症例報告

A型ボツリヌス治療後の斜面板を使用した立位訓練と機能的電気刺激が歩行能力に与える影響＊

生田旭洋[1)]・石黒正樹[1)]・岡元信弥[1)]・伊藤寛之[1)]・若泉賢也[1)]
辻　朋浩[1)]・石田和人[2)]・佐藤千香子[3)]

【要　旨】

【背景】下肢痙縮筋に対する治療法として，A型ボツリヌス治療（以下，BoNT-A）が推奨されている．しかし，BoNT-A後の効果は治療成績が散見しており，効果的な理学療法内容を検討する必要がある．我々は脳卒中片麻痺患者に対し，斜面板を使用した立位訓練と機能的電気刺激をすることで，前方への重心移動がスムースになり，歩行能力が向上すると考えその効果を検討した．【症例紹介】脳梗塞を発症した左片麻痺の70代男性である．上肢領域に対する反復経頭蓋磁気刺激とBoNT-Aを施行した．理学療法はストレッチ中心に行った期間と，斜面板を使用した立位訓練と機能的電気刺激を併用した期間に分けて比較検討を行った．【結果】斜面板を使用した立位訓練と機能的電気刺激を併用することで，歩行能力やバランス能力が大きく向上した．【結語】BoNT-A後の理学療法は臥位でのストレッチに加え，斜面板と機能的電気刺激を併用した動作訓練を実施することで歩行能力を改善させる可能性が示唆された．

キーワード：痙縮，斜面板，機能的電気刺激

背景

脳卒中後片麻痺患者はリハビリテーションを行うことで，約80%が自立歩行可能になると報告されている[1)]．一方で，自立歩行を獲得しても，歩行速度や距離の低下，麻痺側下肢における痙縮など，歩行障害が残存する患者は少なくない[2)]．その中でも，足関節底屈筋の痙縮は，麻痺側立脚期の反張膝や遊脚期足部クリアランス低下を引き起こして歩行能力の低下を招くことが報告されている[3)]．そのため，足関節底屈筋の痙縮を治療し，歩行能力を改善していくことは理学療法における重要な課題の1つとなる．

脳卒中による上下肢痙縮については，ボツリヌス毒素Aによる治療（以下，BoNT-A）が「脳卒中治療ガイドライン2021」にグレードAで推奨され，痙縮の軽減，関節可動域の増大，日常生活上の介助量軽減に有効であると報告されている[4)]．下肢BoNT-A後には理学療法が併用されるが，BoNT-A投与筋に対して臥位でストレッチを実施することが多い．痙縮下肢に対するBoNT-A投与により，関節可動域，筋緊張，クローヌスの改善が得られるが，歩行能力を改善させるか否かの見解は一致していない[5)]．また，BoNT-Aによる機能改善において，リハビリテーションの併用効果は不十分であるとの報告[6)]もあり，BoNT-A後の効果的な理学療法内容を検討する必要がある．

＊ Effect of standing exercise and electrical stimulation using a sloping platform after botulinum type A treatment on walking ability

1）名古屋市総合リハビリテーションセンター　理学療法科
（〒467-8622　名古屋市瑞穂区彌富町字密柑山1番地の2）
Akihiro Ikuta, PT, MS, Masaki Ishiguro, PT, MS, Shinya Okamoto, PT, MS, Hiroyuki Ito, PT, MS, Kenya Wakaizumi, PT, Tomohiro Tsuji, PT: Department of Physical Therapy, Nagoya City Rehabilitation Center

（受付日　2022年8月7日／受理日　2022年11月16日）

2）名古屋女子大学　医療科学部　理学療法学科
Kazuto Ishida, PT, PhD: Department of Physical Therapy, Faculty of Medical Science, Nagoya Women's University

3）名古屋市総合リハビリテーションセンター　脳神経内科
Chikako Sato, MD: Department of Neurology, Nagoya City Rehabilitation Center

＃ E-mail: a.ikuta1986er@gmail.com

脳卒中後片麻痺患者の歩行における特徴は，麻痺側立脚後期の足部に対する骨盤の前方移動が小さくなることが報告[7]されており，歩行能力の向上には立脚中期以降に麻痺側推進力を得る必要がある．よって我々は，BoNT-A 後の理学療法で歩行能力を向上させるために，臥位でのストレッチに加えて，麻痺側推進力を高める動作訓練が必要であると考えた．立脚後期の足関節背屈角度を改善し得る訓練として，斜面板トレーニングがあり，斜面板を降りた後に足圧中心位置が前方へ変位することが期待できる[8]．また，下肢痙縮筋に対する機能的電気刺激では，前脛骨筋を電気刺激することで下腿後面筋に対する相反抑制を用いた筋緊張緩和が得られること[9]，歩行パターンを模した下肢筋群への電気刺激により下肢痙縮と歩行能力が改善することが報告されている[10]．

以上より，我々は BoNT-A 後の理学療法として，斜面板を使用した立位訓練を加え歩行パターンを模した下肢筋群への機能的電気刺激を併用することで，麻痺側推進力を高めて歩行能力向上が可能になると考えた．そこで今回，脳卒中後片麻痺患者に対し下肢 BoNT-A 後に斜面板を使用した立位訓練と機能的電気刺激の併用が歩行能力に与える影響を確認することを目的とした．

症例紹介

70 歳代の男性である．病歴として X（介入開始時点）の 5 年前に心原性脳塞栓を発症し，左片麻痺，構音障害を後遺症として残した．その後，リハビリテーション病院に転院して約 180 日間の医療リハビリテーションを実施した．自宅退院後も介護保険を利用して定期的にリハビリテーションを行っていた．発症直後に撮像された MRI 像の高信号域は，右内包から放線冠に認めた．X 日に上肢領域に対する反復経頭蓋磁気刺激（以下，上肢 rTMS）と BoNT-A を希望され，上肢 rTMS ＋上下肢 BoNT-A を目的に入院した．15 日間の上肢 rTMS ＋上下肢 BoNT-A+ 理学療法 / 作業療法（PT/OT）を 1 クールとして実施した．

入院時の歩行能力は，T 字杖と短下肢装具「RQ（アルク）」を使用して自立されていた．左上下肢の Brunstrom Recovery Stage（BRS）は上肢Ⅳ，手指Ⅳ 下肢Ⅲ，感覚障害は表在・深部感覚ともに認めなかった．

方法

上肢 rTMS 治療＋ BoNT-A 後に，1 クールずつ異なった内容の理学療法を実施した．1 クール目は，ストレッチを中心に行った期間（以下，N 期）であり，2 クール目は，斜面板を使用した立位訓練と機能的電気刺激を併用した期間（以下，ES 期）とした．発症日から上肢 rTMS 治療＋ BoNT-A 開始までの期間は，N 期は 975 日，ES 期は 1581 日であった．理学療法内容は，N 期に臥位で BoNT-A 投与筋のストレッチを 10 分，段差使用した下腿後面のストレッチを 5 分，斜面板を使用した下腿後面のストレッチを 3 分，free hand 後方介助での歩行訓練を 2 分の計 20 分実施した．ES 期は，臥位で BoNT-A 投与筋のストレッチを 5 分，立位にて斜面板と電気刺激した訓練を 10 分，free hand 後方介助での歩行訓練を 2 分の計 20 分実施した．N 期と ES 期の変更点は臥位のストレッチ時間を減らし，斜面板での立位訓練と機能的電気刺激を併用した．電気刺激は，「低周波治療器（DENKEN 社，DRIVE）」を用いた．DRIVE の特徴としては，治療者が任意のタイミングで刺激をコントロールできることや，チャンネルが 2 つあり，独立または同時（選択的）に刺激を行うことが可能であることが挙げられる．今回，電極位置は前脛骨筋と大腿四頭筋（内側広筋）（図 1）とし，周波数 30 Hz，パルス幅 100 μs，刺激強度は痛みを感じない最大の強さに設定した．

立位にて斜面板と機能的電気刺激した訓練の内

図 1．電気刺激時の電極貼付位置

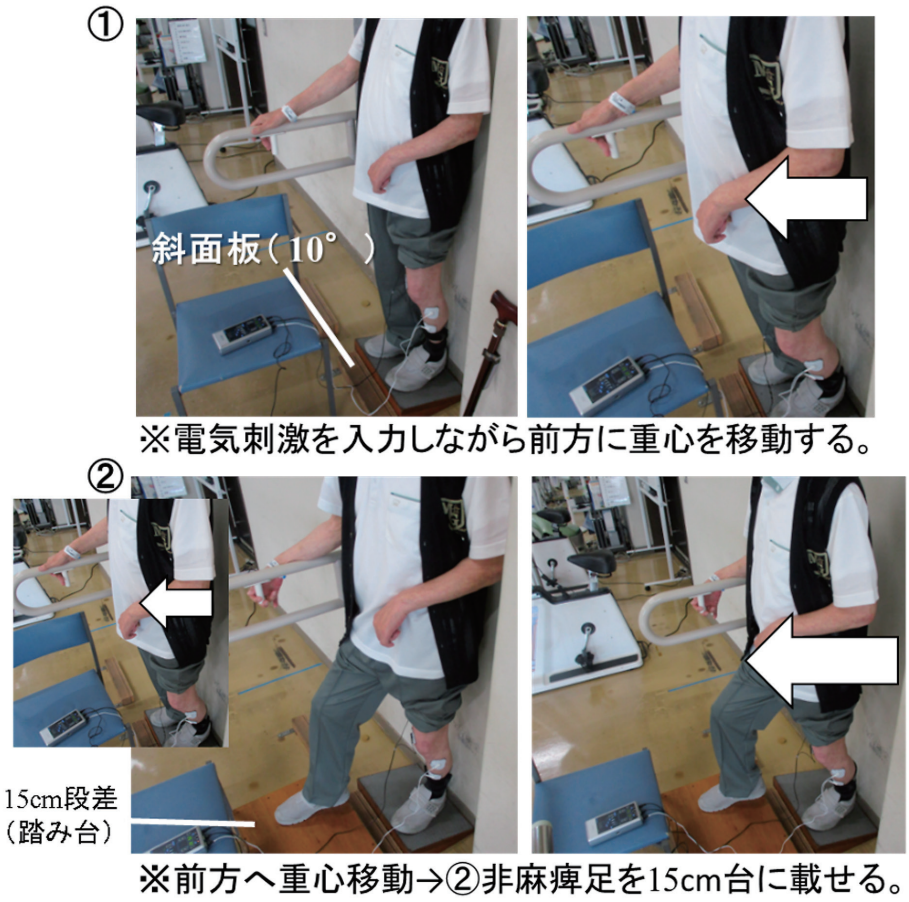

図 2. ES 期の理学療法風景（斜面板トレーニング＋機能的電気刺激療法）

容については，つま先上がりで 10 度に設定してある斜面板上に立位姿勢を保持させ，以下の 2 つの訓練を実施した（図 2）．1 つ目は，壁から身体を離すと同時に電気刺激を入力する方法である．壁から身体が離れている（前方へ身体が移動している）間に，電気刺激 5 秒間，壁に身体が触れている（後方へ身体が移動している）間は電気刺激を入れず休息時間 5 秒間とした．2 つ目は，前方へ身体移動する際に，電気刺激を入力し非麻痺足を 15 cm 台に乗せる訓練を実施した．非麻痺足は毎回斜面板に戻し，身体が前方へ移動している 5 秒間に電気刺激を入力し，後方へ移動する 5 秒間を休息時間とした．1 つ目，2 つ目において身体が前方へ移動する際に，電気刺激を入力する 5 秒間と休息 5 秒間を 1 セットとし，計 20 セット実施した．2 つ目の訓練は，麻痺側立脚中期～後期にかけて前足部への荷重を促すような動作訓練を患者が意識できるように声かけをした．

歩行訓練は，free hand で実施した．N 期と ES 期ともに介助者が後方から麻痺側への重心移動を促しながら 60 m 軽介助で実施した．

BoNT-A は患側上下肢に対し計 400 単位（半腱様筋 30 単位，半膜様筋 30 単位，腓腹筋内側 60 単位，後脛骨筋 40 単位で下肢合計 160 単位，上肢合計 240 単位）を投与した．2 つの期間における投与量に大きな変化はなかった．投与日から 15 日間の理学療法（20 分 / 日）を実施した．また，BoNT-A 投与 3 日後より上肢 rTMS を 12 日間と集中的作業療法（1 日 40 分を 2 回）を実施した．評価は，上下肢 BoNT-A 前と退院日（15 日目）に行った．評価項目は関節可動域（Range of Motion，以下，ROM），筋緊張検査 Modified Ashworth scale（以下，MAS），Functional Reach Test（以下，FRT），Berg Balance Scale（以下，BBS），10m 努力歩行テスト（以下，10MWT），6 分間歩行テスト（以下，6MWT）を実施した．

倫理的配慮

ヘルシンキ宣言に基づき，患者に説明し同意を得た．

結果

ROM は，N 期で股関節伸展は治療前 10°から治療後 15°へ拡大した．ES 期は治療前 0°から治療後

表 1. 下肢機能とバランス評価の結果

		N 期		ES 期	
		治療前	治療後	治療前	治療後
ROM（°）	股関節（屈曲）	105	110	110	120
	（伸展）	10	15	0	5
	膝関節（屈曲）	145	140	140	140
	（伸展）	−10	−5	−5	−5
	足関節（背屈）	5	15	0	5
	（底屈）	40	40	40	45
MAS	股関節（屈曲）	1	1	1	0
	（伸展）	1	0	0	0
	膝関節（屈曲）	1	0	1	0
	（伸展）	1	1	2	0
	足関節（背屈）	1+	2	2	1+
	（底屈）	1	1	1	0
FRT（cm）		30.5	27.5	25.5	32.5
BBS（点）		46	45	40	46

ROM : Range of Motion　MAS : Modified Ashworth Scale
FRT : Functional Reach Test　BBS : Berg Balance Scale

表 2. 歩行能力の結果

		N 期		ES 期	
		治療前	治療後	治療前	治療後
10MWT	（m/s）	0.45	0.48	0.41	0.53
歩数	（歩）	24	24	24	21
6MWT	（m）	140	161	141	167

5°へ拡大した．足関節背屈角度はN期で治療前5°から治療後15°へ拡大し，ES期は治療前0°から治療後5°へ拡大した．その他，ROMにおいて著明な変化は認められなかった．MASは，股関節伸展においてN期に治療前1から0へ減少し，ES期は治療前1+から治療後1へ減少した．足関節背屈は，N期に治療前1+から治療後2となり，ES期は治療前2から治療後1+と減少した．またN期とES期にFRTとBBSを実施した．N期のFRT，治療前30.5 cmから治療後27.5 cmと減少したのに対して，ES期においては，治療前25.5 cmから治療後32.5 cmと増加した．BBSも同様に，N期の治療前46点から治療後45点と減少したのに対して，ES期治療前40点から46点へ増加した（表1）．

10MWTについてN期は，治療前0.45 m/sから治療後0.48 m/sと増加した．ES期は，治療前0.41 m/sから治療後0.53 m/sに増加した．治療前後の変化率もN期は110.5%の増加に対して，ES期は123.4%の増加を示し，N期の変化よりもES期の方が大きな変化を示した．また，10MWT時の歩数においてN期では治療前後で24歩と変化がみられなかったのに対し，ES期は治療前24歩から治療後21歩と歩幅の向上を示した．6MWTにおいてN期は，治療前140 mから治療後161 mへ増加した．ES期は，治療前141 mから治療後167 mへ増加を示した．治療前後の変化率についてもN期は114.6%の増加に対して，ES期は118.9%の増加を示し，10MWTと同様にN期の変化よりもES期の方が大きな変化を示した（表2）．

考察

今回ROMやMASは，N期とES期においてBoNT-A治療前と比較し治療後において改善を認めた．また，上記の2つの期間においてはBoNT-A投与筋に対して，臥位のストレッチを実施したが，ES期はN期よりも短いストレッチ時間であった．しかし，先行研究[5]と同様の関節可動域，筋緊張，クローヌスの改善が得られたことから，臥位でのストレッチに対する至適時間については検討が必要になると考える．

10MWT，6MWTは，N期よりもES期の方がBoNT-A治療前と比較して治療後で大きな変化率を示した．今回ES期では，臥位でのストレッチ時間を減らし，斜面板の立位訓練と機能的電気刺激を実施した．

斜面板訓練は，つま先上がりの斜面板上で立位姿勢を保持する介入により，前脛骨筋の収縮増大や下腿後面筋伸張と筋緊張の緩和が得られ，斜面板を降りた後に足圧中心位置が前方へ変位し，前後方向の最大重心移動域の拡大が期待できると報告されている[11]．また，FRTもN期よりもES期の方が治療前と比較して治療後において増大をみとめた．FRTは上肢の移動距離と重心移動距離との間に相関関係があることを示し[12]，FRTが大きいほど，実際の前方重心移動距離も大きい[13]．そのため，前方重心移動距離の増大は，斜面板トレーニングにより，最大重心移動域の拡大が生じ，前方への重心移動が可能となり，10MWT時の歩数に繋がったと考えた．また我々は，斜面板トレーニングに加えて歩行パターンを模した下肢筋群への電気刺激を実施することで，効率的な歩行を獲得できると考え，前脛骨筋と大腿四頭筋（内側広筋）に電極を装着した．前脛骨筋に電気刺激を用いることで歩行速度の向上[14]，相反抑制にて下腿後面である拮抗筋の筋緊張緩和が報告されている[9]．DRIVEの特徴である，選択的に機能的電気刺激を入力することにより上記の効果だけではなく，前足部への荷重を促すタイミングを患者に認識することが可能になると考えた．また，斜面板トレーニングの中で機能的電気刺激を併用して実施することで，前脛骨筋に電気刺激を入力すると麻痺側下腿の前傾が促される．それと同時に膝関節伸展するように大腿四頭筋（内側広筋）にも電気刺激を入力することにより，歩行立脚中期から後期にかけての股関節伸展位のアライメントを形成することが可能になると考えた．歩行速度を増加させるためには，推進力を増加させる必要がある[15]．そのため，機能的電気刺激を斜面板上の立位姿勢で実施することで，麻痺側前足部への荷重を意識し，推進力を得る面に歩行時の推進力や歩行効率の向上の効果が高いことが推測される．

BBSについては，下肢機能に加えて6MWTと関連があると報告されている[16]．前脛骨筋に電気刺激を刺激することによって足関節の運動戦略に影響を与え，バランス能力が向上したと考えた．今回，ES期においてバランスの向上が，歩行距離も延長に繋がった可能性が示唆された．

以上，斜面板トレーニングと機能的電気刺激を併用して実施したことにより，立脚後期における前足部への荷重が促され，推進力を得ることが可能になった．つまり，6MWTの向上からも効率的な歩行の獲得に近づいたことが示唆された．

結論

BoNT-A後の理学療法は臥位でのストレッチだけではなく，斜面板トレーニングと電気刺刺激を併用したように動作訓練も加えて実施する必要性があると考えた．脳卒中片麻痺患者の痙縮に対しての理学療法において，斜面板トレーニングと電気刺刺激を併用して実施することは歩行能力を改善させる一助になる可能性が示唆された．

利益相反

本研究に開示すべき利益相反はない．

謝辞

今回の投稿に関し，承諾していただいた本症例，並びにご指導いただいた先生方に深く感謝申し上げます．

【文　献】

1) Jφrgensen HS, Nakayama H, et al.: Recovery of walking function in stroke patients the Copenhagen Storke Study. Arch Phys Med Rehabil. 1995; 76: 27-32.
2) 安保雅博，角田亘：脳卒中後遺症に対するrTMS治療とリハビリテーション．金原出版，東京，2013, pp. 103-118.
3) 津嶋勇一，藤田和樹・他：痙性片麻痺患者における足関節機能と歩行時筋活動の関連．理学療法科学．2019; 34 (1) : 37-40.
4) 脳卒中学会 脳卒中ガイドライン委員会：脳卒中治療ガイドライン2021，協和企画，東京，2021, pp. 268-270.
5) 藤田和樹，三秋泰一・他：脳卒中片麻痺患者に対する下肢ボツリヌス療法が歩行時の筋活

動および歩行の時間・距離因子に及ぼす影響. 理学療法学. 2016; 43 (6) : 477-485.
6) 蜂須賀明子, 松嶋康之・他：上下肢痙縮に対するボツリヌス療法と機能改善, 脳卒中, 2016; 38: 363-368.
7) Duclos NC, Duclos C, et al. : Slow and faster post-stroke walkers have a different trunk progression and braking impulse during gait. Gait Posture. 2019; 68: 483-487.
8) 中山恭秀, 安保雅博：斜面板上における立位姿勢保持が直後の平地上における最大重心移動域に及ぼす影響. 理学療法科学. 2009; 24 (3) : 387-390.
9) 中村潤二, 庄本康治：痙縮に対する電気刺激療法. MB Medical Rehabilitation. 2021; 261: 19-25.
10) Yan T, Hui-Chan CW, et al. : Functional electrical stimulation improves motor recovery of the lower extremity and walking ability of subjects with first acute stroke a randomized placebo-controlled trial. Stroke. 2005; 36: 80-85.
11) 中山恭秀, 飯島節：斜面板立位姿勢保持における背面のへの寄りかかりの有無による筋活動の違い. リハビリテーション連携科学. 2011; 12: 108-112.
12) Duncan PW, Studenski S, et al. : Functional reach:predictive validity in a sample of elderly male veterans. J Gerontol. 1992; 47 (3) : 93-98.
13) 對馬均, 山下奈津子・他：片麻痺患者のFunctional Reachと重心移動. 理学療法学 Supplement. 2004; 31: 349.
14) 大田瑞穂, 青木淳・他：回復期脳卒中片麻痺患者の前脛骨筋への機能的電気刺激を用いた歩行訓練が歩行運動パターンに及ぼす影響. 理学療法科学. 2021; 36 (1) : 119-123.
15) 大畑光司：歩行の力学と倒立歩行. MB Medical Rehabilitation. 2019; 235: 15-20.
16) Pohl PS, Duncan PW, et al. : Infuence of stroke-related impairments on performance in 6-minute walk test. J Rehabil Res Dev. 2002; 39 (4) : 439-444.