

脳卒中後の屈筋群優位な上肢緊張肢位を改善させる新たな電気刺激方法の提案

The novel electrical stimulation approach for hypertonia with flexor pattern of the arm after stroke

○ 生野 公貴（西大和リハビリテーション病院）河島 則天（国立障害者リハビリテーション研究所）

Koki IKUNO, Nishiyamato Rehabilitation Hospital

Noritaka KAWASHIMA, Research Institute National Rehabilitation Center for Persons with Disabilities

Abstract: The purpose of the study was to investigate whether a novel electrical stimulation approach can improve hypertonia of the arm in chronic stroke patients. Five chronic stroke patients who had severe arm spasticity were enrolled in this study. The participants were performed electrical stimulation combined with eccentric stretching to wrist extensor muscles in affected side for 5 minutes. Outcome measures included modified ashworth scale (MAS), active range of motion, electromyographic activity of wrist flexor and extensors during maximum voluntary contraction (MVC) and H-reflex / M-response ratio of flexor carpi radialis. MAS score decreased significantly after the intervention. Four of 5 cases improved active range of motion, and 2 cases showed reduction of EMG activity of FCR during dorsiflexion MVC and H/M ratio. These results suggest that the electrical stimulation combined with eccentric stretching may improved increased muscle tone, hyperexcitability of spinal motoneurons, abnormal EMG pattern during wrist dorsiflexion movement.

Key Words: Stroke, Electrical stimulation, Muscle tone, Stretching, Reciprocal inhibition

1. 背景

脳卒中後生じる上肢の屈筋群優位の筋緊張亢進肢位、いわゆるウェルニックマン肢位は臨床上よく見られる症状の一つである (Fig 1)。この筋緊張亢進状態（固定肢位）が長期・慢性的に続くと、筋腱組織の弾性低下、手指関節の滑動性減少などによって拘縮を引き起こし、日常生活やQOLに大きく影響を及ぼすことになる。

これらの症状に対して、リハビリテーションにおいては伝統的に電気刺激療法¹やストレッチング²が実施される。麻痺した筋であっても末梢神経に電気刺激を与えることによって筋収縮を誘発することが可能であり、例えば手関節の屈曲肢位の改善を目的として、伸筋群に電気刺激を与え、随意運動では困難な、手関節背屈動作を発現させることが可能となる。また、この時、伸筋群への電気刺激に伴って生じる求心性感覚入力が脊髄へ上行し、屈筋群への相反抑制を生じさせることで、屈筋群の筋緊張を低下させる作用を持つものと考えられる。一方、ストレッチングは過緊張（短縮）状態にある筋に対して徐々に伸長刺激を加えることで、筋・腱の機械的特性（粘弾性）の改善と、腱の伸張の結果生じる抑制作用（Ib抑制）を期待して実施するものである。しかしながら臨床場面では、例えば屈曲拘縮が顕著な脳卒中患者の場合、屈筋群への伸長刺激が同筋群の反射興奮性を高めるように作用するなどの問題・制約が生じることをよく経験する。

本研究では、屈筋群の過緊張を改善させるための一方策として、拮抗筋である伸筋群への電気刺激と同筋への遠心性収縮を利用した、新たな方法を提案する。具体的には、伸筋群に電気刺激を与えて筋収縮を誘発し、加えて収縮している伸筋群を受動的に掌屈方向へストレッチングを行う。伸筋群の遠心性収縮時には、筋紡錘からの感覚入力が著明に増加することが知られており³、この感覚入力が屈筋群への相反抑制をもたらす結果、屈筋群の緊張亢進状態が軽減されるのではないかと、という仮説を立てた。本研究の目的は、慢性期脳卒中患者を対象として電気刺激とストレッチングの併用介入の即時的効果を検討することであった。

2. 方法

2.1 対象者

対象者は慢性期脳卒中患者（年齢 62±8.0 歳，発症後経過 9.5±5.8 年）5名である。本研究の参加基準は麻痺側手関節に強い痙縮（Modified Ashworth scale>2）を有し、安静および運動時に手関節掌屈位、手指屈曲位を呈するもの、麻痺側上肢に重度の運動麻痺（Fugl-Meyer Assessment<40）を呈するもの、麻痺側著明な認知症や高次脳機能障害がなく、指示理解が良好なものとした。尚、ペースメーカー埋込み術の既往があるもの、コントロール不良なけいれん発作を有するもの、麻痺側上肢機能に影響する運動器疾患、脳卒中以外の中枢神経疾患等を有するものは除外した。対象者の属性を Table 1 に示す。本研究における対象者は全症例で発症後 6 か月以上経過した慢性期患者であった、運動麻痺は FMA スコアで低値を示しており、手指の分離運動は困難で、日常生活では手指手関節が屈曲したままのいわゆるウェルニックマン肢位を呈しており、麻痺側上肢を使用できない状況であった。すべての対象者はインフォームドコンセントを受け、手記にて同意の得られたのちに、評価および介入を実施した。

2.2 介入方法

電気刺激には低周波治療器（IVES+，オージー技研社製，岡山）を用いた。刺激波形は対称性二相性パルスでパルス時間 50 μs の 6 トレイン（計 300 μs）である。刺激周波数

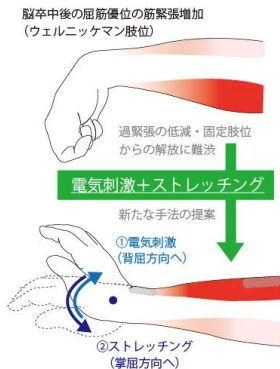


Figure 1. Wernicke-mann posture in post stroke patient (left). Schematic explanation of our proposed intervention method.

は 30Hz とし，麻痺側の総指伸筋および橈側手根伸筋と前腕背側遠位に電極を貼付した。刺激強度は運動閾値上で痛みのない最大強度とした。オンオフ時間は 10sec/10sec とし，オン時に徒手にて手関節掌屈方向に遠心性収縮を伴うストレッチング（遠心性ストレッチング）を実施した。オフ時は他動関節可動域範囲で背屈させ，再度オン時に掌屈方向へストレッチングする運動を 5 分間繰り返した。遠心性ストレッチングは痛みのない範囲で実施した。尚，対象者には一切随意努力をさせず，弛緩，リラックスを促し続けた。

Table 1 Characteristics of participants

Number	Age	Onset (y)	Stroke type, side	Grip (kgf)	FMA U/E
Case 1	64	8.5	CH, L	0	18
Case 2	67	9.7	CI, R	6.5	20
Case 3	64	12.8	CH, L	9.2	38
Case 4	67	16.2	CI, R	0	15
Case 5	48	0.6	CH, R	0	21

CH: cerebral hemorrhage, CI: cerebral infarction, Grip: Grip strength of affected side, FMA U/E: Fugl-Meyer Assessment of Upper extremity(0-66, the higher score is good.)

2.3 計測とデータ分析

5 分間の電気刺激とストレッチングの併用介入の実施前後で麻痺側手関節の筋緊張，手関節背屈他動および自動関節可動域を測定した。神経生理学的評価として他動運動時および最大手関節背屈時の筋電図と脊髄反射計測を評価した。筋緊張の評価には Modified Ashworth scale を用いた。自動および他動関節可動域は矢状面上から動画撮影を行い，画像解析ソフトにて手関節背屈角度を求めた。筋電図には Neuropack (MEB-2200, 日本光電社製，東京) を用い，麻痺側の橈骨手根屈筋 (FCR) と橈骨手根伸筋 (ECR) の表面筋電図を採取した。サンプリング周波数は 1000Hz とし，20Hz のローパスフィルタで処理した。MVC と他動背屈運動時の筋電図は各々 3 回測定し，絶対値で整流化した後に積分値を求めて前後で比較した。脊髄反射計測は麻痺側正中神経を刺激し，橈骨手根屈筋の H 反射および最大 M 波を測定し，最大 H 反射/最大 M 波 (H_{max}/M_{max}) を算出した。

Modified Ashworth scale, 他動および自動関節可動域， H_{max}/M_{max} の介入前後の比較には Wilcoxon matched-pairs signed rank test を用いた。介入後に筋緊張に関連する指標が改善するという仮説のもと片側検定を実施し，有意水準は 5% とした。

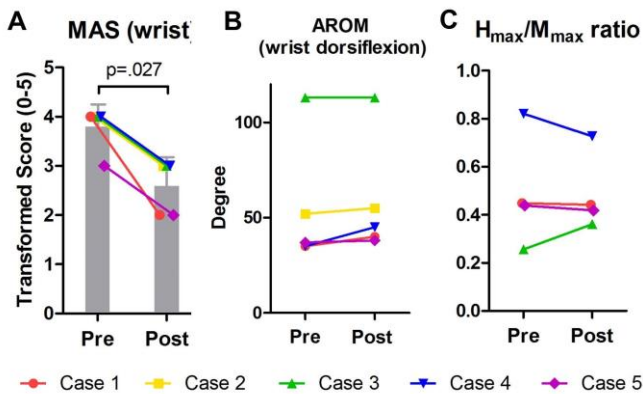


Figure 2. Comparison of the MAS (A), active range of motion (B) and H_{max}/M_{max} ratio between pre- and post-intervention

3. 結果

介入前後における MAS の変化を Fig 2 に示す。すべての対象者で介入による改善を認め，平均値で示すと 3.8 ± 0.5 から 2.6 ± 0.6 に統計的有意性をもって減少した ($p < 0.05$)。他動可動域は平均 73.6° から 73.6° と変化を認めなかったが ($p = 0.303$)，自動関節可動域は $54.4 \pm 33.5^\circ$ から $58.2 \pm 31.3^\circ$ と改善傾向を認めたが，有意差を認めなかった ($p = 0.062$)。

脊髄運動ニューロンの興奮性を示す H_{max}/M_{max} は 5 例中 4 例で測定可能であった (Table 2)。介入前後で Case 1, 4, 5 で改善を認め，Case 3 では増大する結果となった。介入前後の 4 症例の平均差はごくわずかであり，症例により異なる結果を示した。

4. 考察

本研究は，電気刺激を用いて筋収縮を生じさせながら遠心性にストレッチングを実施することで相反抑制をもたらす，亢進した上肢屈筋群の筋緊張を軽減できるかどうかを慢性期脳卒中患者で検証した。その結果，介入前後で即時的に筋緊張の程度を示す Modified Ashworth scale にて平均 1 ポイントの改善が得られ，かつ全症例が改善を示した。本介入方法は，掌屈方向にストレッチングを実施していることから手関節屈筋群に対して物理的な伸長刺激はほぼ行っていない。したがって，屈筋群の伸張による構造的な短縮の改善ではなく，伸長反射の感受性低下，あるいは屈筋群の脊髄運動ニューロンの興奮性の低下によるもの考えられる。さらに，自動手関節背屈関節可動域の改善傾向からも随意運動における伸筋群と屈筋群の共収縮が分離したことが伺える。

介入前後の効果はどのような機序で発現するののかを知る手がかりとして，脊髄運動ニューロンの興奮性を反映する H_{max}/M_{max} ratio は重要である。Case 1, 4 は H_{max}/M_{max} ratio に改善を認めていたことから，本介入方法が，相反抑制によって脊髄運動ニューロン興奮性を低下させた可能性が考えられた。特に Case 4 では介入前の H 反射のサイズが 0.82 と大きく著明な反射亢進状態と相反抑制の破綻を反映していたと考えられる。この症例において，5 分間の介入により運動機能や反射活動が変化したことは意義深い。しかしながら，個々の症例によって変化度が大きく異なっていたことから，屈曲肢位を呈する症例の病態によって本介入効果が異なることが予想される。今後さらに症例数を蓄積し，詳細な神経生理学評価によって作用メカニズムを明らかにすることで適応を明確にし，長期的な介入によってさらなる改善効果や持続し効果が得られるかどうか等を検証していく必要がある。

参考文献

- (1) Stein C, Fritsch CG, et al. Effects of Electrical Stimulation in Spastic Muscles After Stroke: Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. Vol. 46, No. 8, pp. 2197-2205, 2015.
- (2) Katalinic OM, Harvey LA, Herbert RD. Effectiveness of stretch for the treatment and prevention of contractures in people with neurological conditions: a systematic review. Phys Ther, Vol. 91, No. 1, pp. 11-24, 2011.
- (3) Knikou M. The H-reflex as a probe: pathways and pitfalls, J Neurosci Methods, Vol. 171, No. 1, pp. 1-12, 2008.