

<原 著>

脳卒中麻痺側手関節背屈筋への随意運動介助型電気刺激

—保持効果の経時変化—

宇佐見千恵子^{1,2)} 宮坂 裕之^{1,3)} 植松 瞳¹⁾ 近藤 和泉⁴⁾
 富田 豊³⁾ 園田 茂^{1,3)}

要旨：脳卒中患者の麻痺側上肢訓練の一つとして電気刺激療法があり，運動麻痺改善や痙縮抑制効果などが報告されている．われわれは電気刺激療法の一つである随意運動介助型電気刺激(IVES)を回復期脳卒中患者の麻痺側上肢に行い，治療同日の持続効果について検討した．IVESによる訓練は1週間継続し，開始時と1週間後の治療前，治療直後，治療後から30分毎に120分後までの手関節背屈自動運動角度の経時変化を評価した．手関節背屈自動運動角度は，開始時に比べ，有意な改善がみられた．SIAS，MASは開始時と比べ，改善を認めたが有意差はみられなかった．また，治療直後の角度が有意に低下するのが開始時は治療後60分，1週間後は治療後90分であり，継続した使用により効果が持続されやすいと考えられた．

Key words: cerebrovascular disorders, electrical stimulation, upper limb functional training, carry-over effect

(脳卒中 35: 174-180, 2013)

はじめに

脳卒中患者の麻痺側上肢訓練の一つとして，治療的電気刺激(therapeutic electrical stimulation; TES)が行われ，痙縮抑制や筋萎縮予防，関節可動域拡大，随意運動の改善があると報告されている¹⁻³⁾．治療的電気刺激の一種である随意運動介助型電気刺激(integrated volitional control electrical stimulation; IVES)は，麻痺筋から微弱な筋電位を検出し，それに比例した電気刺激を与え，随意運動の介助ができるものとして注目されている．

脳卒中患者にIVESを用いた報告として，Haraら⁴⁾は，慢性期片麻痺患者の手指屈筋群にブロック注射後，手関節伸展筋群に週1~2回のIVESを4カ月間

行い，手関節伸展可動域の改善，巧緻動作能力の改善があったことを報告している．また，Fujiwaraら⁵⁾や笠島ら⁶⁾は，IVESと手関節固定装具を併用したHANDS(hybrid assistive neuromuscular dynamic stimulation therapy)療法を考案し，慢性期片麻痺患者の痙縮抑制，麻痺側手指機能改善，上肢実用性が有意に改善したと報告している．また，回復期片麻痺患者へのIVES効果として，宮坂ら⁷⁾は，対象者の運動機能や筋緊張の状態によって効果の持続に違いがあると報告している．

一方，IVESを用いた効果の持続については，対象者の運動機能や筋緊張の状態によって違いがみられるが，治療後1週間~3カ月間の効果が持続されたことを報告している^{5,7)}．持続効果には，短期の持続効果と長期の持続効果が考えられるが，今回は治療直後の効果の持続を直後持続効果とし，治療後数週間~数カ月後の効果の持続を長期持続効果とよぶことにする．

われわれのIVESを用いた臨床においては，治療直後に機能改善してその日のうちはその効果が保たれている印象を持っている．そこで今回，IVESを回復期

¹⁾ 藤田保健衛生大学七栗サナトリウム

²⁾ 現 医療法人明和会辻村外科病院

³⁾ 藤田保健衛生大学藤田記念七栗研究所

⁴⁾ 国立長寿医療研究センター病院機能回復診療部

(2012年10月1日受付，2012年11月19日受理)

Table 1 開始時と1週間後の評価結果

		開始	1週間後	p値
SIAS(点)	F/F(中央値)	2.8±1.2(1C)	3.2±1.3(1C)	ns
	K/M(中央値)	2.7±0.9(3)	2.8±1.3(3)	ns
手関節屈筋群 MAS(名) (0/1/1+/2)		1/7/5/3	2/7/5/2	ns
手関節背屈 a-ROM(度)		19.4±16.1	26.9±16.7	**

** p<0.01

SIAS F/Fについては、1A : 1, 1B : 2, 1C : 3, 2 : 4, 3 : 5, 4 : 6, 5 : 7として平均値と中央値を算出した。手関節屈筋群 MAS は、0, 1, 1+, 2の人数を示す。

開始時と1週間後の運動機能の結果を示す。手関節背屈 a-ROM において有意差を示した(p<0.01)。

脳卒中片麻痺患者の麻痺側上肢機能訓練に用い、治療後30分毎に120分後までの経時変化を評価し、治療日および1週間の継続使用における直後持続効果を検討したので報告する。

対 象

当院の回復期リハビリテーション病棟へ入院した初発脳卒中患者で、手関節背屈運動時の筋電位検出がIVES使用機器で可能であった16名を対象とした。対象者の内訳は、男性11名、女性5名で、平均年齢は61.3±15.2歳(33~83歳)、右片麻痺12名、左片麻痺4名、発症からIVES開始までの平均期間は55.0±20.0日(18~93日)であった。IVES実施において支障となる失語症や重度高次脳機能障害を認める患者は、あらかじめ除外した。また、対象者には、調査の趣旨、訓練方法について十分な説明を行い、同意を得た上で実施した。

方 法

1. 使用機器

IVESには、Power Assist Stimulator system(PAS)(OG技研株式会社製、GD-601, 602)を使用した。刺激強度は弛緩時に収縮閾値以下、最大収縮時に痛みがない範囲の強収縮が得られる程度とした。

2. 訓練課題と実施期間

電極は、手関節伸筋群(長短橈側手根伸筋、総指伸筋)に装着し、手関節背屈運動5秒、休止5秒の反復運動と、40cm台の上に設置したボール(直径7cm)へのリーチ動作を各10分ずつ、計20分を7日間実施した。対象者の1日の作業療法訓練時間は120分であり、IVESを用いた上肢機能訓練は、訓練終了前の20

分間に実施した。

3. 評価方法

評価項目は、Stroke Impairment Assessment Set(SIAS)の上肢運動項目(Knee-Mouth Test: K/M, Finger-Function Test: F/F)、手関節屈筋群のModified Ashworth scale(MAS)、手関節背屈自動運動角度(手関節背屈 active-ROM : 以下手関節背屈 a-ROM)とし、手関節背屈 a-ROM は、前腕中間位にてゴニオメーターを用いて測定した。SIAS 上肢運動項目、MAS は、開始時と1週間後の計2回、手関節背屈 a-ROM の経時変化は、治療前、治療直後、治療後30分毎に120分後までの計6回を開始時と1週間後に実施した。なお、経時変化の評価は、病棟生活中に実施した。

統計学的処理はSPSS 17.0を用い、開始時と1週間後のSIAS上肢運動項目と手関節背屈 a-ROM にはWilcoxon検定を、手関節屈筋群MASの比較には χ^2 検定を用いて検討した。効果の持続の検討として、開始時と1週間後の手関節背屈 a-ROM の各測定時の値を分散分析後にBonferroni法による多重比較を行い、治療直後からの各測定時の平均値に差があるかどうかを検討した。なお、有意水準は5%未満とした。

また、機能レベル別の検討として、開始時のSIAS F/Fを「1A, 1B」, 「1C」, 「2, 3」, 手関節屈筋群MASを「0, 1」, 「1+」, 「2」, 手関節背屈 a-ROM を「0度」, 「20度以内」, 「21度以上」に分け、開始時と1週間後の機能レベルによる効果の持続について検討した。

結 果

1. 評価項目全体の結果

評価項目全体の結果をTable 1に示す。

SIAS K/M, F/F では、開始時に比べ、1週間後で改

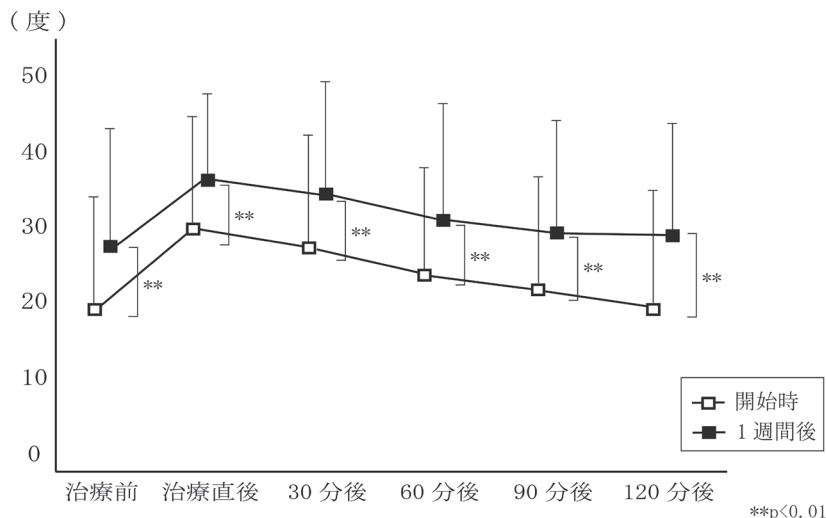


Fig. 1 開始時と1週間後の手関節背屈 a-ROM の経時変化
開始時と1週間後の各測定時において有意な改善を認めた(p<0.01).

Table 2 開始時と1週間後の手関節背屈 a-ROM の治療直後からの保持効果

	開始時		1週間後	
	手関節背屈 a-ROM の 平均値の差(度)	p 値	手関節背屈 a-ROM の 平均値の差(度)	p 値
治療直後 - 30 分後	1.9	ns	2.2	ns
治療直後 - 60 分後	4.7	*	5.0	ns
治療直後 - 90 分後	7.5	**	6.6	**
治療直後 - 120 分後	9.1	**	7.2	**

** p<0.01 * p<0.05
治療直後との比較では、1週間後に治療後90分まで効果が保持された(p<0.01).

善傾向を認めるが有意差はみられなかった。手関節屈筋群のMASについても、有意な変化はみられなかった。手関節背屈 a-ROM の変化は、開始時と1週間後で有意な変化がみられた(p<0.01)。

2. 手関節背屈 a-ROM の経時変化

開始時と1週間後の手関節背屈 a-ROM の経時変化を Fig. 1 に示す。

開始時の治療前と治療直後では、平均 10.6 度の改善を認めたが、30 分後には平均 1.9 度減少し、その後も緩やかな減少を認め、120 分後には治療直後から 9.1 度減少した。1 週間後の治療前と治療直後では、平均 10.6 度の改善を認めたが、30 分後には平均 2.2

度減少し、その後も緩やかな減少を認め、120 分後には治療直後から 7.2 度減少した。統計学的検討において、各測定時においても1週間後で改善を認めた(p<0.01)。

また、効果の消失程度を比較するために、治療直後の値と以後の値を比較していくと、開始時は治療後60分から有意差が出始めるのに対して1週間後は治療後90分からであるので、1週間後の方が効果が持続されやすい傾向があると考えられた(Table 2)。

3. 機能レベル別の検討

開始時のSIAS F/F、手関節屈筋群MAS、手関節背屈 a-ROM の機能レベル別における手関節背屈 a-ROM

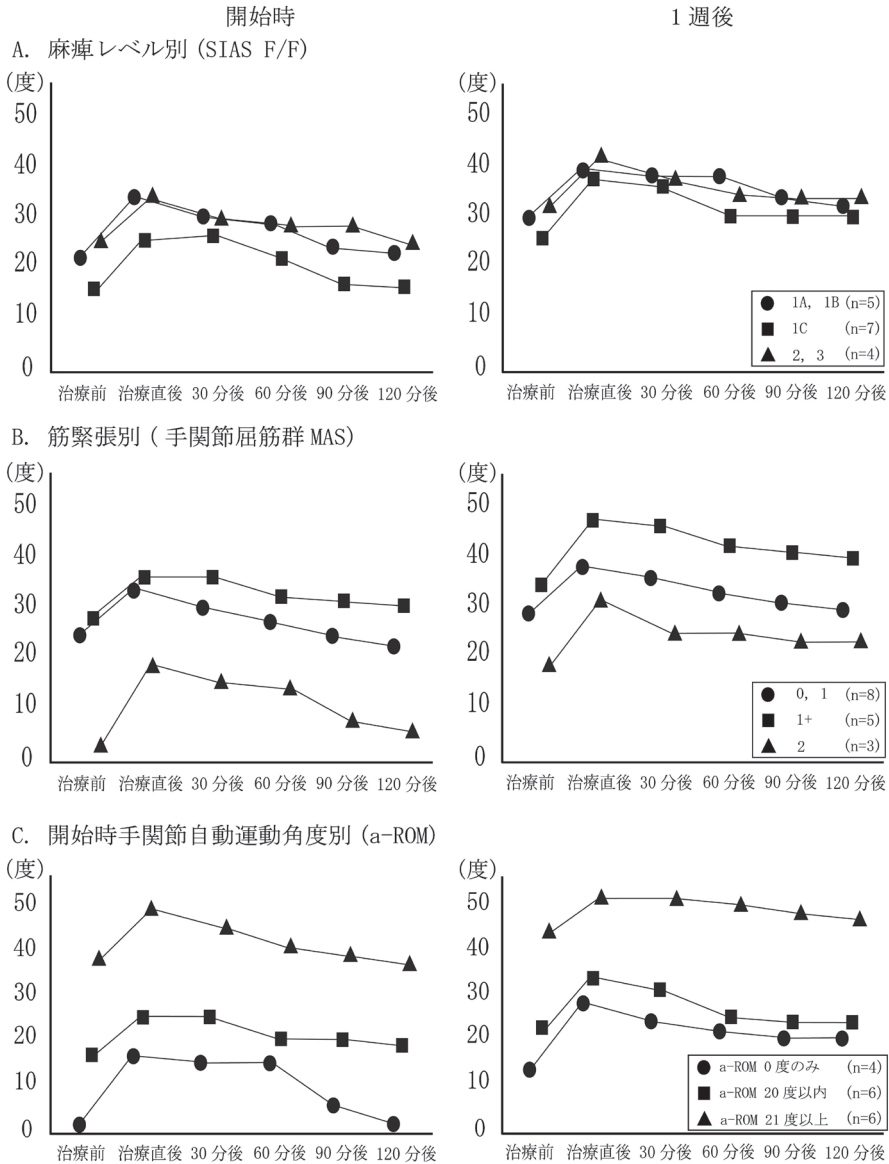


Fig. 2 機能レベル別の経時変化

麻痺レベル(A), 筋緊張(B), 開始時手関節背屈 a-ROM(C)をそれぞれ層別化したときの経時変化を示す。

の開始時と1週間後の経時変化を Fig. 2 に示す。

麻痺レベル別の検討では、開始時に比べ1週間後はすべての麻痺レベルで改善を認めた。また、効果の持続については麻痺レベルによる違いはみられず、1週間後は各麻痺レベルの効果の持続は近似していた。

手関節屈筋群 MAS 別による検討では、開始時の

MAS が 0, 1, 1+ のものは開始時の治療直後、平均 9 度の改善を認めたのに対し、MAS が 2 のものは平均 17 度の改善がみられた。しかし、効果の持続に関しては、MAS が 0, 1, 1+ のものは開始時、1週間後とも、治療直後に平均 2~3 度の緩やかな角度の低下を認めたのに対し、MAS が 2 のものは、開始時、1週

間後とも、30分または60分後に平均7度の低下を示していた。

手関節背屈 a-ROM 別の検討では、手関節屈筋群 MAS 別の検討と同様の傾向がみられ、開始時の手関節背屈 a-ROM が0度のものは、開始時、1週間後とも、治療直後に平均15度の改善を認めた。しかし、開始時においては90分後に平均9度の低下がみられ、1週間後は30分後に平均5度の低下を認めるものの、その後は緩やかな減少であった。

考 察

脳卒中片麻痺患者の麻痺側手関節、手指伸筋群に IVES を1週間実施し、30分毎の手関節背屈 a-ROM の変化を測定し、効果の消失程度を検討した。開始時と1週間後の手関節背屈 a-ROM の経時変化は、時間経過に伴う角度減少幅に大きな違いはみられず、治療前から治療後90分までは IVES による効果が持続されていた。また、治療直後の値と以後の値を比較していくと、開始時に比べ1週間後の方が効果が持続されていた。

de Kroon ら⁸⁾は、脳卒中患者の麻痺側上肢に電気刺激を用いた研究をレビューし、電気刺激のなかでも、通常の電気刺激よりも随意運動をトリガーとする電気刺激の方が運動機能改善のあることを報告している。今回使用した IVES は、随意筋電量に比例した刺激を与え、随意運動の介助が行える電気刺激装置である。そのため、IVES 装着下にて運動を繰り返すことで体性感覚フィードバックが行われ、運動の学習において有効であると考えられている。また、近年の研究により、随意運動や TES に比べ、IVES を用いた場合、障害側感覚運動野の血流量増加が報告されており⁹⁾、IVES を麻痺側上肢機能訓練に導入することは、末梢からの運動機能改善効果のみではなく、脳の可塑性にも影響を及ぼしている可能性があり、麻痺改善に対し有用なものであると考えられる。

電気刺激を用いた効果の持続について、半田¹⁰⁾は、脊髄損傷不全四肢麻痺患者の長・短橈側手根伸筋と総指伸筋を支配する橈骨神経に TES を行い、TES 後30分後まで改善を認め、その後は緩やかな減少を示し、120分後は TES 前の値に減少すると報告している。本研究では、治療開始時と1週間後の経時変化を検討したが、両期間とも治療後90分までは効果が持続されていた。しかし、半田の報告と同様に120分後は電気刺激前の値に減少しやすい傾向がみられた。今

回の短時間における効果の持続が過去の報告と比べ、より長く持続した理由として、電気刺激のみの訓練に比べ、IVES を用いた訓練では、随意収縮と電気刺激を同期させることができるため、運動課題に即した動作を効果的に学習できた可能性が考えられる。小池ら¹¹⁾、Sonde ら¹²⁾は電気刺激後の効果を持続させる要因として、麻痺の程度や痙縮によって効果の持続時間は異なると報告しており、本研究においても同様のことが示唆された。一方、川村¹³⁾、Potisk ら¹⁴⁾は、電気治療直後にみられる機能改善は、筋緊張緩和などが主効果であると報告している。今回の対象者の中で手関節屈筋群の筋緊張が亢進している患者(MAS 2 レベル)は少数例ではあるものの、筋緊張が MAS 0, 1, 1+ の患者に比べ、治療直後の手関節背屈 a-ROM が改善しやすい傾向があり、IVES 治療直後の改善には、筋緊張緩和が関与している可能性が示唆された。しかし、効果の持続については、MAS の低い患者の方が良好であり、筋緊張を減弱させた状態で IVES を行うことが、より効果的であると考えられた。

小池ら¹¹⁾は、脳卒中片麻痺患者の前脛骨筋に TES を行い、30分毎に歩行時の遊脚相の膝関節角度の変化を報告しており、TES 直後は急激な角度増加がみられ、時間とともに徐々に角度減少するものの、120分後も治療前より有意に改善を示したと報告している。上肢と下肢で効果の持続時間が異なる理由として、一つ目に麻痺側上肢訓練の訓練量(時間)が影響していると考えられる。今回の対象は回復期段階の脳卒中患者であるため、ADL 訓練やバランス訓練などの通常訓練時間が多かった可能性があり、作業療法訓練時間内での上肢機能訓練が少なかったことが考えられる。二つ目に、今回の関節角度測定は病棟生活中に実施しているため、IVES 以外の要素が関係している可能性が考えられる。日常生活における麻痺側上肢使用には、ある程度の麻痺レベルと日常生活上での麻痺側使用を取り入れた訓練を繰り返し行う必要がある。一時的な機能改善では、使用されない可能性がある。しかし、下肢においては、歩行や移乗動作時に使用することが多く、頻度依存性による訓練時間の違いが、効果の持続時間に影響を及ぼした可能性が考えられる。

今回、治療1週間後の経時変化において、治療直後の効果が持続されていたこと、機能レベル別の検討においても、開始時に比べ、1週間後の経時変化で効果が持続されやすいことから、継続的な IVES 使用が、効果を持続させる可能性が示唆された。亀山¹⁵⁾は、1

日における使用時間の延長が効果の持続に有効であったと報告しており、1日における IVES 使用頻度や時間延長により、さらなる改善が得られると考えられる。今後、麻痺レベルに合った運動課題、難易度設定を行い、適応基準を明確にしていきたい。

参考文献

- 1) Powell J, Pandyan AD, Granat M, et al: Electrical stimulation of wrist extensors in poststroke hemiplegia. *Stroke* 30: 1384–1389, 1999
- 2) Hsu SS, Hu MH, Wang YH, et al: Dose-response relation between neuromuscular electrical stimulation and upper-extremity function in patients with stroke. *Stroke* 41: 821–824, 2010
- 3) Lin Z, Yan T: Long-term effectiveness of neuromuscular electrical stimulation for promoting motor recovery of the upper extremity after stroke. *J Rehabil Med* 43: 506–510, 2011
- 4) Hara Y, Ogawa S, Muraoka Y: Hybrid power-assisted functional electrical stimulation to improve hemiparetic upper-extremity function. *Am J Phys Med Rehabil* 85: 977–985, 2006
- 5) Fujiwara T, Kasashima Y, Honaga K, et al: Motor improvement and corticospinal modulation induced by hybrid assistive neuromuscular dynamic stimulation (HANDS) therapy in patients with chronic stroke. *Neurorehabil Neural Repair* 23: 125–132, 2009
- 6) 笠島悠子, 藤原俊之, 村岡慶裕ら: 慢性期片麻痺患者の上肢機能に対する随意運動介助型電気刺激 (Integrated Volitional control Electrical Stimulator: IVES) と手関節固定装具併用療法の試み. *リハ医学* 43: 353–357, 2006
- 7) 宮坂裕之, 近藤和泉, 安井千恵子ら: 随意運動介助型電気刺激を用いた脳卒中麻痺側手関節背屈運動の保持—治療開始時期の筋緊張による影響—. *総合リハ* 38: 65–70, 2010
- 8) de Kroon JR, Ijzerman MJ, Chae J, et al: Relation between stimulation characteristics and clinical outcome in studies using electrical stimulation to improve motor control of the upper extremity in stroke. *J Rehabil Med* 37: 65–74, 2005
- 9) Hara Y: Neurorehabilitation with new functional electrical stimulation for hemiparetic upper extremity in stroke patients. *J Nippon Med Sch* 75: 4–14, 2008
- 10) 半田康延: 末梢神経電気刺激の臨床効果—治療と制御—. *Facial N Res Jpn* 21: 1–7, 2001
- 11) 小池和幸, 佐藤隆一, 木村美枝ら: 脳卒中片麻痺患者に対する治療的電気刺激後の遊脚相膝関節角度の経時的変化. *理学療法学* 27: 162–166, 2000
- 12) Sonde L, Gip C, Fernaeus SE, et al: Stimulation with low frequency (1.7 Hz) transcutaneous electric nerve stimulation (low-tens) increases motor function of the post-stroke paretic arm. *Scand J Rehabil Med* 30: 95–99, 1998
- 13) 川村次郎: 治療的電気刺激(TES) —その問題点と未来—. *バイオメカニズム学会誌* 17: 23–31, 1993
- 14) Potisk KP, Gregoric M, Vodovnik L: Effects of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) on spasticity in patients with hemiplegia. *Scand J Rehabil Med* 27: 169–174, 1995
- 15) 亀山順一: 上下肢に対する TES. *日本災害医学会誌* 46: 243–249, 1998

Abstract**Carry-over effect in integrated volitional control electrical stimulation of wrist extensor muscles for stroke patients**

Chieko Usami, OTR,^{1,2)} Hiroyuki Miyasaka, OTR,^{1,3)} Hitomi Uematsu, OTR,¹⁾ Izumi Kondo, M.D., Ph.D.,⁴⁾
Yutaka Tomita, R.E., Ph.D.,³⁾ and Shigeru Sonoda, M.D., Ph.D.^{1,3)}

¹⁾Fujita Health University Nanakurisanatorium

²⁾Current address: Medical Corporation Meiwa Society Tsujimura Surgery Hospital

³⁾Fujita Memorial Nanakuri Institute, Fujita Health University

⁴⁾Hospital, National Center for Geriatrics and Gerontology

Purpose: Electrical stimulation therapy is used for training of the upper limbs in hemiplegic patients. It has been reported that this therapy can improve the functions of the paralyzed upper limb while suppressing spasticity. In this study, we applied integrated volitional control electrical stimulation (IVES) therapy for rehabilitation of the paralyzed upper limbs of sub-acute hemiplegic patients.

Methods: Our objective was to investigate the carry-over effect of this method during stroke rehabilitation in patients. IVES therapy was conducted for 20 minutes per day for one week. To investigate the carry-over effect, we measured the active wrist dorsiflexion angles at 0, 30, 60, 90, and 120 minutes after daily rehabilitation sessions. Compared to the result obtained before the start of rehabilitation, the active wrist dorsiflexion angles had improved.

Results: The SIAS and MAS also showed improvement. However, the differences were not significant. While active wrist dorsiflexion angles at 30, 60, 90, and 120 minutes after the daily sessions were decreased compared to those before rehabilitation, the active dorsiflexion angles were only significantly different for 60, 90, and 120 minutes. The dorsiflexion angle at one week after the start of rehabilitation was significantly improved at 90 and 120 minutes after daily sessions, compared with the angle at the start of rehabilitation.

Conclusions: Our findings revealed the long-term therapeutic effects of IVES.

Key words: cerebrovascular disorders, electrical stimulation, upper limb functional training, carry-over effect

(Jpn J Stroke 35: 174–180, 2013)