

症例報告



小脳性運動失調患者に対する体重免荷トレッドミル歩行練習の効果 — シングルケースデザインによる検証 — *

近藤玲美¹⁾・石野晶大²⁾・山田将成¹⁾・牧 芳昭¹⁾

【要 旨】

【目的】運動失調を呈した小脳出血患者一例に対し、体重免荷トレッドミル歩行練習（以下、BWSTT）が同量の懸垂下での平地歩行練習（以下、BWSOT）と比較して、歩行速度や歩行周期変動性の改善に有効か検証した。【方法】対象は四肢、体幹に運動失調を認めた60歳代男性である。反復型実験計画法AB型を用いて、A期はBWSOT、B期はBWSTTを各期8日間実施した。評価項目は快適歩行速度と歩行周期変動性とした。解析は中央分割法によるCeleration Lineを用いた視覚的判断に加え、効果量（BC-tauまたはTau）を求めた。【結果】快適歩行速度はBWSTT実施後、即時的に増加したものの8日間で経時的な改善を認めなかった（BC-tau = -0.25）。歩行周期変動性もBWSOTと比較して介入効果を認めなかった（Tau = -0.378）。【結論】練習中の歩行速度や環境設定、身体機能の経過から、本症例においてBWSTTは課題難易度が高く、BWSOTと比較し介入効果を認めなかった。

キーワード：小脳性運動失調，歩行速度，BWSTT

はじめに

小脳性運動失調患者の歩行の特徴として、体幹の前後左右への動揺、歩隔の拡大、歩幅や遊脚期の短縮、足底接地期の延長が挙げられ、歩行中の各指標は安定せず変動が大きいと報告されている¹⁾。これらの歩行や動作の特徴により転倒リスクが増加する可能性がある²⁾。また、小脳梗塞患者においては、発症から3ヶ月後も歩行速度の低下が残存することも報告されており³⁾、歩行能力の改善は理

学療法における課題の1つである。

近年、小脳性運動失調患者の歩行障害に対するリハビリテーションとして、体重免荷トレッドミル歩行練習（Body Weight Support Treadmill Training; 以下、BWSTT）での介入が検討されている。慢性外傷性脳損傷、脊髄小脳変性症により失調歩行を呈した症例や小児運動失調例に対してBWSTTは歩行の介助量軽減や、歩行距離の増加に寄与するとされており、歩行速度や歩行自立度を向上させる可能性があると報告されている⁴⁻⁷⁾。これらの先行研究は、主にBWSTTと平地歩行練習を組み合わせ実施しており、歩行能力の向上がBWSTTによるものであるか明確ではない。また、多くの報告は慢性期を対象としており、現状では亜急性期の患者を対象とする検証は少ない。吉川ら⁸⁾は、亜急性期の小脳性運動失調患者二例に対するBWSTTの効果を実験デザインケーススタディで検証しており、BWSTTは平地歩行練習と比較して歩行速度や歩行変動性の改善が得られ、特に軽症例に効果がみられたと報告している。これらのことから失調歩行に対するBWSTTは有用であると考えられるが、原因疾患や病期、重症度

* Effects of body weight support treadmill training for a patient with cerebellar ataxia -A single case study-

1) 医療法人珪山会 鶴飼リハビリテーション病院
リハビリテーション部
(〒453-0811 名古屋市中村区太閤通四丁目1番地)
Remina Kondo, PT, Masanari Yamada, PT, MS, Yoshiaki Maki, PT, MS: Department of Rehabilitation, Ukai Rehabilitation Hospital

2) 国立研究開発法人 国立長寿医療研究センター
リハビリテーション科部
Shota Ishino, PT, MS: Department of Rehabilitation Medicine, Hospital, National Center for Geriatrics and Gerontology

E-mail: remon.k0819@gmail.com

(受付日 2023年8月8日/受理日 2023年12月16日)

にばらつきがあり適応症例は明らかとなっていない。また、先行研究における BWSTT と平地歩行練習の比較は、平地歩行では体重免荷がされていないことから、トレッドミルの効果であるか体重免荷の効果であるかは不明である。我々は、免荷の有無の影響を除いた場合でも、トレッドミルは一定速度でベルトが動き速度の調整が可能であることから、運動失調患者に対する BWSTT は平地歩行練習と比較して歩行変動性や速度の改善に有効であると仮説を立てた。

今回、小脳性運動失調を呈した亜急性期脳卒中患者一例に対し、BWSTT が同量の懸垂下での平地歩行練習と比較して、歩行速度や歩行周期変動性の改善に有効であるか検証した。

対象および方法

1. 対象

症例は 60 歳代の男性であり、小脳出血と診断され急性期病院にて血腫除去・脳動脈奇形摘出術が施行された。小脳性運動失調および構音障害が残存し、発症後 49 病日に当院の回復期リハビリテーション病棟へ入棟し、同日より理学療法を開始した。本検証は発症後 101 病日より実施した。本検証の初期評価として、Scale for the Assessment and Rating of ataxia (以下、SARA) は 15 点 (歩行 5 点、立位 2 点、座位 0 点、言語障害 4 点、指追いつ験 1 点、鼻指試験 1 点、手の回内外運動 0 点、踵すね試験 2 点)、軀幹失調検査はステージ II であり、四肢および体幹に運動失調を認めた。Berg Balance Scale (以下、BBS) は 34/56 点であった。基本動作は、起居は見守り、起立や立位はふらつきを認めるため物的介助が必要であった。歩行補助具なしでの歩行は、ワイドベースを呈しており、四肢や体幹の運動失調の影響により左右への動揺が強く中等度介助が必要であった。また、歩行速度は 0.19 m/sec であり、「歩くことが怖い」といった発言がみられた。認知機能は Mini Mental State Examination-Japanese にて 30/30 点であった。また高次機能障害の評価として、Trail Making Test 日本語版 Part A は 120 秒、Trail Making Test 日本語版 Part B は 151 秒であったが、日常生活を送るうえで大きな支障はなかった。

2. 研究デザイン

研究デザインはシングルケースデザインである反復型実験計画法 AB 型を採用した。基礎水準期である A 期では体重免荷装置を使用した平地歩行練習 (Body Weight Supported Overground Training;

以下、BWSOT) を行い、操作導入期である B 期では BWSTT を行い、各期 8 日間の練習期間を設けた。

3. 練習内容

A 期では体幹と大腿部が結合しているハーネスを装着し体重免荷装置 (株式会社モリトー、レーン走行免荷リフト SS-450) を使用し BWSOT を実施した。BWSOT は整備された 10 m の直線路を往復して歩行練習を実施した。B 期では A 期で使用したハーネスを装着し体重免荷装置 (インターリハ株式会社、ニューアシスト)、トレッドミル (株式会社大武・ルート工業、左右分離型低床トレッドミル DLF-55) を使用し BWSTT を実施した。

各期同一条件として、先行研究⁸⁾を参考に体重の 10% を免荷した。練習中は、手すりや歩行補助具を使用せず、自制外のふらつきがあった場合のみ介助を行った。練習中の歩行速度の設定は、対象者の主観的快適歩行速度とした。BWSTT の歩行速度の変更は、歩行時にふらつきがなく安全に 30 秒以上の歩行が可能であれば 0.10 km/h ずつトレッドミル速度を段階的に漸増させた。30 秒間でふらつきが一度でも生じた場合は、直ちに 0.10 km/h ずつトレッドミル速度を減少させた。翌日は、前日の練習終了時のトレッドミル速度を開始速度に設定し、同様の方法でトレッドミル速度を調整した。練習時間は BWSOT、BWSTT いずれも 10 分間とし、疲労に応じて休憩時間を設けた。その他の 50 分間の理学療法では、起立練習、四つ這いや膝立ち位、立位でのバランス練習を中心に各期同様に実施した。

4. 評価項目

1) 練習効果の評価項目

平地における快適歩行速度と歩行周期変動性を各日で計測した。

快適歩行速度は 10 m 歩行テストにて計測した。10 m 歩行テストは前後 3 m の予備路を含めた計 16 m の直線路で行い、10 m の歩行に要する時間をストップウォッチ (CASIO、ストップウォッチ HS-3 C-8 AJH) を用い、快適歩行速度を 2 回計測し、2 回の平均値を求めた。

歩行周期変動の指標として Stride Time Variability (以下、STV) を用いた。方法は、10 m 歩行テストを側方からビデオカメラ (SONY、HDR-CX 535) を使用して歩行動画を撮影した。撮影した歩行動画を、動画編集ソフト (Microsoft、Windows Media Player) を用いて、目視で踵接地から同側の踵接

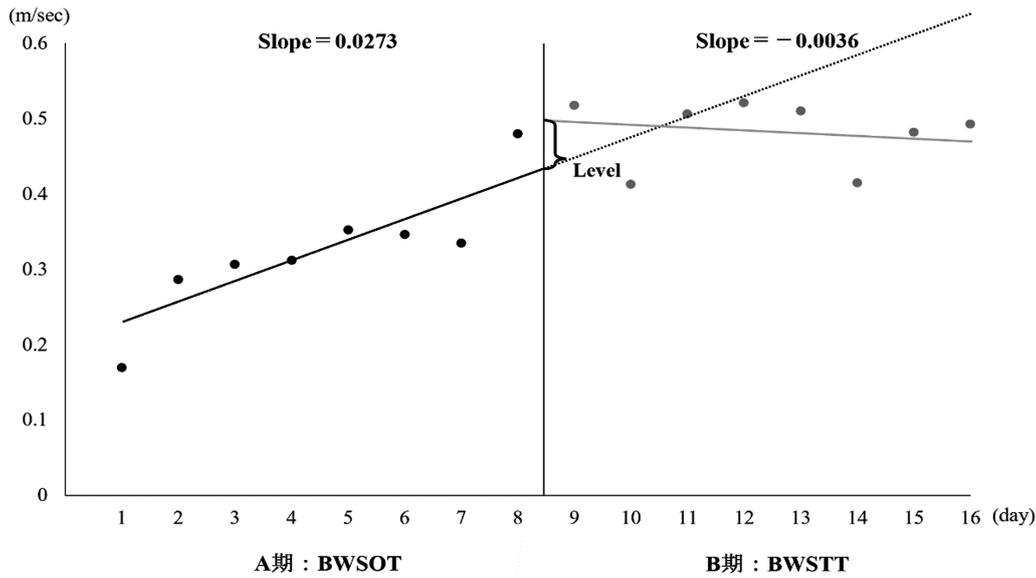


図1. 快適歩行速度の変化

実線：各期におけるCL，点線：A期CLの延長線を示す
 BWSOT：Body Weight support overground training
 BWSTT：Body Weight support treadmill training

地までの1歩行周期時間を，動画内中間の5歩行周期分抽出した．STVは，標準偏差／歩行周期の平均×100で算出した．

計測は各期ともに練習前に実施し，歩行補助具や懸垂を用いず計測を行った．また，身体機能の評価として，練習前と各期練習終了時にSARA，BBSの測定を実施した．

2) 練習中の評価項目

練習中の歩行時間を比較するために，歩行周期割合を算出した．BWSOT開始から6日目と，BWSTT開始から7日目の歩行周期時間をビデオカメラで撮影し，計測した各練習間の歩行周期時間について比較した．歩行周期割合は，両脚支持期を含めた立脚期と遊脚期の3項目を抽出した．算出はビデオカメラで撮影した動画内，歩行路の中間5歩行周期を解析対象として採用し，各歩行周期時間を一歩行周期時間で除して算出した．

5. 解析

中央分割法によるCeleration Line（以下，CL）を用いた．庄本ら⁹⁾の先行研究を参考に，練習期間ごとのCLとその延長線から勾配（以下，Slope）を算出した．加えてA期のCLの最後の値とB期のCLの最初の値との差を水準（以下，Level）としてグラフに付記した．丁子¹⁰⁾によるSlopeとLevelのモデルデータを参考に，Slopeの変化とLevelの違いを視覚的に判定した．その視覚的な判定におい

ては，Slopeの変化があれば経時的効果とし，Levelの違いがあれば即時的効果と判断した¹¹⁾．

また，効果量として，Baseline Corrected Tau（以下，BC-Tau）を用いた¹²⁾．この分析法は，基礎水準期のトレンドが有意（ $p < 0.05$ ）である場合，この影響を除いた上で基礎水準期に対する操作導入期の効果量を算出することが可能である．BC-Tauの算出は，ウェブアプリケーション（Tarlow, K. R. (2016). Baseline Corrected Tau Calculator. <http://www.ktarlow.com/stats/tau/>）を使用した．効果量の解釈はVannestら¹³⁾の解釈基準を使用した：0.00-0.20（小さな変化：効果がない），0.20-0.60（適度な変化：効果が疑わしい），0.60-0.80（大きな変化：効果的），0.80-1.00（非常に大きな変化：とても効果的）．

6. 倫理的配慮

ヘルシンキ宣言に基づき，対象者には，本検証の要旨について口頭で十分に説明を行い，書面にて同意を得た．また本検証は鶴飼リハビリテーション病院倫理審査委員会の承認（0025号）を得た．

結果

1. 練習効果の評価項目

各期における快適歩行速度の変化について図1に示す．CLより，A-B期ではSlopeの減少，Levelの増加を示し，歩行速度はBWSTTによって即時

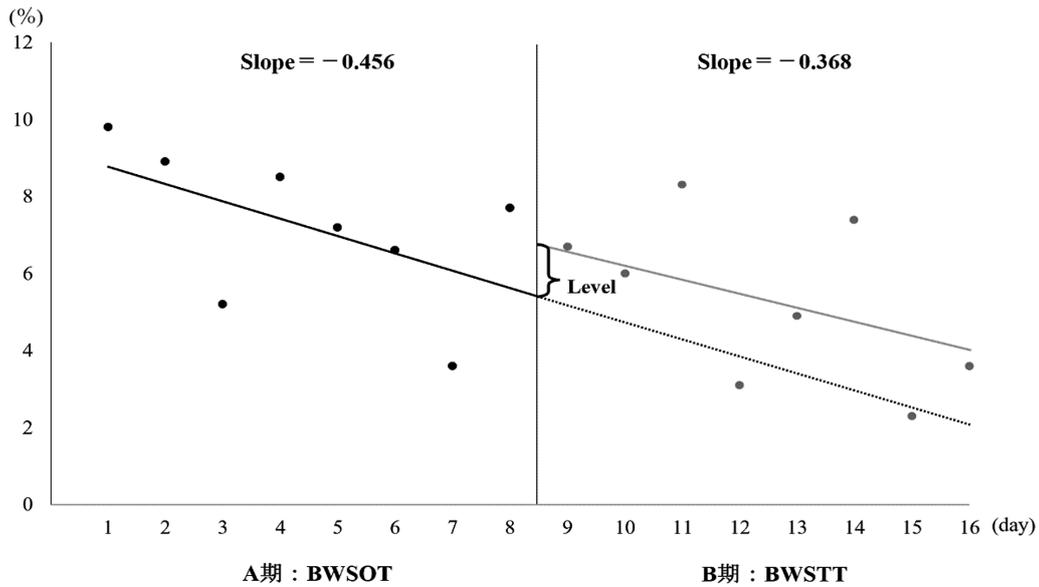


図 2. 歩行周期変動性の変化

実線：各期における CL，点線：A 期 CL の延長線を示す
 BWSOT：Body Weight support overground training
 BWSTT：Body Weight support treadmill training

表 1. 運動失調，バランスの変化

		A期練習前	A期練習後 (B期練習前)	B期練習後
SARA				
歩行	(点)	5	4	3
立位	(点)	2	2	2
座位	(点)	0	0	0
言語障害	(点)	4	4	4
指追い	(点)	1	1	1
指鼻試験	(点)	1	1	1
手の回内外	(点)	0	0	0
踵すね試験	(点)	2	2	2
合計	(点)	15	14	13
BBS				
起立	(点)	3	4	4
立位保持	(点)	3	4	4
座位保持	(点)	4	4	4
着座	(点)	4	4	4
移乗	(点)	3	3	3
閉脚立位保持	(点)	3	3	4
閉眼立位保持	(点)	3	4	4
上肢前方到達	(点)	3	4	4
床から物を拾う	(点)	3	3	4
左右の振り向き	(点)	1	3	4
360° 回転	(点)	1	2	2
段差踏み替え	(点)	2	3	2
タンDEM立位保持	(点)	0	0	2
片脚立位保持	(点)	1	1	1
合計	(点)	34	42	46

SARA：Scale for the Assessment and Rating of ataxia
 BBS：Berg Balance Scale

的に増加したものの、経時的変化は示さなかった。効果量より、A期のトレンドに有意差 ($p = 0.009$) を認め、 $BC\text{-}Tau = -0.25$ と効果がなかった。各期におけるSTVの変化について図2に示す。CLより、A-B期ではSlopeの増加、Levelの増加を示し、STVはBWSTTによって、即時的や経時的効果は得られなかった。効果量は、A期のトレンドに有意差 ($p = 0.108$) がなく、 $Tau = -0.378$ と適度な変化(効果が疑わしい)を示した。身体機能の比較を表1に示す。練習前と比較しA期では、SARAの得点が15点から14点へと減少し、BBSの得点は34点から42点へと増加した。A期と比較したB期においては、SARAは14点から13点へと減少し、BBSは42点から46点へと増加した。

2. 練習中の歩行周期割合と歩行速度の推移

各期における練習中の歩行周期割合を表2に示す。両脚支持期割合は、BWSOTは45%、BWSTTは41%であり、BWSOTと比較してBWSTTは両脚支持期割合の減少を示した。また、各期における練習中の歩行速度は、BWSTTでは最大1.5 km/hまで漸増可能であったが、終了時は1.4 km/hとなり、トレッドミル速度を漸増することが困難であった。B期において「怖い」「歩かされている感じ」といった発言がみられた。

表2. 練習中の歩行周期割合とトレッドミル歩行速度変化

	A期:BWSOT	B期:BWSTT
立脚期割合 (%)	71.1	72.1
両脚支持期割合 (%)	45.0	41.5
遊脚期割合 (%)	28.9	27.9
トレッドミル歩行速度 (pre-post km/h)	—	1.40-1.40

BWSOT : Body Weight support overground training

BWSTT : Body Weight support treadmill training

考察

今回、小脳性運動失調を呈した亜急性期脳卒中患者一例に対し、BWSTTとBWSOTを各々実施し、経過を比較した。その結果、BWSOTと比較しBWSTTにおいて、快適歩行速度は即時的な効果を認めたものの、操作導入期ではトレッドミル速度を増加させることができず経時的な介入効果は認めなかった。また、STVに関しては即時的効果、経時的効果いずれも効果を認めなかった。

まず、快適歩行速度に関して、即時的な歩行速度の向上が得られた。これは、脳卒中片麻痺患者に対して20分間のトレッドミル練習を1回実施した後に、歩行速度の改善を示した先行研究の知見と一致している¹⁴⁾。一方、経時的な歩行速度の向上が得られなかった理由として、練習中のトレッドミル速度の漸増が困難だったためと考える。良好な歩行速度の改善を認めた先行研究では、歩行能力に応じてトレッドミル速度の漸増が可能であった。吉川ら⁸⁾の先行研究では、対象者は小脳性運動失調を伴う亜急性期脳卒中患者二例であり、良好な経過を認めた症例のトレッドミル速度の設定は最大歩行速度の44-46%とし、介入期間中はトレッドミル速度が漸増されていた。また、その他の良好な経過を認めた報告では、頭部外傷¹⁵⁾や脊髄小脳変性症⁷⁾による小脳性運動失調者であり、運動失調や歩行能力の相違はあるものの、介入期間中においてはトレッドミル速度が漸増されていた。これらのことから、本症例は練習中のトレッドミル速度の漸増が困難であり、トレッドミルの経時的な効果を得るためには、練習中の歩行速度を漸増する必要があると考える。漸増が困難であった要因として、本症例に対するBWSTTの課題難易度が適切でなかった可能性が考えられる。また、BWSTT中に「怖い」「歩かされている感じ」との発言を認めていた。BWSTTの体感速度

は、平地歩行の1.5倍速く感じると報告されており¹⁶⁾、また後藤ら¹⁷⁾は、恐怖感を伴う治療環境は代償固定を強める可能性があり、このような場面での適切なアプローチは難しいと報告している。以上より、本症例におけるBWSTTは課題難易度が高く、恐怖心も伴ったことにより、トレッドミル速度を漸増できず、十分な練習効果が得られなかったことが考えられる。そのため、小脳性運動失調患者に対して歩行速度の向上を目的としたBWSTTを実施する際には、歩行能力に応じた手すりなどの物的支持の使用や免荷量の調整などにより、BWSTT実施中の恐怖心の軽減を図った上で、随時トレッドミル速度を漸増させる必要性が示唆された。

次に、STVは各期ともに改善傾向を示したが、A期と比較して即時的効果および経時的効果を認めなかった。本症例の身体機能の経過として、SARA、BBSは各期練習後にともに向上がみられた。Stephensonら¹⁸⁾は、フリードライヒ運動失調症において、BBSの得点は快適歩行時および速歩時の歩幅の変動性と負の相関を認めたと報告している。本症例は両期でBBSの改善を認めたため、それにもない各期ともにSTVが改善傾向を示したと考える。即時的効果、経時的効果が得られなかった要因として、本症例の練習中の歩行周期割合からBWSOTと比較し、BWSTTにおいて両脚支持期割合が減少したことが挙げられる。Buckleyら¹⁹⁾は小脳性運動失調患者の歩行周期割合は、健常者と比較して、遊脚期割合が有意に減少する一方で、立脚期割合と両脚支持期割合は有意に増加すると報告している。寺西ら²⁰⁾は、脳卒中患者を対象にBWSTT中の歩行周期割合を解析しており、立脚期と両脚支持期割合の減少を認めたと報告している。これらのことから、BWSTTでの歩行練習は運動失調による歩行の不安定性に対する代償である立脚期割合や両脚支持期割合を減少させ、不安定性を助長した可能性があり、十分な効果が得られなかったと考えられる。

また、小脳はある運動指令によって実行された運動の軌道や結果に関する様々な感覚的結果を受ける。それが意図していたパフォーマンスと異なる場合に、その誤差を検出、修正して運動指令を書き換え、さらに誤差を減少させる誤差学習を行う場として機能する²¹⁾とされている。また高草木²²⁾は、小脳は誤差照合系として機能し、小脳に入るリアルタイムの運動感覚は運動の調節に非常に重要であるとしている。そのため、歩行における誤差学習において、体性感覚や運動感覚などの固有

感覚情報が重要であると考えられる。平地歩行とトレッドミル歩行では、矢状面上の関節モーメントや、立脚期における筋活動、歩行距離因子に差異が生じる²³⁾と報告されており、両者は異なる固有感覚情報が入力されると考えられ、このようなトレッドミル歩行が持つ平地歩行との違いが、本症例にとって高い難易度となった可能性がある。従って本症例には、基準目標となる平地歩行に類似し、能動的且つ安定性を確保しながら歩行練習が可能となるBWSOTが適応であったと考える。

今回の研究の限界

本研究の限界として、今回ABデザインを用いているため、自然経過や天井効果などの影響は除けていない。また、一症例での検証であるため、一概に他の運動失調患者も同様の結果となるかは言及できない。また、BWSTT期間においても、SARAの歩行やBBSに改善を認めたことから、BWSTTがバランス機能の改善に寄与する可能性もあり、今後は症例数を増やし、さらなる検証が必要である。

結論

今回、小脳性運動失調を呈した亜急性期脳卒中患者一例に対し、BWSTTとBWSOTを各々実施し、経過を比較した。その結果、BWSOTと比較しBWSTTにおいて、快適歩行速度は即時的な効果を認めたものの、練習中のトレッドミル速度を増加させることができず経時的な介入効果を認めなかった。また、STVに関しては即時的効果、経時的効果いずれも効果を認めなかった。

利益相反

本検証に関して、開示すべき利益相反関連事項はない。

謝辞

本検証にご協力をいただいた対象者様、鶴飼リハビリテーション病院の関係者の方々に心より感謝申し上げます。

【文 献】

- 1) 安東範明：小脳性運動失調のリハビリテーション医療—体幹・下肢について—。日本リハビリテーション医学会誌。2019; 56(2) : 101-104.
- 2) Van de Warrenburg BPC, Steijns JAG, et al.: Falls in degenerative cerebellar ataxias. *Mov Disord.* 2005; 20(4) : 497-500.
- 3) Bultmann U, Pierscianek D, et al.: Functional recovery and rehabilitation of postural impairment and gait ataxia in patients with acute cerebellar stroke. *Gait Posture.* 2014; 39(1) : 563-569.
- 4) Marquer A, Barbieri G, et al.: The assessment and treatment of postural disorders in cerebellar ataxia: A systematic review. *Ann Phys Rehabil Med.* 2014; 54(2) : 67-78.
- 5) Freund EJ, Stetts MD: Use of trunk stabilization and locomotor training in an adult with cerebellar ataxia: A single system design. *Physiother Theory Pract.* 2010; 26(7) : 447-458.
- 6) Cernak K, Stevens V, et al.: Locomotor training using body-weight support on a treadmill in conjunction with ongoing physical therapy in a child with severe cerebellar ataxia. *Phys Ther.* 2008; 88(1) : 88-97.
- 7) de Oliveira LAS, Martins CP, et al.: Partial body weight-support on a treadmill training in spinocerebellar ataxia. *Rehabil Res Pract.* 2018; 1-8.
- 8) 吉川昌太, 木下篤・他：小脳性運動失調を伴う脳卒中患者に対する体重免荷トレッドミル歩行練習が歩行能力に及ぼす効果—シングルケースデザインによる検討—。理学療法学。2021; 48(4) : 404-412.
- 9) 庄本康治：シングルケースデザインの意義と重要性。理学療法学。2007; 34(4) : 202-205.
- 10) 丁子雄希：作業療法士のための超実践！シングルケースデザイン — 導入から統計手法まで。金芳堂, 京都, 2020, pp. 21-22.
- 11) 浅野智也, 伊藤慎英・他：慢性期脳卒中患者に対するGait Exercise Assist Robot併用練習の効果—シングルケーススタディ ABABデザインによる検討—。理学療法学。2021; 48(4) : 396-403.
- 12) Tarlow RK: An improved rank correlation effect size statistic for single-case design: Baseline Corrected Tau. *Behav Modif.* 2016; 41(4) : 1-41.
- 13) Vannest KJ, Ninci J: Evaluating intervention effects in single-case research designs. *J Couns Dev.* 2015; 93(4) : 403-411.
- 14) Bonnyaud C, Pradon D, et al.; Does a single gait training session performed either overground or on a treadmill induce specific short-term effects on gait parameters in patients with hemiparesis? A Randomized Controlled Study. *Top Stroke Rehabil.* 2013; 20(6) : 509-518.

- 15) Vaz VD, Schettino CR, et al.: Treadmill training for ataxic patients: a single-subject experimental design. *Clin Rehabil.* 2008; 22 (3) : 234-241.
- 16) 久保晃 : トレッドミルの歩行速度の知覚について. *理学療法のための運動生理.* 1991; 6 (1) :33-38.
- 17) 後藤淳 : 運動失調に対するアプローチ. *関西理学療法.* 2014; 14:1-9.
- 18) Stephenson J, Zesiewicz T, et al.; Gait and balance in adults with friedreich's ataxia. *Gait Posture.* 2015; 41 (2) : 603-607.
- 19) Buckley E, Mazzà C, et al.; A systematic review of the gait characteristics associated with cerebellar ataxia. *Gait Posture.* 2018; 60: 154-163.
- 20) 寺西利生, 大塚圭・他 : 脳卒中片麻痺患者に対する部分免荷トレッドミル歩行訓練. *理学療法学.* 2005; 22 (6) : 853-859.
- 21) 長谷公隆 : 運動学習理論に基づくリハビリテーション. *四條畷学園大学リハビリテーション学部紀要.* 2013; 9: 51-56.
- 22) 高草木薫 : 歩行の神経機構Review. *Brain Medical.* 2007, 19 (4) : 307-315.
- 23) Watt RJ, Franz RJ, et al.: A three-dimensional kinematic and kinetic comparison of overground and treadmill walking in healthy elderly subjects. *Clin Biomech.* 2010; 25 (5) : 444-449.