

症例報告



足底感覚刺激を併用した体重免荷式トレッドミルトレーニングにより歩行対称性に改善を認めた足部感覚障害を有する脳卒中片麻痺の一症例*

宮澤裕輝・久米裕介・酒向敦裕

【要旨】

【目的】 下肢感覚障害と歩行非対称性を有する脳卒中片麻痺患者に対して、部分免荷トレッドミルトレーニング (Body Weight Supported Treadmill Training : 以下 BWSTT) と足底感覚情報の増加を目的としたインソールを併用した介入を行った結果、歩行対称性に改善を認めたため報告する。【方法】 BWSTT 単独介入を5日間実施 (A期)、BWSTTを7日間休止した後、インソールを併用したBWSTT介入 (B期)を5日間行った。各介入前後の2日間で歩行動画を撮影し、動作解析ソフトを用いて、歩行速度、左右歩幅比率、左右立脚時間比率を算出し、A期とB期、それぞれの前後で結果を示した。【結果】 歩行速度はA期、B期ともに向上した。左右歩幅比率はA期で左右非対称化し、B期で左右対称に近づいた。左右立脚時間比率はA期、B期ともに左右対称に近づいた。【結語】 足底感覚情報の増加を目的としたインソールを併用したBWSTTは、下肢感覚障害を持つ本症例に対して、歩行対称性の改善に有効であった。

キーワード：BWSTT, 感覚障害, 歩行対称性

はじめに

部分免荷トレッドミルトレーニング (Body Weight Supported Treadmill Training : 以下 BWSTT) とは、頭上のハーネスと体幹ベルトを連結した懸垂装置を用いて体重の一部を免荷することに加え、転倒を予防した状態でトレッドミル上を歩行する課題指向型の歩行練習である。脳卒中治療ガイドライン2015ではグレードBで「行うよう勧められる」と評価されている¹⁾。BWSTTの特徴として早期から歩行練習を促すことが出来る²⁾、長距離の歩行練習が可能である³⁾、左右対称な歩行パターンでの練習が可能であると報告されている⁴⁾。

BWSTTの効果としては、他の歩行練習と比較し

て歩行速度の向上⁵⁾や歩行時の左右対称性の改善の報告がある⁶⁾。一方で他の歩行練習と比較し、歩行速度に改善を認めなかったとの報告もある⁷⁾。脳卒中患者は症状に個人差が大きく、効果にばらつきが生じてしまうため、対象患者の検討が必要である。

今回、下肢感覚障害を有する症例に対しBWSTTを用いて歩行速度の向上と歩行対称性の改善を目的に集中的に介入を行ったが、歩行速度に改善を認めたものの、歩行対称性の改善は得られなかった。麻痺側下肢の歩幅は非麻痺側に比較し小さく、麻痺側への荷重が困難な状態であり、改善が必要な状態であった。

歩幅の左右対称性については下肢感覚機能と相関があるとされ、感覚運動刺激は歩行機能改善に好影響を与える⁸⁾との報告がある。また足底の感覚入力については静的姿勢バランスを改善させる⁹⁾とされ、感覚情報を基に、認知過程での処理を行い、運動を実行する「知覚-運動の円環性」に働きかけるトレーニングとして、インソールによる足底感覚刺激は応用可能であると報告されている¹⁰⁾。

* A case of a stroke hemiplegia with foot disorder of sensation that showed improvement in ambulation symmetric property by body-weight-supported treadmill training combined with insole sensible stimulus

愛知県済生会リハビリテーション病院
(〒451-0052 愛知県名古屋市西区栄生1丁目1-18)
Yuki Miyazawa, PT, Yusuke Kume, PT, Atsuhiko Sako,
PT: Rehabilitation, Aichi saiseikai Rehabilitation Hospital

E-mail: Yuk112.09a54@gmail.com

BWSTTは体重免荷を行う特性上、下肢感覚障害を有する本症例において、足底感覚情報の低下を招き、麻痺側の使用を促すのが困難であった可能性がある。そこでインソール使用による足底の感覚刺激を併用したBWSTTの治療介入を行った結果、歩行速度、歩行対称性ともに改善を認めた症例を経験したため報告する。

症例紹介

50代男性の右中大脳動脈閉塞患者である。身長179 cmで体重は82 kgでありBody Mass Indexは25.59だった。2年ほど前から左上下肢の麻痺の出現と自然緩解を繰り返しており、X病日、左上下肢麻痺を自覚し受診。上記診断を受けX + 20病日に当院入院となった。中大脳動脈の閉塞に時間を要していたため、新生血管を多数認め血流代償が生じておりMRI上では明らかな異常所見を認めなかった(図1)。HOPEは「歩行の見た目を正常に近づけたい。」NEEDは「歩行速度向上と麻痺側立脚時間の延長」であった。

X + 39病日のBrunnstrom Stageは上肢IV.手指IV.下肢VIだった。下肢感覚検査は、表在覚は毛筆を使用し、麻痺側足底部を10回刺激し、触刺激を感じた際に「はい」と表出させ測定した。結果は正答7回であった。深部覚は、背臥位にて麻痺側下肢全体を10回他動的に操作し、非麻痺側下肢と同じ姿勢にするよう指示して測定した。こちらは正答5回であった。足底二点識別覚は母趾球で非麻痺側1.7 cmに対し麻痺側2.7 cmであった。下肢筋力はMMTにおいて股関節屈曲、伸展、外転、膝関節伸展は健側Goodレベルで、麻痺側Normalレベルであった。また高次脳機能検査として、三宅式記銘力検査、Trail Making Test、標準注意検

査法、行動性無視検査を測定したが異常を認めなかった。院内ADLは階段昇降がFIM 4、その他はFIM 6であり、FIM motorの合計は76点だった。当院入院時から歩行可能であり、前医から松葉杖を用いて歩行は自立していた。歩行は3動作前型で目線は常に下を向き麻痺側下肢をゆっくりと小さく振り出し、麻痺側下肢への荷重を避けた歩行パターンを呈していた。歩行時の麻痺側下肢荷重は体重82 kgに対し最大34 kgで、症例からは「体重がかかっている感じがわからない」「体重を乗せるのが怖い」などの発言が聞かれた。歩行速度はT字杖を使用した条件で17.49 m/minと低下を認めた。連続歩行距離は6分間歩行テストで120 mであり、歩行耐久性も乏しい状態であった。

理学療法は1日3～6単位実施していた。筋力増強訓練や神経筋再教育、麻痺側下肢荷重訓練、歩行訓練(以下:通常リハビリテーション)を中心に介入を行ったが、歩行速度や歩行時の麻痺側荷重の増加に繋がっていない状態であった。鏡や体重計を用いた麻痺側下肢荷重訓練では、拒否的な発言が聞かれた。症例は歩行速度向上に対し意欲的であったためX + 36病日にBWSTTを実施したところ、受け入れは良好だった。X + 47病日に、足底感覚刺激の目的で健康サンダルのインソールを取り外したものを靴の中に敷いて歩行させた。その際、「地面を踏んでいる感じがわかりやすい」との訴えが聞かれた。

研究プロトコル

シングルケーススタディの研究プロトコルには、ABデザインを用いた。BWSTT単独での介入を5日間(以下:A期)行い、7日間の休止期間の後、BWSTTと足底感覚刺激のためのインソー

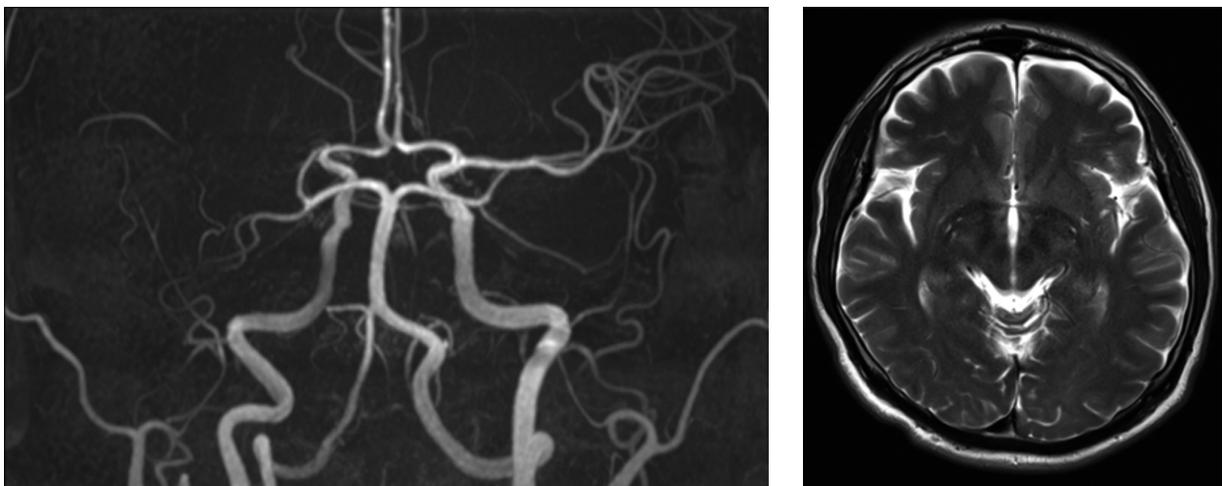


図1. 症例の血管造影, MRI 画像

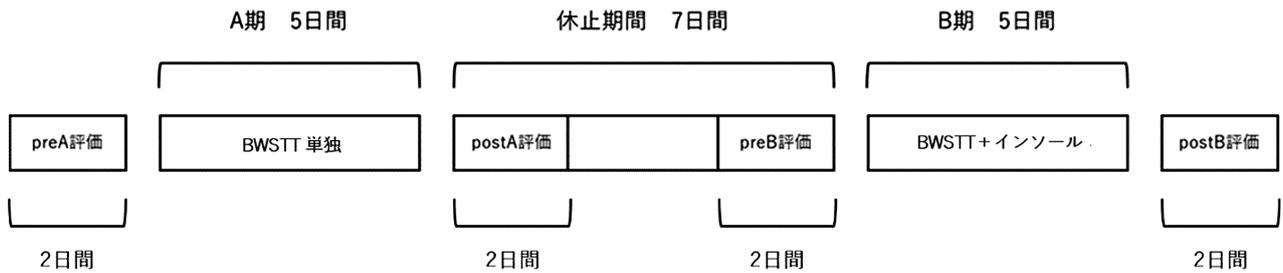


図2. 治療スケジュール



図3. インソール外観

ルを併用した介入を5日間（以下：B期）実施した。A, B期の前後に2日間の評価期間を設けた（図2）。各期の免荷量は体重の15%とし、症例もしくは観察者から見た最大歩行速度で、1日1回20分間連続して実施した。BWSTTを利用していない40分間は、通常リハビリテーションを実施した。足底感覚刺激のためのインソールは、高さ1 mmから3 mmの突起がある薄いラバー製で、症例が生活で利用している運動靴の中に敷き使用した（図3）。A介入開始はX + 41 病日、B期介入終了はX + 58 病日であった。

評価内容と歩行分析

A期とB期の前後の評価期間に理学療法評価を行った。評価項目はBrunnstrom Stageと下肢MMT（股関節屈曲、外転、膝関節伸展）、下肢感覚検査（表在覚、深部覚、二点識別覚）とした。また各期前後の評価期間のいずれか1日で矢状面から平

地歩行動画を撮影した。歩行路は10 mとし中央部の床面に幅5 m × 奥行き2 mの範囲でマーキングを行った上で、症例が生活で利用している運動靴を履き、足底感覚刺激のためのインソールは使用せずに撮影した。症例にカメラの前を6回通過させ、各評価期でそれぞれ6本ずつ平地歩行動画をサンプリングした。この動画を動画解析ソフトKinoveaを用いて解析した。解析項目は5 m当たりの快適歩行時間とカメラ正面付近の踵接地から次の同側の踵接地までの1歩行周期を対象にした、左右歩幅、左右立脚時間とした。また奥行きによる歩幅の変動は、Kinoveaのパスベクトリブグリッド機能を用いて補正した。この解析を各評価期間で得られたそれぞれ6サンプル全てで実施した。

得られた解析結果のデータ処理として、5 m当たりの快適歩行時間から歩行速度（m/min）を算出した。歩行対称性は武井ら¹¹⁾の歩行対称性評価を一部改変し、解析した左右歩幅と左右立脚時間から、1歩行周期のうち左右のより小さい値を、より大きい値で除した左右の歩幅比率と立脚時間比率を求めた（例：左歩幅20 cm 右歩幅25 cmであれば、 $20 \div 25 = 0.8$ ）。歩幅比率および立脚時間比率は“1”に近いほど左右対称性であることを示す。歩行速度、左右歩幅比率、左右立脚時間比率を各評価期でそれぞれ6サンプル分計測した。

各期の左右歩幅、左右立脚時間は、解析で得られた測定結果の平均値とし、歩行速度、左右歩幅比率、左右立脚時間比率は、データ処理によって得られた測定結果の平均値とした。

結果

A期の前後、およびB期の前後の評価でBrunnstrom Stage（上肢IV、手指IV、下肢VI）とMMT（股関節屈曲・伸展・外転、膝関節伸展、いずれも左Normalレベル、右Goodレベル）は不変であった。各期における感覚検査の結果は、表在感覚において正答7～8回、深部感覚において正

表1. 歩行速度, 左右歩幅比率, 左右立脚時間比率結果 (平均値±標準偏差)

	A 期		B 期	
	Pre	post	pre	post
歩行速度 (m/min)	17.21 ± 0.78	22.87 ± 1.31	24.71 ± 0.32	28.75 ± 0.81
変化量 (post-pre)	5.66		4.04	
左右歩幅比率	0.94 ± 0.05	0.83 ± 0.06	0.77 ± 0.04	0.92 ± 0.03
歩幅実測値 (cm) (麻痺側 / 非麻痺側)	25.71 ± 1.11 / 24.89	28.28 ± 1.20 / 34.06	28.44 ± 0.72 / 36.83	38.86 ± 0.54 / 42.09
変化量 (post-pre) (麻痺側 / 非麻痺側)	± 1.33	± 1.46	± 1.17	± 1.30
	+2.57/+9.17		+10.42/+5.26	
左右立脚時間比率	0.68 ± 0.03	0.73 ± 0.03	0.79 ± 0.02	0.93 ± 0.03
立脚時間実測値 (秒) (麻痺側 / 非麻痺側)	0.95 ± 0.02 / 1.41	0.92 ± 0.04 / 1.26	0.93 ± 0.02 / 1.18	1.10 ± 0.02 / 1.17
変化量 (post-pre) (麻痺側 / 非麻痺側)	± 0.07	± 0.02	± 0.03	± 0.03
	-0.03/-0.15		+0.17/-0.01	

答4～6回で、二点識別覚はA期前, A期後, B期前において2.7 cmでB期後に1.5 cmとなった。

歩行速度はA期B期ともに増加した。歩幅はA期において麻痺側が2.57 cm, 非麻痺側が9.17 cm延長し, 歩幅比率では左右非対称化を示した。B期では麻痺側に10.42 cm, 非麻痺側には5.26 cmの延長を認め, 左右対称化を示した。立脚時間はA期で麻痺側は0.03秒, 非麻痺側0.15秒短縮し, B期では麻痺側が0.17秒の延長, 非麻痺側は0.01秒の短縮を認めた。立脚時間比率は, A期B期ともに左右対称化が生じた(表1)。

考察

本症例のA期pre評価では歩幅比率は0.94 ± 0.05と左右対称に近い状態であったが左右ともに歩幅は約25 cmと身長に比して小さかった。立脚時間は麻痺側立脚時間が, 非麻痺側立脚時間に対して短く, 立脚時間比率は0.68 ± 0.03と強い非対称性を示していた。歩行対称性の改善及び, 歩行速度の向上には, 左右歩幅の増大と, 麻痺側立脚時間の延長が課題であると思われた。

A期においてBWSTTの単独介入を行った結果, 麻痺側歩幅に比べ, 非麻痺側歩幅が大きく延長し左右非対称な状態へと変化した。立脚時間は, 麻痺側は0.03秒, 非麻痺側は0.15秒短縮し, 立脚時間比率は改善したが, 期待した麻痺側立脚時間の延長は得られなかった。対してB期では非麻痺側に比べ, 麻痺側歩幅が大きく延長した事によって再び左右対称な歩行に近づいた。立脚時間についてはB期でのみ麻痺側立脚時間の延長を認め, 課題であった麻痺側立脚時間の延長が得られた。これらのことから, 本症例においてはBWSTT単

独介入よりも, 足底感覚刺激を併用したBWSTTの方が, 歩行対称性の改善に有効であった。歩行速度についてはA期B期ともに向上を認めたことから, 本症例においてはBWSTTの使用は歩行速度向上に対し効果的であった。変化量はA期がB期より高い結果となったが, 順序効果による差であると思われた。

A期のBWSTT単独介入による歩行速度向上は, 麻痺側立脚時間の延長は生じていないことから, 麻痺側下肢の支持性の向上は得られなかったと考えられ, 非麻痺側歩幅の延長によって生じた可能性がある。最大歩行速度で歩行訓練を行ったため, テッドミルの速度に適應するために, 非麻痺側下肢の代償を誘発した可能性があり, 結果として左右非対称化が大きくなったと推察された。

一方, B期では, 麻痺側歩幅の延長や麻痺側立脚時間の延長が得られた上で, 歩行速度の向上が生じた。症例からは「地面を踏んでいる感じがわかりやすい」との訴えがあり, このような内観の変化が恐怖心により抑制されていた麻痺側立脚時間の短縮を解消した可能性がある。Hsiaoら¹²⁾は脳卒中片麻痺患者の歩行速度を決定づける因子として, 麻痺側立脚後期のtrailing limb angle(股伸展角度)と足関節push offトルクがあるとしている。本症例において麻痺側立脚時間の延長に伴い, 立脚後期の延長が得られた。立脚後期の延長はtrailing limb angleの増加と, それに続く立脚終期での足関節push offトルクの増加を生じさせたと推察された。結果, B期では麻痺側歩幅の延長によりA期で生じていた非麻痺側歩幅の増大による非対称性の増加を改善し, 歩行速度の更なる向上に至ったと考えられた。

村田ら¹³⁾は足底二点識別覚と、片脚立位保持時間に負の相関があるとしている。本症例ではB期において二点識別覚の改善を認めているため、足底からの感覚情報の増加が、インソールを使用していない動画撮影時の条件下でも歩行機能を維持できた要因ではないかと考える。しかし、横山ら¹⁴⁾は、健常成人に対し、冷却刺激によって二点識別覚を低下させた条件において、歩行動作は中枢にプログラムされ自動化されているため、感覚情報量の変化が与える影響は少なかったとしている。自動化された歩行動作については、頸・腰髄膨大部に存在し脳機能や感覚入力から独立したcentral pattern generatorと呼ばれる神経回路網が知られるが、本症例においては当院入院時から松葉杖を用いた歩行で自立しており、意識的かつ努力的な歩行が学習されていた。BWSTTを用いて歩行量を確保した上で、足底刺激インソールでの感覚入力の反復が、リズムカルな歩行パターンの発現を促した可能性がある。

本シングルケーススタディの限界として、ABデザインであるため、BWSTTと足底感覚刺激のためのインソールを併用した介入の残存効果は不明であること、今回の介入が他の脳卒中片麻痺患者に対しても有効であるか不明であることがあげられる。

結論

足底感覚刺激を併用したBWSTTは、下肢感覚障害を有した本症例の歩行速度と歩行左右非対称性を改善させた。今後、足底感覚刺激を併用したBWSTTが片麻痺患者の歩行機能改善に有効かどうか更なる検証が必要である。

【文献】

- 1) 小川彰, 出江紳一・他: 脳卒中治療ガイドライン2015. 協和企画, 東京, 2015, pp. 270-318.
- 2) Norman KE, Pepin A, et al.: A treadmill apparatus and harness support for evaluation and rehabilitation of gait. Arch Phys Med Rehabil. 1995; 76: 772-778.
- 3) Peurala SH, Tarkka IM, et al.: The effectiveness of body weight-supported gait training and floor walking in patients chronic stroke. Arch Phys Med Rehabil. 2005; 86: 1557-1564.
- 4) Hesse S, Konrad M, et al.: Treadmill walking with partial body weight support versus floor walking in hemiparetic subjects. Arch Phys Med Rehabil. 1999; 80: 421-427.
- 5) Sullivan KJ, Brown DA, et al.: Effects of task-specific locomotor and strength training in adults who were ambulatory after stroke: results of the STEPS randomized clinical trial. Phys Ther. 2007; 87: 1580-1602.
- 6) An-Lun H, Pei-Fang T, et al.: Analysis of impairments influencing gait velocity and asymmetry of hemiplegic patients after mild to moderate stroke. Arch Phys Med Rehabil. 2003; 84: 1185-1193.
- 7) Kosak MC, Reding MJ: Comparison of partial body weight-supported treadmill gait training versus aggressive bracing assisted walking post stroke. Neurorehabil Neural Repair. 2000; 14: 13-19.
- 8) Miyai I: Cortical networks associated with locomotion in man and patients with hemiparetic stroke, Springer, Boston, 2004, pp. 109-128.
- 9) 大河原七生, 臼田滋: 脳卒中片麻痺患者における感覚情報の違いが静的バランス, 機能障害に及ぼす影響. 理学療法科学. 2015; 30(3): 345-352.
- 10) 長谷川正弥, 鳥谷康司・他: 知覚入力型インソールを用いた後足部への感覚入力と選択的注意が歩容に与える影響. 靴の医学. 2014; 28: 30-34.
- 11) 武井圭一, 金子誠喜・他: 脳卒中片麻痺患者への発症後早期の部分免荷トレッドミル歩行練習の短期的介入適応の検討. 理学療法科学. 2010; 25(3): 349-355.
- 12) Hsiao H, Knarr BA, et al.: Mechanisms to increase propulsive force for individuals poststroke. J Neuroeng Rehabil. 2015; 18: 12-40
- 13) 村田伸: 開眼片足立ち位での重心動揺と足部機能との関連. 理学療法科学. 2004; 19(3): 245-249.
- 14) 横山茂樹, 高柳公司・他: 足底部感覚情報が立位姿勢調整および歩行運動に及ぼす影響. 理学療法科学. 1995; 22(3): 125-128.