

■実践報告

重症下肢虚血患者に対するベルト電極式骨格筋電気刺激法の経験

松本 拓也^{1)*} 松本 純一¹⁾ 寺部 雄太²⁾
 榊 聡子¹⁾ 菱沼 遼¹⁾ 安藤 弘³⁾

要旨 重症下肢虚血（CLI）は、全身の動脈硬化疾患の一部である末梢動脈疾患の中でも安静時疼痛、潰瘍・壊疽を生じる最も重症の状態である。CLI 患者は創傷が治癒するまで一定期間の免荷を余儀なくされ、その間活動量が低下することで下肢筋力が低下し、廃用症候群に陥りやすいとされている。そのため免荷期間から積極的なリハビリテーションが必要と考えられるが、創部痛などにより積極的なリハビリ介入が難しい現状がある。現在、電気刺激療法は筋力増強や末梢循環の改善に対して効果があるとの報告があり、運動療法とは異なる治療法の1つとして実施されているが、CLI に対しての報告は少ない。今回、電気刺激療法の1つであるベルト電極式骨格筋電気刺激法（B-SES）を CLI 患者4名に対して実施した結果、末梢動脈閉塞などの急性増悪や熱傷など有害事象なく実施することが出来た。B-SES は CLI 患者に対するリハビリの選択肢の1つになる可能性が示唆された。

キーワード：重症下肢虚血・リハビリテーション・ベルト電極式骨格筋電気刺激法・廃用症候群

はじめに

末梢動脈疾患（peripheral arterial disease 以下 PAD）とは全身の動脈硬化疾患の一部であり、臨床的重症度を判断する基準として Rutherford 分類や Fontaine 分類で分けられている。安静時疼痛、潰瘍・壊疽を生じる最も重症の状態は重症下肢虚血（critical limb ischemia 以下 CLI）と定義されている。CLI 発症後1年の予後調査では、30%が切断に至り25%が死亡すると報告され¹⁾ 急性に症状が増悪することも少なくない。PAD が進行すると歩行能力や日常生活動作（activity of daily living 以下 ADL）が低下し、生活の質（quality of life 以下 QOL）が低下する²⁾。また PAD 患者の下肢筋力は非 PAD 患者と比較し、低下していることが報告されている³⁾。CLI 患者は創傷が治癒するまで一定期間免荷を余儀なくされることから、廃用症候群によりさらに下肢筋力や歩行能力が低下する可能性があるため、免荷期間から積極的なリハビリテーシ

ン（以下リハビリ）が必要と考えられる。しかし創部痛、免荷期間や長期臥床による筋力低下で積極的なリハビリ介入が難しい現状がある。

電気刺激療法は、経皮的に微弱な低周波電流を流すことで筋収縮を起こすものであり、筋力増強や末梢循環の改善に対して効果があるとの報告がある⁴⁻⁶⁾。現在、電気刺激療法は運動療法とは異なる治療法の一つとして実施されている。ベルト電極式骨格筋電気刺激法（belt electrode skeletal muscle electrical stimulation 以下 B-SES）は筋力の増強、筋量の増大を目的とした筋力トレーニングと、エネルギー代謝や糖代謝を亢進させる有酸素運動を目的別に実施することができ、仰臥位で安全



図1 当院での B-SES 実施の様子

(* 責任著者：松本 拓也 春日部中央総合病院 リハビリテーション科 〒344-0063 埼玉県春日部市緑町5-9-4

現職場（草加整形外科内科

〒658-0013 埼玉県草加市中央1丁目1-18）

e-mail: matsumoto.soka.reha@gmail.com)

¹⁾ 春日部中央総合病院 リハビリテーション科

²⁾ 東京西徳洲会病院 形成外科

³⁾ 春日部中央総合病院 循環器科

受付日：2019年2月17日，Accept：2019年5月7日

に実施できる（図1）。骨格筋に対して電気刺激を与える研究は、健康成人、心疾患患者や慢性閉塞性肺疾患患者などを対象とした報告が多く⁷⁻¹⁰⁾、CLI患者に対するB-SES使用に関する報告は希少である。そこで今回、免荷中のCLI患者に対する理学療法介入において、電気刺激療法の一つであるB-SES使用における有用性を検討したため、リスク管理を踏まえて報告する。

対象と方法

対象は、CLIのうち足部潰瘍・壊疽があり、血管内治療を目的に入院となった患者のうち治療安静度が患側免荷とされている患者（Fontaine分類Ⅳの男性3名、女性1名）計4名とした（表1）。年齢は 66.0 ± 6.3 歳、体重は 59.9 ± 3.9 kg。4名とも共通して2型糖尿病、慢性腎不全による維持透析施行中であつた。対象の4名において健側下肢は荷重可能だが、患側下肢免荷中であり、疼痛もあることなどから積極的なリハビリ介入が困難であつた。また介入期間において免荷指示が解除されたもの、患者自身から拒否があつたものは除外対象とした。

電気刺激機器は、B-SES（AUTO TENS PRO Rehabili Unit, ホーマーイオン研究所, 日本）を使用した。使用モードは、AUTO TENS PROの定める28のパターンからLEG DISUSEモード（筋力強化目的）を使用し、周波数は筋の強縮が生じる20 Hzとした。実施強度は疼痛が生じない最大強度、もしくは十分に筋収縮が触知できるレベルとした。介入頻度は4週間とし、週5日（1日20分）を通常の運動療法に加えて実施した。運動療法は、両下肢にそれぞれ重錘を取り付けて行う下肢伸展挙上や、膝窩部分にストレッチボールを挿入し下肢を免荷した状態で行う殿部挙上などの筋力強化、健側下肢を使用した車椅子への移乗動作練習等のADL練習を中心として実施した。運動負荷量は自覚的運動強度（Borg Scale）にて11～13レベルで実施した。測定項目は等尺性膝関節伸展筋力、大腿周径（膝蓋骨上10 cm）・下腿周径（最大膨隆部）、皮膚灌流圧（skin perfusion pressure 以下SPP）とし、等尺性膝関節伸展筋力（kg）/ 体重（kg）× 100（%）にて体重支持指数

（weight bearing index 以下WBI）を算出した。等尺性膝関節伸展筋力の測定にはアニメ社製ハンドヘルドダイナモメーター μ TasF-1を使用し、信頼性を確立するためにベルト固定にて実施した。ベルトの長さは椅子座位にて下腿下垂位となるよう調整し、足底は床に接地しないこととした。また等尺性膝関節伸展筋力の測定は左右2回ずつ実施し、1回目と2回目の間は30秒間の休憩を取ることにした。SPPの測定方法に関しては、前脛骨動脈により栄養される足背部分と後脛骨動脈により栄養される足底部分にそれぞれレーザセンサを設置しその上にカフを巻いて測定を行ない、レーザセンサの設置場所は骨の突出部はさけ、感染予防としてレーザセンサの設置前に足部にラップを巻いて保護をしてから測定を行った。皮膚血流は交感神経支配であるため、測定前はベッド上で背臥位となり5分間の安静をとったのち測定を行った。SPPはB-SES施行前・B-SES施行期間終了後に測定し、その他の測定項目は1週間毎に測定した。リスク管理として、血液データのC反応性蛋白（以下CRP）・クレアチニンキナーゼ（以下CK）、B-SES実施前、実施中、実施後の血圧、心拍数、酸素飽和度のバイタル管理、施行前後の創部の状態を確認した。膝関節伸展筋力の変化量においてWilcoxon符号付順位和検定を用いて評価し、分析値は中央値（最小値～最大値）を用いた。統計学的有意水準は5%とし、統計解析は統計ソフトEZRを使用した。B-SESを実施するにあたり、院内の倫理委員会の承認を得るとともに対象の4名には十分な説明をし、同意を得て実施した。

結 果

B-SES介入前後での膝伸展筋力は健側 21.0 ± 5.3 （平均±標準偏差）kgから 28.0 ± 6.7 kg、患側は 14.7 ± 4.0 kgから 18.4 ± 4.1 kgへ変化し、そこから算出したB-SES介入前のWBIは健側 $32.5 \pm 8.4\%$ 、患側 $22.1 \pm 3.0\%$ 。B-SES介入後のWBIは健側 $47.2 \pm 12.7\%$ 、患側 $30.9 \pm 8.1\%$ であり、全例で膝関節伸展筋力の上昇傾向を認めたが $p=0.125$ で有意差は得られなかった（図2, 3）。B-SES介入前、介入後での下腿、大腿周径に有意差は得られなかった（図4）。SPP（表2, 3）では著明

表1 対象患者の基本情報

症例	年齢	性別	体重	BMI	患側	創傷部位	活動量
A	63	女	58.5	27.3	右	第Ⅰ・Ⅲ・Ⅳ趾潰瘍	車椅子中等度介助
B	58	男	58.0	22.1	右	第Ⅰ・Ⅴ趾切断	車椅子修正自立
C	75	男	56.5	20.8	右	踵潰瘍	車椅子軽介助
D	68	男	66.5	25.1	右	第Ⅰ・Ⅱ趾切断	車椅子中等度介助

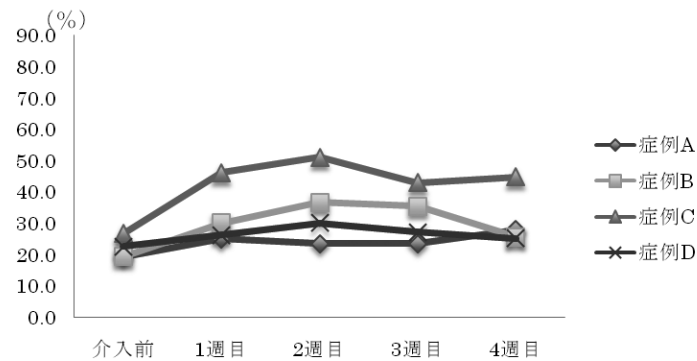


図2 体重支持指数 (WBI) (患側) の1週間毎の変化

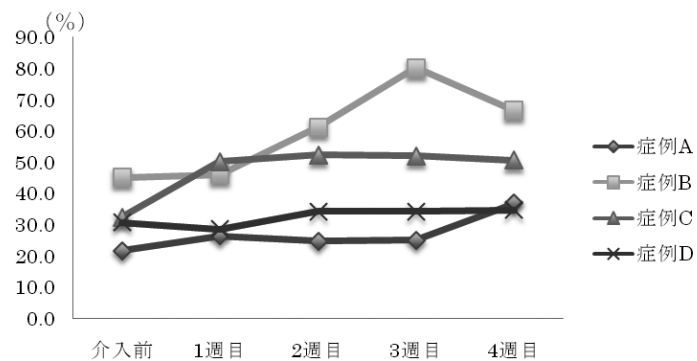


図3 体重支持指数 (WBI) (健側) の1週間毎の変化

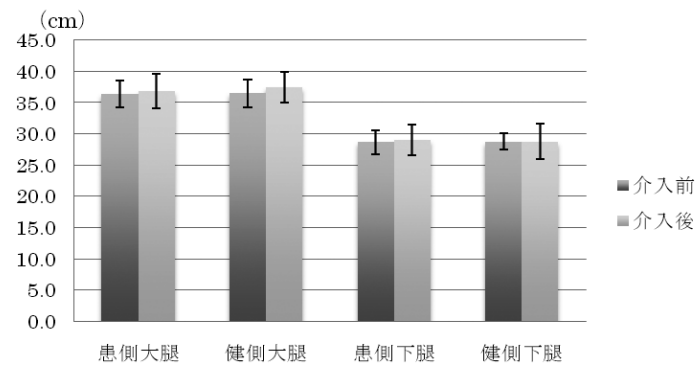


図4 下肢周径 (介入前後)

左右大腿、下腿周径を症例 A ~ D の4例の平均値で介入前後を比較

な血流低下はなく、血液データ (表4)、血圧、心拍数、酸素飽和度の変動は認めなかった。また実施にあたり疼痛の増悪、熱傷などの有害事象は生じなかった。なお、B-SES 介入期間中は血行再建等の外科的治療の実施はなかった。

考 察

免荷期間中の CLI 患者に対し4週間 B-SES を施行した結果、大腿・下腿周径に変化はなく、筋肥大は生じなかったと考えられる。生理的収縮では、type I 線維か

ら動員され、運動強度が増大するにつれて徐々に type II 線維が動員される¹¹⁾ (サイズの原理) が、電気刺激による筋収縮では生理的収縮の機序とは異なり、運動神経の軸索が太く電気抵抗の低い type II 線維から収縮し、刺激強度が増大するにつれて細い軸索を持つ type I 線維が動員されるという特徴を持つ^{12, 13)}。そのため同程度の強度では随意収縮による筋活動と比較し、電気刺激による筋活動は type II 線維の収縮が得られやすいと考えられる。また渡部らは、電気刺激による筋収縮の機序がサイズの原理と異なることを指摘し、電気刺激による筋

表2 介入前後での患側皮膚灌流圧 (SPP) の変化量の比較 (mmHg)

症例	実施前足背	実施後足背	実施前足底	実施後足底
A	27	59	39	55
B	16	18	53	45
C	13	23	77	20
D	49	54	67	83
平均値 ± 標準偏差	26.3 ± 14.1	38.5 ± 18.2	59.0 ± 14.4	50.8 ± 22.6

表3 介入前後での健側皮膚灌流圧 (SPP) の変化量の比較 (mmHg)

症例	実施前足背	実施後足背	実施前足底	実施後足底
A	55	67	56	50
B	23	—	21	—
C	61	23	49	26
D	73	42	84	62
平均値 ± 標準偏差	53 ± 18.5	44 ± 18	52.5 ± 22.4	46 ± 15

※一部欠損データあり

表4 B-SES 実施前後での血液データの比較

症例	実施前 CRP	実施後 CRP	実施前 CK	実施後 CK
A	0.46	0.28	37	27
B	0.15	0.28	27	24
C	0.36	0.24	101	78
D	4.22	0.12	—	—
平均値 ± 標準偏差	1.3 ± 1.69	0.21 ± 0.07	55 ± 32.78	43 ± 24.78

※一部欠損データあり

収縮だけでは抗重力筋の筋萎縮防止を目的とした十分な運動効果は期待できないと報告している⁶⁾。そのため、膝伸展筋力において有意な変化は認められなかったと考えられる。筋力増大には神経学的要因と形態学的要因が関与するとされ、運動単位数や活動頻度の増加による神経学的要因は介入早期に生じ、筋肥大による形態学的要因は発現に3～5週間の期間を要するとされる¹⁴⁾。今回、介入期間が4週間であることや、明らかな筋肥大が認められなかったことから、筋力の症例間における変化は神経学的要因による変化に留まったと考えられるが、介入期間を延長することで筋肥大が生じる可能性はあり得る。しかし症例数が少ないことや、B-SESの実施と合わせて運動療法も実施していることから、B-SESのみの筋力増強効果に言及することに関しては困難であり、本研究の限界と考える。

一方、CLI患者は、感染、末梢動脈閉塞などの急性増悪のリスクや皮膚の脆弱性を有する重症疾患であり、今までCLI患者に対する電気治療の研究は積極的に行われておらず、実施頻度や実施強度などは明確にされていなかったため、本研究にて有害事象なくB-SESを実施

できたことは臨床上大きな意味を持つと考える。また電気刺激療法は末梢循環を改善させるとの報告があるが^{5,6)}、今回測定に使用したSPPは30 mmHg未満の場合、創傷治癒は困難とされ、SPP 40 mmHg以上の部位を切断高位とすることで治療成績が改善した¹⁵⁾との報告がある。今回の結果に関して、SPPのB-SES実施前後の変化量に着目し、平均値の低下が見られる部位においても健側で40 mmHgを下回る結果には至らなかった。また血液データからも炎症の増悪はなく、皮膚トラブルもなかったことから今回有害事象は生じなかったと考える。しかし、症例Cにおいて実施前後で明らかな血流低下が見られた。症例Cに関しては、元々血管内治療を繰り返している患者であり、血流の低下との関連性が疑われるが、今回の研究では血管内治療の有無や回数での分類分けは行なっていなかった。今後は血管内治療等の外科的治療歴の有無だけでなく、症例数を増やすことやB-SES実施前からの経過を追うことで血流の低下とB-SES実施との関連性を今後も調べていく必要があると考える。今回B-SESを実施し、血流の著明な低下や疼痛の増悪、熱傷等の皮膚トラブルは見られなかつ

たことから、潰瘍・壊疽を有する重篤な CLI 患者に対し電気刺激療法を実施するにあたり、その安全性を確立していくための重要な結果であると考ええる。

結 語

今回、潰瘍・壊疽を有する CLI 患者 4 名に B-SES を実施した。疼痛の増悪や熱傷、血流障害等の有害事象なく実施することができた。今後 CLI 患者に対して電気刺激療法を実施していく上で安全性を確立させていくための重要な結果である。

利益相反

開示すべき利益相反は無し。

文 献

- 1) TASC II Working Group : 下肢閉塞性動脈硬化症の診断・治療指針 II (Trans-Atlantic Inter-Society Consensus II : TASC II) 日本脈管学会編訳, メディカルトリビューン, 東京, 2007 ; 1-109.
- 2) 新本春夫, 大城秀巳, 他 : 閉塞性動脈硬化症患者における QOL 調査 (第 1 報). 脈管学, 2003; 143: 9-13.
- 3) McDermott MM, Guralnik JM, et al.: Impairments of muscles and nerves associated with peripheral arterial disease and their relationship with lower extremity functioning: the CHIANTI Study. J Am Geriatr Soc. 2004; 52: 405-410.
- 4) 志波直人, 広田圭介, 他 : 電気刺激による筋力増強—ハイブリッド訓練法の臨床・宇宙医学への応用—, MB Med Reha. 2007; 86: 57-64.
- 5) 長坂 誠, 上月正博 : 骨格筋電気刺激による末梢循環改善. MB Med Reha. 2007; 86: 72-78.
- 6) 渡部幸司, 長岡正範 : リハビリテーションにおける電気刺激療法の展望. 順天堂医学, 2010; 56: 29-36.
- 7) 江崎重昭, 川村次郎, 他 : 電気刺激による筋力増強効果—健常人に対する高周波電気刺激の効果—, 理学療法学, 1995; 22: 49-52.
- 8) 神谷昌孝, 山田純生, 他 : 心臓手術後の下肢筋力低下に対する電気刺激療法の効果. 心臓リハビリテーション学会誌, 2005; 10: 113-116.
- 9) Zanotti E, Felicetti G, et al.: Peripheral muscle strength training in bed-bound patients with COPD receiving mechanical ventilation: Effect of electrical stimulation. Chest. 2003; 12: 292-296.
- 10) Neder JA, Sword D, et al.: Home based neuromuscular electrical stimulation as a new rehabilitative strategy for severely disabled patients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD). Thorax. 2002; 57: 333-337.
- 11) Henneman E, Somjen G, et al.: Functional significance of cell size in spinal motoneurons. J Neurophysiol. 1965; 28: 560-580.
- 12) Garnett R, Stephens JA: Changes in the recruitment threshold of motor units produced by cutaneous stimulation in man. J Physiol. 1981; 311: 463-473.
- 13) Cameron MH : EBM 物理療法 原著 第 2 版, 渡部一郎監訳, 医歯薬出版, 東京, 2006 ; 233-272.
- 14) Moritani T, deVries HA: Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. Am J Phys Med. 1979; 58: 115-130.
- 15) 塚本祐也, 神保幸太郎, 他 : 重症下肢虚血 (CLI) 患者の下肢切断術に対し皮膚灌流圧 (SPP) 測定を用いた術前評価の検討. 整形外科と災害外科, 2017; 66: 379-382.