症例報告

慢性期片麻痺患者の上肢機能に対する A 型ボツリヌス毒素治療と治療後の随意 運動介助型電気刺激 (Integrated Volitional control Electrical Stimulator: IVES) の試み

團 志朗^{1, 3)} 飯田 達能²⁾ 安藤 高夫²⁾ 五十嵐有紀子¹⁾
都丸 哲也¹⁾ 鬼塚 俊朗¹⁾ 野本 達哉¹⁾ 千野 直一¹⁾
岡島 康友³⁾

¹⁾永生会永生病院リハビリテーション科

²⁾永生会永生病院内科

³⁾杏林大学医学部リハビリテーション医学教室

Newly Developed Therapy for the Paretic Arm using an Integrated Volitional Control Electrical Stimulator and Botulinum Toxin Type A

Shiro DAN^{1, 3)}, Tatsuyoshi IIDA²⁾, Takao ANDO²⁾, Yukiko IGARASHI¹⁾,
Tetsuya TOMARU¹⁾, Toshiro ONITSUKA¹⁾, Tatsuya NOMOTO¹⁾,
Naoichi CHINO¹⁾ and Yasutomo OKAJIMA³⁾

¹⁾Department of Rehabilitation Medicine, Eisei Hospital

²⁾Department of Internal Medicine, Eisei Hospital

³⁾Department of Rehabilitation Medicine, Kyorin University Faculty of Medicine

We report a case for which we proposed combination treatment with botulinum toxin A (BTXA) injection and rehabilitation with a specially equipped therapeutic electrical stimulator (TES). The patient was a 66-year-old male patient with right hemiplegia secondary to cerebral infarction ten years prior. He could not hold or release objects since he was unable to extend his fingers or his wrist due to increased flexor muscle tone in the upper extremity. Before therapeutic exercises of his right hand were initiated, BTXA was injected into the flexor muscles of the right arm, which resulted in reduced effort when opening his hemiplegic hand. Thus, TES with newly-developed equipment was successfully introduced to the hemiplegic hand. The equipment stimulates the target muscle (i.e., extensor digitorum communis in this case) in response to the patient's control detected from the target muscle.

Key words: botulinum toxin, spasticity, upper limb, Modified Ashworth Scale, therapeutic electrical stimulation: TES

ボツリヌス毒素，痙縮，上肢，治療的電気刺激

(J. Nihon Univ. Med. Ass., 2011; 70 (5): 249–253)

要旨 A 型ボツリヌス毒素投与 (botulinum toxin type A, BTXA) と随意介助型電気刺激装置 (Integrated Volitional Electrical Stimulator, IVES) を用いて痙性片麻痺の手のリハビリテーションに成功した発症後10年経過した右痙性片麻痺の66歳男性の報告を行う。十分なインフォームドコンセントを行い，上肢屈筋にBTXA治療を施し痙縮を抑制し，IVES導入を可能とした。アシスト下で把持動作の練習が始められ，手指・手関節の分離運動が出現した。

はじめに

A 型ボツリヌス毒素製剤 (botulinum toxin type A: 以下 BTXA) は，ボツリヌス菌 (*Clostridium botulinum*) により

産生される A 型ボツリヌス毒素を有効成分とする筋弛緩剤である。本邦でも木村らの BTXA 痙縮治療グループの臨床評価で効果が証明され¹⁾，2010 年 10 月に成人の上肢痙縮，下肢痙縮の追加効能が承認された。

痙縮治療は脳卒中片麻痺リハビリテーションで重視されるが，痙性片麻痺の機能を高めるためには，痙縮の抑制だけを問題にするのではなく，麻痺肢の随意性の改善が必要がある。笠島ら²⁾，藤原ら³⁾ は手関節固定装具により痙縮を抑制し，随意運動介助型電気刺激 (Integrated Volitional control Electrical Stimulator, IVES) を用いた手指伸筋機能の改善を報告した。

IVES⁴⁾ は不全麻痺筋の筋収縮増幅に用いられ，不全麻痺筋の随意収縮時に得られる筋電位を検知して，その大

きさに比例した電気刺激をその麻痺筋に与えるという原理が使われている．随意収縮の強弱のコントロールや，収縮後の脱力の学習に有効という特徴がある．しかし，痙縮と随意運動を筋電位から区別することは困難で IVES を有効に使うには痙縮を抑制することが必要となる．

原ら⁵⁾は痙縮が著しく片麻痺上肢屈筋共同運動パターンからの脱却が困難な症例に対して，5%フェノールでモーターポイントブロックを施行して，手指屈筋群の痙縮を抑制した後に，IVES を利用した症例を報告している．当時は BTXA による成人の上下肢痙縮の追加効能は承認されていなかったため敢えて侵襲の高いフェノールを用いている．

今回，我々はボツリヌス療法で，肘屈筋群及び手指屈筋群の痙縮を抑制した後に，総指伸筋を IVES で促通して痙性片麻痺の改善を認めた症例を経験したので報告する．

I. 症 例

症 例：66 歳，男性

診 断：脳梗塞

主 訴：右上肢・手指の痙性麻痺

職 業：無職

既往歴：糖尿病，高血圧，高尿酸血症で内服・食事加療

家族歴：特記すべき事項なし

現病歴：2001 年 9 月に脳梗塞発症，A 病院で点滴保存加療を受ける．その後複数の病院にリハビリ入院後，他院に 2002 年 6 月からリハビリ通院の後，2002 年 9 月より当院外来で維持のリハビリ通院の対象となっていた．上肢の痙性麻痺に対して新しい機器を用いたリハビリ・プログラムを導入していたところ，上肢筋緊張の亢進の緩和，右手の補助手としての使用を希望され，2011 年 1 月に入院された．今回の一連の治療・評価にあたって被験者に研究趣旨を説明し賛同を得た上で文書による同意を得た．

入院時現症：意識清明，運動麻痺は Stroke Impairment Assessment Set⁶⁾ (SIAS) 運動項目で上肢近位 2 (手部を対側膝から乳頭の位置まで運ぶこと可能)，上肢遠位 1A (手指の集団屈曲可能)，下肢近位 (股関節) 3，下肢近位 (膝関節) 2，下肢遠位 (足関節) 1 であり，左半身の感覚は触覚・深部知覚とも軽度鈍麻であった．麻痺側腱反射は亢進し，modified Ashworth Scale⁷⁾ (以下 MAS ; Table 1) は肩関節屈筋群 1，肘関節屈筋群 2，手関節屈筋群 1+，手指屈筋群 3 であり，自動運動可動域は右肩関節伸展 5°，肘関節伸展 -15°，手関節伸展 -10°，手指 MP 関節伸展 -70°，手指 PIP 関節伸展 -105°，DIP 関節伸展 -45° 可能であった (Table 2)．基本動作・ADL は自立していた．歩行時に右上肢屈筋群優位の筋活動の増強を認め，肩関節周囲筋の緊張の亢進が認められた．入院時 disability

Table 1 modified Ashworth scale⁹⁾

0	筋緊張の亢進がない
1	可動域の終わりに引っかかるような感じや，わずかな抵抗感を呈する軽度の筋緊張増加
1+	可動域の 1/2 以下の範囲で引っかかるような感じの後にわずかの抵抗感を呈する軽度の筋緊張増加
2	緊張はより増加し可動域のほとんどをとおして認められるが，罹患部位は容易に動かすことができる．
3	緊張の著しい増加で他動的に動かすことが困難
4	罹患部位は屈曲や伸展を行っても固く動きがない状態

Table 2 The Change of MAS and active range of Motion (ROM) before and after BTXA injection.

	BTXA 筋注前	3 カ月後
MAS		
肩関節屈曲	1	0
肘関節屈曲	2	1+
手関節屈曲	1+	1
手指屈曲	3	1+
Active ROM		
肩関節伸展	5°	15°
肘関節伸展	-15°	-10°
手関節伸展	-10°	5°
手指 MP 関節伸展	-70°	-65°
手指 PIP 関節伸展	-105°	-95°
手指 DIP 関節伸展	-45°	-20°

assessment scale (DAS)⁸⁾ は「手の衛生状態」3 点，「疼痛」1 点，「着衣動作」2 点，「上肢の肢位」1 点であった．なお，0 点が「障害なし」，1 点が「軽度の障害」，2 点が中等度の障害，3 点が「重度の障害」である．脳卒中上肢機能検査 (MFT) は「上肢の前方挙上」2 点，上肢の側方挙上」1 点，「手掌を後頭部へ」2 点，「手掌を背部へ」1 点で「つかみ」，「つまみ」，「立方体運び」，「ペグボード」は 0 点で合計 6 点であった (Table 3)．各項目 4 点満点で合計 32 点満点である．頭部 MRI では左被殻から放線冠に広がる陳旧性のアテローム硬化によると診断された梗塞巣が認められた (Fig. 1)．

II. 問題点及びリハビリ処方

右上肢痙縮，右手指変形，ADL 障害が問題点として挙げられた．これに対し，以下のリハビリ・プログ

Table 3 The Change of DAS and MFT before and after BTXA injection

	BTXA 筋注前	3 カ月後
DAS		
手の衛生状態	3	1
疼 痛	1	1
着衣動作	2	2
上肢の肢位	1	1
MFT		
上肢の前方挙上	2	2
上肢の側方挙上	1	1
手掌を後頭部へ	2	2
手掌を背部へ	1	2
つかみ	0	0
つまみ	0	0
立方体運び	0	0
ペグボード	0	0

Fig. 1 Magnetic resonance images showing infarction scar as high intensity extending from the corona radiata to the parietal lobe in the left hemisphere on fluid-attenuated inversion recovery images.

ラムを実施した。

痙性麻痺の評価と治療・リハビリ

1) 自動関節可動域 (ROM) 評価

肘関節の可動域は椅子座位にて、最大肘関節屈曲角度を測定した。PIP 関節の可動域は前腕回外、手関節中間位に置き、テストする指を中指関節で軽度屈曲位にして PIP 関節の自動可動域を測定した。DIP 関節の可動域は前腕回外、手関節中間位で、PIP 関節は伸展位で DIP

Fig. 2 Device CHB-101® where electrical stimulation is possible while injecting medicinal solution made in Unique Medical Co., LTD.

関節の可動域を測定した。

2) BTXA 投与

A 型ボツリヌス毒素製剤 (商品名ボトックス®) を使用した。投与前に 1 バイアル (100 単位) を生理食塩水 4 ml で希釈して、1 ml あたり BTXA 25 単位含有するよう調剤した。

ユニークメディカル社製の薬液を注入しながら電気刺激もしくは筋電測定が可能な装置 CHB-101® (Fig. 2) を用いて、筋を同定しながら希釈した BTXA を注入した。本装置では頻度 2 Hz、刺激パルス幅 0.1 mS で電気刺激を行い、最大強度 120 V まで設定できる。テフロンコーティングした 23G を刺入し、標的筋の筋活動を確認の後、20 ~ 30 V 程度の刺激強度でも標的筋の筋活動が十分に測定可能な部位に BTXA を手指屈筋群には 1 筋につき 1 か所、肘屈筋群には 1 筋につき 1 ~ 2 か所筋注した。CHB-101®, 23G テフロンコーティング針の使用にあたって、医療認可申請中であったため、当院倫理委員会で使用の承諾を得て、当院倫理規定に沿った informed consent を行った。

3) IVES (Fig. 3)

IVES は、50 × 35 mm の記録兼刺激電極一対 (2 枚)、50 × 80 mm の基準兼刺激電極 1 枚の計 3 枚の電極で、筋電記録及び電気刺激を行う。刺激兼導出電極は、総指伸筋の筋腹上に置いた。持続時間 300 μs の双極性矩形波とし、周波数 20 Hz とした。刺激強度は、安静時には筋促通のため痛みを感じない程度とし、随意収縮時に II ~ IV 指の MP・PIP・DIP 関節の伸展運動が十分に認められる強さを最大とした。総指伸筋の筋収縮を IVES が感知すると、筋電量に比例して電気刺激が開始され、II ~ IV 指の伸展運動が介助する^{2,4,9)}。

III. 入院後経過

肘関節屈筋群の筋緊張亢進による更衣困難、及び歩行時の上肢・肩の疼痛出現の緩和、手指屈筋群の筋緊張亢

Fig. 3 IVES (Integrated Volitional control Electrical Stimulator) A surface electrode picks up the EMG signal and stimulates the target muscle in proportion to integrated signal. The EMG signal sensitivity is obtained and the electrical stimulation range is set. This device induces greater muscle contraction because electrical is proportional to the EMG signal. (文献 9) より抜粋)

進による手指の握りこぶし変形を緩和して手掌の清潔を保ちやすくすることを目的として、手指屈筋群と肘関節屈筋群の筋活動亢進を抑制するために、浅指屈筋 50 単位、深指屈筋 50 単位、上腕二頭筋 50 単位、上腕筋 25 単位、橈側手根屈筋 25 単位の合計 200 単位の BTXA 筋注を CHB-101® を用いて行った。

筋注後、ROM 訓練、筋力増強訓練、ADL 集中訓練を行った。特に有害事象は認めず、約 1 週間で自宅退院された。退院後週 3 日外来通院開始、ROM 訓練、筋力増強訓練、ADL 訓練を継続した。手指の痙縮が軽減後に、機能向上にむけて、IVES を使用した手指屈筋の拮抗筋である総指伸筋の促通療法を週 1～2 回開始した。

BTXA 筋注約 3 カ月後、SIAS 運動項目は上肢近位 2、上肢遠位 1 A、下肢近位 (股関節) 3、下肢近位 (膝関節) 2、下肢遠位 (足関節) 1 と上肢遠位を含めて変化しないものの、MAS は肩関節屈筋群が 1 から 0、肘関節屈筋群が 2 から 1+、手関節屈筋群が 1+ から 1、手指屈筋群 3 から 1+ と著明に軽減し、自動運動可動域は右肩関節伸展が 5° から 15°、肘関節伸展が -15° から -10°、手関節伸展が -10° から 5°、手指は MP 関節伸展が -70° から -65°、PIP 関節伸展が -105° から -95°、DIP 関節伸展が -45° から -20° と改善が認められた (Table 1)。DAS は「手の衛生状態」3 点から 1 点に改善した。他の項目は「疼痛」1 点、「着衣動作」2 点、「上肢の肢位」1 点と変化なかった。脳卒中上肢機能検査 (MFT) は「上肢の前方挙上」2 点、「上肢の側方挙上」1 点、「手掌を後頭部へ」2 点、「手掌を背部へ」2 点で「つかみ」、「つまみ」、「立方体運び」、「ペグボード」は 0 点で合計 7 点と、「手掌を背部へ」の項目で手掌が「少し動く」から「同側殿部に届く」に改善された (Table 2)。「つかみ」などの手指の下位

Fig. 4 Movement training with IVES after three months later of BTXA injection.

項目の改善には至らなかったが、右上肢動作は全体的にスムーズになった。

BTXA 筋注約 3 カ月後で手関節背屈の自動運動の出現が見られ (MMT 1～2)、手関節背屈・手指屈曲の分離運動が可能となった。IVES のアシスト下ではあるが、保持動作の練習が可能となった (Fig. 4)。

IV. 考 察

本症例では、脳卒中発症後 10 年経過の慢性期痙性片麻痺上肢の痙縮軽減と機能改善を目的に IVES にボツリヌス療法を組み合わせた。

笠島ら²⁾、藤原ら³⁾の慢性期痙性片麻痺上肢に対して手関節固定装具と IVES の併用療法の試みでは、手関節固定装具により屈筋群の過剰な筋活動が抑制され、手指伸筋群の筋活動を促通することで手指伸筋群の活動を検出することが容易になったと考察している。原らの慢性期痙性片麻痺上肢に対してフェノールブロック (浅指屈筋・長母指屈筋) と IVES の併用療法の報告⁵⁾でもフェ

ノールブロックで屈筋群の過剰な筋活動を抑制することと, IVES による伸筋群の促進は両者のバランスが重要である, と述べている. 両者とも IVES の使用前に, 屈筋群の過剰な痙性を軽減することで, 相反抑制を軽減し, 伸筋群の筋活動の検出を容易とし, IVES の誤動作を防いでいる.

IVES 使用の前処置の痙縮抑制について, 手関節固定装具は侵襲が少ないものの, 装具の長期装着を拒否する患者もいる. フェノールブロックは安価なものの, いわゆる神経破壊剤であり, 感覚障害・血管損傷等の合併症も見られ, 手技的にも難易度が高い. BTXA は高価なものの, 合併症も少なく, 即効性で手技も容易であり, なによりも日本脳卒中学会の脳卒中治療ガイドライン 2009¹⁰⁾, 欧州における痙縮患者を対象とした BTXA 使用に関するガイドライン¹¹⁾, イギリス内科学会¹²⁾, アメリカ神経学会¹³⁾ でエビデンスレベル A で推奨されている.

本症例では BTXA による上肢屈筋群の痙縮の軽減により手指の清潔は保たれやすくなり, 歩行時の肩甲帯の筋緊張も軽減し, 他動的運動・痙縮については従来の報告同様に著明な改善が認められた¹¹⁻¹³⁾. しかしながら, 自動運動については, MFT の「手掌を背部へ」の項目で改善を認め, 手関節背屈・手指屈曲の分離運動が出現したものの, 手指動作の改善は認められず, IVES サポート下での機能改善に留まった. 痙縮は改善されたものの, 麻痺が重度で機能改善には至らなかったためと思われる.

重度痙性片麻痺患者に IVES を使用するに当たり, BTXA 治療で痙縮を軽減することは侵襲が皆無ではないものの, 簡便で有効な治療法である. 今後の経過を追い, 症例数を増やしたい.

文 献

- 1) 木村彰男, 安保雅博, 川手信行. A 型ボツリヌス毒素製剤 (Botulinum Toxin type A) の脳卒中上肢痙縮に対する臨床評価 プラセボ対照二重盲検群比較試験ならびにオープンラベル反復投与試験. *Jpn J Rehabil Med* 2010; **47**: 714-727.
- 2) 笠島悠子, 藤原俊之, 村岡慶裕, 他. 慢性期片麻痺患者の上肢機能に対する随意運動助型電気刺激 (Integrated Volitional control Electrical Stimulator: IVES) と手関節固定装具併用療法の試み. *Jpn J Rehabil Med* 2006; **43**: 353-357.
- 3) Toshiyuki Fujiwara, Yuko Kasashima, Kaoru Honaga, et al. Motor Improvement and Corticospinal Modulation Induced by Hybrid Assistive Neuromuscular Dynamic Stimulation (HANDS) Therapy in Patients With Chronic Stroke. *Neurorehabilitation Neural Repair* 2009; **23** (2): 125-132.
- 4) 村岡慶裕, 鈴木里砂, 島岡秀奉, 他. 運動助型電気刺激装置の開発と脳卒中片麻痺患者への使用経験. 理学療法, 2004; **31**: 29-35.
- 5) Hara Y, Shinji O, Yoshihiro Muraoka. Hybrid power-assisted functional electrical stimulation to improve hemiparetic upper extremity function. *Am J Phys Med Rehabil* 2006; **85**: 977-985.
- 6) 千野直一 (編), 里宇明元, 園田 茂, 他. 脳卒中患者の機能評価 SIAS と FIM の実際. シュプリングー・フェアラーク東京, 1997.
- 7) Bohannou RW, Smith MB. Interrater reliability of a modified Ashworth Scale of Muscle spasticity. *Phys Ther* 1987; **67**: 206-207.
- 8) Brasher A, Zafonte R, Corcoran M, et al. Inter-and intrarater reliability of the Ashworth Scale and the Disability Assessment Scale in patients with upper-limb poststroke spasticity. *Arch Phys Med Rehabil* 2002; **83**: 1349-1354.
- 9) 原 行弘. 新しい機能的電気刺激を用いたニューロ・リハビリテーション. *Jpn J Rehabil Med* 2011; **48**: 196-202.
- 10) 篠原幸人, 小川 彰, 鈴木則宏, 他. 脳卒中治療ガイドライン 2009. 協和企画, 東京, 2009.
- 11) Wissel J, Ward AB, Erztgaard P, et al. European consensus table on the use of botulinum toxin type A in adult spasticity. *J Rehabil Med* 2009; **41**: 13-25.
- 12) Turner-Stokes L, Ward A Guidelines for the use of botulinum toxin (BTX) in the management of spasticity in adults. Royal College of Physicians, London, 2002.
- 13) Simpson DM, Gracies JM, Graham HK, et al. Assessment: Botulinum neurotoxin for the treatment of spasticity (an evidence-based review). *Neurology* 2008; **70**: 1691-1698.