいちじるしい血流増加がみとめられている⁸⁾. これより, 筋電誘発型 FES による片麻痺機能改善効果は, 障害側運動野と運動前野の血流改善が関与している可能性が示唆される. 随意運動をともった FES は, 単純な随意運動や受け身の電気刺激にくらべ, 脳の可塑性を賦活して機能改善に寄与すると推察される. 筋電誘発型 FES は深部感覚のフィードバックと電気刺激入力および随意収縮が融合して感覚運動統合を促通して脳の再構築をおこなうと推察されている⁹⁾.

V. 今後の展望

新しい機能的電気刺激をもちいたニューロリハを日常にとり入れるには、ある程度の強制使用ができる能力をみきわめ、学習による不使用状態 (Learned non-use) から脱却し、本人が生活の中でできるちょっと難しい運動課題をみつけることが大切であるが、精神的ストレスにも注意を払う必要がある。さらに、筋電誘発型 FES によるニューロリハを効率よく効果的におこなうには、訓練量 (dose)、訓練内容 (context)、環境 (environment) の課題をよく考慮して推進してゆくことが重要である。

文 献

- 1) 村岡慶裕. 随意筋電制御電気刺激装置 IVES. 臨床脳波 2009;51:170-175.
- 2) Hara Y, Ogawa S, Tsujiuchi K, et al. Home-based rehabilitation program for the hemiplegic upper extremity by power-assisted functional electrical stimulation. *Disabil Rehabil* 2008;30:296-304.
- 3) Hara Y, Ogawa S, Muraoka Y. Hybrid power-assisted functional electrical stimulation to improve hemiparetic upper extremity function. *Am J Phys Med Rehabil* 2006; 85:977-985.
- 4) Ward NS. Mechanisms underlying recovery of motor function after stroke. *Postgrad Med J* 2005;81:510-514.
- 5) Meilink A, Hemmen B, Kwakkel G. Impact of EMG-triggered neuromuscular stimulation of the wrist and finger extensors of the paretic hand after stroke: a systematic review of the literature. *Clin Rehabil* 2008;22:291-305.
- 6) Calautti C, Baron JC. Functional neuroimaging studies of motor recovery after stroke in adults—a review. *Stroke* 2003;34:1553-1566.
- 7) Ward NS, Brown MM, Thompson AJ, et al. Neural correlates of motor recovery after stroke: A longitudinal fMRI study. *Brain* 2003;126:2476-2496.
- 8) Hara Y. Neuro-rehabilitation with new functional electrical stimulation for hemiparetic upper extremity in stroke patients. *J Nippon Med Sch* 2008;75:4-14.
- 9) Shin HK, Cho SH, Jeon HS, et al. Cortical effect and functional recovery by the electromyography-triggered neuromuscular stimulation in chronic stroke patients. *Neuroscience Letters* 2008;442:174-179.

Abstract

Neuro-rehabilitation for neurological disease

Yukihiro Hara, M.D.

Chiba Hokusoh Hospital, Nippon Medical School

Our understanding of motor learning, neuro-plasticity and functional recovery after the occurrence of brain lesion has grown significantly. New findings in basic neuroscience provided stimuli for research in motor rehabilitation. Electrical stimulation can be applied in a variety of ways to the neurological impairment. Especially, electromyography (EMG) initiated electrical muscle stimulation improves motor dysfunction of the hemiparetic arm and hand. Triggered electrical stimulation is reported to be more effective than non-triggered electrical stimulation in facilitating upper extremity motor recovery. Power-assisted FES induces greater muscle contraction by electrical stimulation in proportion to the voluntary integrated EMG signal picked up. Daily power-assisted FES home program therapy with the novel equipment has been able to improve wrist, finger extension and shoulder flexion effectively. Combined modulation of voluntary movement, proprioceptional sensory feedback and electrical stimulation might play an important role to facilitate impaired sensory-motor integration in power-assisted FES therapy. It is recognized that increased cerebral blood flow in the sensory-motor cortex area on the injured side during power-assisted FES session compared to simple active movement or simple electrical stimulation in a multi-channels Near-infrared spectroscopy (NIRS) study to non-invasively and dynamically measure hemoglobin levels in the brain during functional activity.

(*Clin Neurol* 2011;51:1063-1065)

Key words: rehabilitation, neural plasticity, functional electrical stimulation, neuroimaging, impairment