



脳卒中後遺症者に対するACSIVEを併用したトレッドミル練習の効果 — シングルケースデザインを用いた検証 — *

向 涼太¹⁾・細井雄一郎^{2) 3)}

【要 旨】

【目的】脳卒中後遺症者一例に対し、歩行支援機器の一つであるACSIVEを併用したトレッドミル歩行練習が、歩行能力に及ぼす影響を検証した経過を報告する。【方法】対象は60歳代男性、右被殻出血により運動麻痺を呈していた。研究デザインは反復実験計画法ABA型を採用した。A及びA'期の基礎水準期は通常のトレッドミル歩行練習、B期の操作導入期はACSIVEを併用したトレッドミル歩行練習とし、各期6日間実施した。評価項目は歩行速度・歩行時の左右非対称性（Symmetry Index；以下、SI）・生理的コスト指数（Physiological Cost Index；以下、PCI）を算出し、毎日評価を実施した。【結果】歩行速度・SI・PCI共に、A期と比較し、B期で改善傾向を示した。【考察】本症例が歩行速度及び歩行効率が改善した要因として、ACSIVEの振り出しをアシストする機能により、左右対称的なトレッドミル歩行練習を継続できたことが一要因として考えられた。

キーワード：ACSIVE, トレッドミル, 脳卒中後遺症者

緒言

脳卒中後遺症者のうち約60%以上に、歩行障害が残存すると報告されている^{1) 2)}。脳卒中後遺症者の歩行障害は主に、歩行速度低下³⁾、非対称性増加⁴⁾、歩行時の効率性低下⁵⁾が挙げられる。これらの歩行障害は、歩行自立度の低下⁶⁾、転倒リスクの増大⁷⁾、生活範囲の狭小化⁸⁾に繋がると報告されており、脳卒中後遺症者の歩行障害はリハビリテーション治療の中心的課題の一つとされている。

脳卒中治療ガイドライン2021⁹⁾では歩行可能な発症後早期脳卒中後遺症者に対して、歩行速度や耐久性を改善するためにトレッドミル歩行練習を行うことが勧められている（推奨度A）。また、脳卒中治療ガイドライン2021⁹⁾の理学療法に関する部分では、歩行障害を有する脳卒中後遺症者に対してトレッドミル歩行練習は条件付きで推奨されており、特に歩行速度の改善に有効であるとされている。さらに、コクランレビューでも、トレッドミル歩行練習は通常の理学療法と比較して脳卒中後遺症者の歩行速度を向上させることが報告されている¹⁰⁾。このようにトレッドミル歩行練習は、脳卒中後遺症者の歩行速度を改善する手段としてその有効性が確立されている。さらに脳卒中後遺症者に対するトレッドミル歩行練習において、低速度でのトレッドミル歩行練習と比し、高速度でのトレッドミル歩行練習が歩行速度を向上させる有効な方法であると報告されている^{11) 12)}。

一方、脳卒中後遺症者に対する歩行リハビリテーションにおいて歩行支援機器を用いることは多い。歩行支援機器の一つに、無動力支援機器ACSIVE（IMASEN社、ACSIVE；以下、ACSIVE）

* Effects of treadmill training using ACSIVE for patients with stroke -A single-subject experimental design-

1) 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)
Ryota Mukai, PT: Department of Rehabilitation, Ukai Rehabilitation Hospital

2) 慶應義塾大学医学部 リハビリテーション医学教室
Yuichiro Hosoi, PT, MS: Department of Rehabilitation Medicine, Keio University School of Medicine

3) 立命館大学大学院 スポーツ健康科学研究科
Yuichiro Hosoi, PT, MS: Graduate School of Sport and Health Science, Ritsumeikan University

E-mail: r.mukai1204@gmail.com

(受付日 2022年10月3日/受理日 2023年2月22日)



図 1. 無動力支援機器 ACSIVE

がある (図 1)。ACSIVE とは、股関節のバネ機構により立脚期後半で蓄えた弾性エネルギーを用い、前遊脚期の下肢の振り出しをアシストする歩行支援機器であり、装着効果として歩行速度の向上が挙げられる¹³⁾。脳卒中後遺症者や脳性麻痺児を対象とした ACSIVE における装着効果の報告では、歩行速度の向上、遊脚期の股関節最大屈曲モーメント増大を認めると報告されている^{14) 15)}。しかし、ACSIVE を用いた歩行練習方法やその効果について言及した報告は少ない。

今回、中等度の運動麻痺を呈した脳卒中後遺症者一例のリハビリテーションを経験した。本症例は、歩行速度が低下しており、歩行時に麻痺側前遊脚期における努力的な振り出しによる左右非対称性の歩容を呈していた。そこで、ACSIVE を装着した歩行では、股関節のバネ機構により下肢の振り出しをアシストすることができ、歩行時の左右非対称性の改善を認めるのではないかと仮説を立てた。さらに ACSIVE を使用することで麻痺側下肢の振り出しをアシストすることで通常のトレッドミル歩行練習と比べて、高速度でのトレッドミル歩行練習の実施が可能となるのではないかと考えた。そこで今回、本症例に対し通常のトレッドミル歩行練習と ACSIVE を併用したトレッドミル歩行練習を各々実施した経過を報告する。

症例供覧

対象症例は 60 歳代の男性で、右被殻出血の診断で左片麻痺を呈した症例であり、発症後 113 日が経過していた。介入時の運動麻痺は、Brunnstrom Recovery Stage で下肢 IV, Stroke Impairment

Assessment Set (以下 ; SIAS) の下肢運動項目は、股関節 (Hip-Flexion Test) が 4 点、膝関節 (Knee-Extension Test) が 4 点、足関節 (Foot-Pat Test) が 2 点と中等度の運動麻痺を認めた。SIAS の感覚機能は、下肢触覚 (Light touch) が 2 点、下肢位置覚 (Position) が 2 点、SIAS の体幹機能は、垂直性 (Verticality test) が 3 点、腹筋 (Abdominal test) が 3 点と軽度の感覚障害を認めた。非麻痺側下肢の徒手筋力検査 (Manual Muscle Test) においては、股関節屈曲が 5、膝関節伸展が 5 と非麻痺側下肢筋力は保たれていた。認知機能に関しては、ミニメンタルステート検査 (Mini Mental State Examination) が 29/30 点と認知機能面に問題は認めなかった。歩行は、調整機能付き後方平板支柱短下肢装具 (背屈 5° からフリー、セミハード支柱) を装着、T 字杖を使用し歩行練習を実施していた。快適歩行速度は 0.78 m/sec、生理的コスト指数 (Physiological Cost Index ; 以下、PCI) は 0.40 beates/m と歩行速度の低下、歩行効率の低下を認めていた。バランス能力検査 (Berg Balance Scale) は 46/56 点で、機能的自立度評価法 (Functional Independence Measure) は合計 109 点 (運動項目 : 80 点、認知項目 : 29 点) であり、病棟内での歩行は T 字杖を使用して自立していた。

方法

1. 研究デザイン

今回の検証では、シングルケースデザインの一つである反復型実験計画法 ABA 型を採用し、経過を追った。発症後 113 日目より検証を開始し、基礎水準期では通常のトレッドミル歩行練習を 6 日間 (以下、A 期) 行い、操作導入期では ACSIVE を併用したトレッドミル歩行練習を 6 日間 (以下、B 期) 行い、その後通常のトレッドミル歩行練習を 6 日間 (以下、A' 期) 行った。

2. 練習内容

A 期では、1 日 5 単位実施し、練習内容は下肢筋力増強練習、バランス練習、歩行練習を中心に実施した。歩行練習は、歩行補助具なしで短下肢装具の装着下にて実施した。なお、5 単位の内 2 単位で、トレッドミル歩行練習を実施した。トレッドミル歩行練習の 2 単位の内訳は、歩行時間 : 20 分 (10 分 × 2 施行)、歩行練習のための準備 (施行間の休憩) : 10 分程度、実施前後の移動 : 5 分であった。B 期では、ACSIVE を併用したトレッドミル歩行練習を A 期と同様に 1 日 2 単位実施した。ACSIVE を併用したトレッドミル歩行練

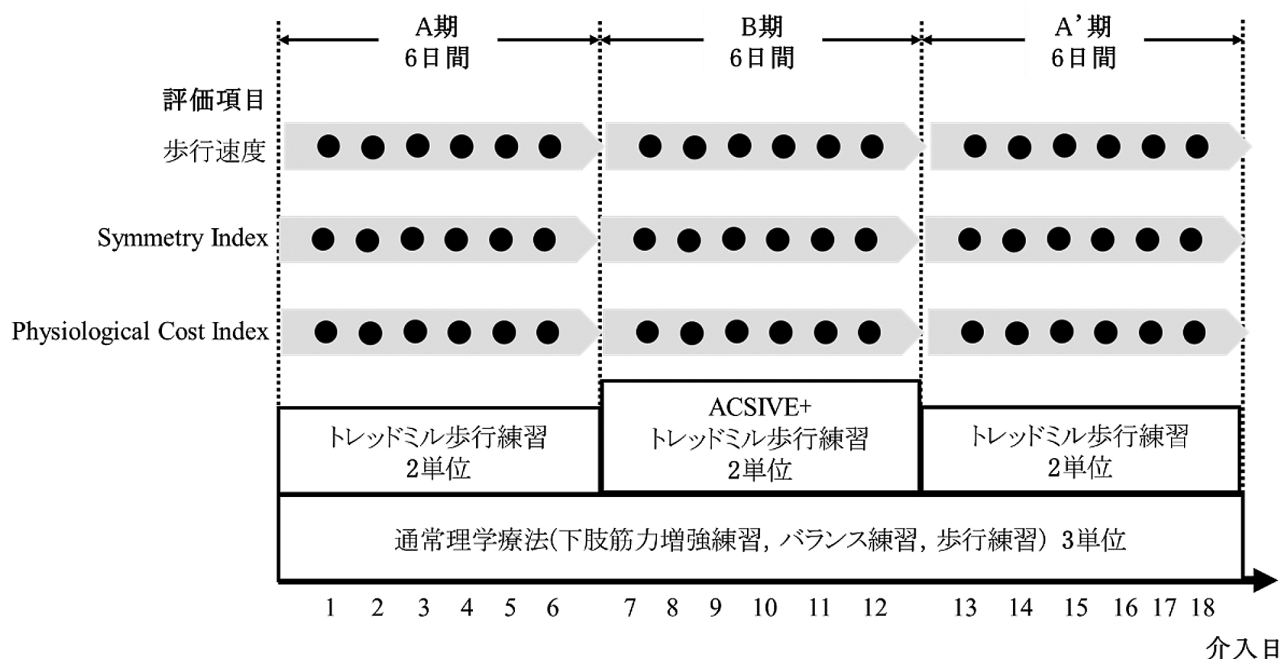


図2. 介入プロトコルならびに各評価項目

習の2単位の内訳は、ACSIVEの装着時間：3分、歩行時間：20分（10分×2施行）、歩行練習のための準備（施行間の休憩）：10分程度、実施前後の移動：5分であった。A'期では、A期と同様に5単位の内2単位でトレッドミル歩行練習を実施した。トレッドミル上の歩行速度の調整に関しては、可能な限り最大速度に設定し実施し、経過と共に練習速度は漸増していった。なお、トレッドミル歩行練習では、安全面の配慮として、対象者は身体に転倒防止ハーネスを装着し、さらにトレッドミルの側方に設定している手すりを把持し練習を実施した。転倒防止ハーネスの懸架量は0kgとし、トレッドミル歩行練習中は転倒防止のため、療法士は対象者の後方で介助ができる位置で見守りを行った。

3. 評価項目

評価項目は、10m歩行速度、歩行時の時間因子として、遊脚期時間のSymmetry Index（以下、SI）、PCI、を各期の介入前に毎日評価を実施した（図2）。10m歩行速度の計測方法は、前後3mの予備路を含めた計16mの直線路で行い、計測の開始を歩行路の開始線を踏む、もしくは開始線を越えた初めの踵接地とし、計測の終了は終了線を踏む、もしくは終了線を越えた初めの踵接地までとして、ストップウォッチ（CASIO社、ストップウォッチHS-3C-8AJH）を用いて計測を行った¹⁶⁾（図3）。歩行速度は、快適速度とし3回計測を行

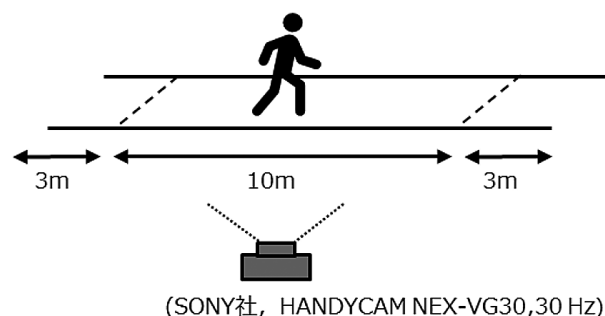


図3. 歩行評価の計測方法

い、歩行時間と歩数を計測し、速度を算出した。歩行時の時間因子は、3回計測した快適歩行速度の平均を対象とした。歩行時の時間因子の算出は、ビデオカメラ（SONY社、HANDYCAM NEX-VG30、30 Hz）で撮影した動画の内、歩行路の中間5歩行周期を解析対象として採用し、検査者1名にて動画編集ソフト（Microsoft社、Windowsムービーメーカー）を用いて目視にて算出した。解析に用いた時間因子は得られた各計測値の平均値とし、遊脚期時間の平均値からSIを算出した。なお、SIは先行研究に準じて $\{(麻痺側立脚期時間 - 非麻痺側立脚期時間) / 0.5 \times (麻痺側立脚期時間 + 非麻痺側立脚期時間)\} \times 100$ の式で算出した¹⁷⁾。SIは値が高い程、非対称性であることを示す。PCIの測定方法は、1周20mの楕円路で行った。計測前に心拍計（フォーカルポイント社、wahoo）を装着し、5分程度安静を保った後、ス

トップウォッチを用いて 3 分間計測し歩行を行った¹⁶⁾。得られた歩行速度、安静時および歩行時の心拍数より PCI を算出した¹⁸⁾。

4. 統計学的検討

統計学的検討には、A 期と B 期のそれぞれで回帰直線を用いて、その傾きを求め目視にて検討した。さらに Percentage of Non - overlapping Data (以下、PND) を用いて介入効果を検討した。PND とは A 期の上位数を基準とし、B 期でのデータ数と、基準を上回るデータ数との割合で効果量を算出する方法であり、先行研究の評価基準に基づき、効果量から介入効果を検証した¹⁹⁾。

5. 倫理的配慮、説明と同意

ヘルシンキ宣言に基づき、対象者の保護には十分留意し、本検証の要旨について患者及び家族へ口頭で十分に説明を行い、書面にて同意を得た。また、本検証は医療法人珪山会鶴飼リハビリテーション病院倫理委員会の承認 (0013 号) を得た上で、実施した。

結果

初めに、図 4 に練習の経過を示す。各期における歩行練習量は、A 期は 320.6 ± 20.2 m、B 期は 390.5 ± 24.4 m、A' 期は 367.5 ± 11.9 m と A 期と比べて B 期において歩行練習量の増大を認め、B 期では A 期と比べて速い速度でのトレッドミル歩行練習を実施することができた。

続いて表 1 に経過の結果を示す。本症例の経過より、歩行速度は、A 期の開始時点、A 期の終了時点、B 期の終了時点の順に、 0.78 m/s、 0.92 m/s、 1.15 m/s と経過と共に改善を認めた。図 5 の各期での回帰直線の傾きの比較では、A 期と比べ B 期において傾きは大きく、また PND により検討した結果、割合は 83% と高い介入効果を示した。SI は、A 期の開始時点、A 期の終了時点、B 期の終了時点の順に、37.9%、40.5%、11.0% と経過と共に

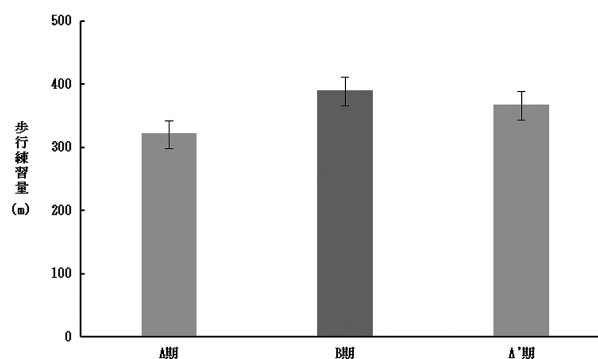


図 4. 各期における歩行練習量の推移

各期のトレッドミル歩行練習における歩行練習距離の平均値

改善を認めた。図 6 の各期での回帰直線の傾きの比較では、A 期と比べ B 期において傾きは大きく、また PND により検討した結果、割合は 100% と高い介入効果を示した。PCI は、A 期の開始時点、A 期の終了時点、B 期の終了時点の順に、 0.4 beats/m、 0.51 beats/m、 0.37 beats/m と経過と共に改善を認めた。図 7 の各期での回帰直線の傾きの比較では、A 期と比べ B 期において傾きは大きい、PND により検討した結果、割合は 33% と介入効果は示さなかった。

考察

今回、歩行速度・歩行効率の低下した脳卒中後遺症者一例に対し、通常のトレッドミル歩行練習と ACSIVE を併用したトレッドミル歩行練習を各々実施し、経過を比較した。その結果、一症例の経過ではあるが、通常のトレッドミル歩行練習と比較し、ACSIVE を併用したトレッドミル歩行練習において、歩行速度・歩行効率の向上を認めた。

脳卒中後遺症者の歩行速度は、麻痺側の立脚時間の減少や下肢荷重の減少、遊脚時間の増加を示す一方、非麻痺側では立脚時間の増加や歩幅の減少を示し、その結果歩行速度が低下すると報告されている²⁰⁾。また、歩行速度が低下している脳卒

表 1. 本症例における各期の評価項目の経過

	A 期		B 期	A' 期
	開始時	終了時	終了時	終了時
歩行速度 (m/s)	0.78	0.92	1.15	1.04
Symmetry Index (%)	37.9	40.5	11.0	19.9
Physiological Cost Index (beats/m)	55.8	60.5	55.5	58.6

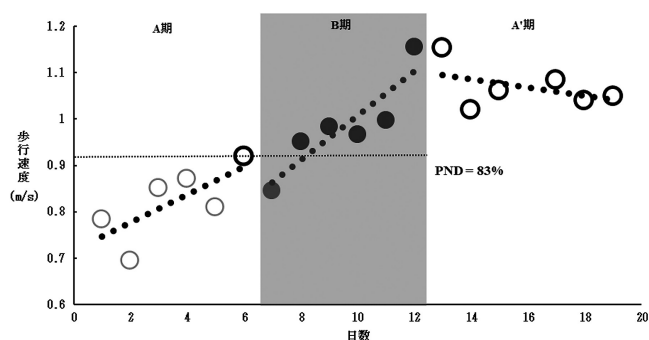


図5. 各期における歩行速度の経過及び Percentage of Non - overlapping Data 法の結果

…：各期における回帰直線

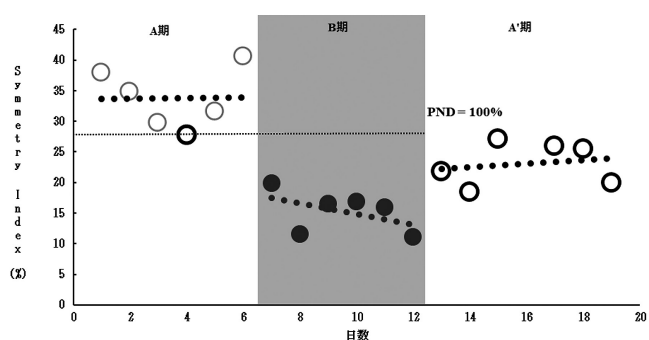


図6. 各期における Symmetry Index の経過及び Percentage of Non - overlapping Data 法の結果

…：各期における回帰直線

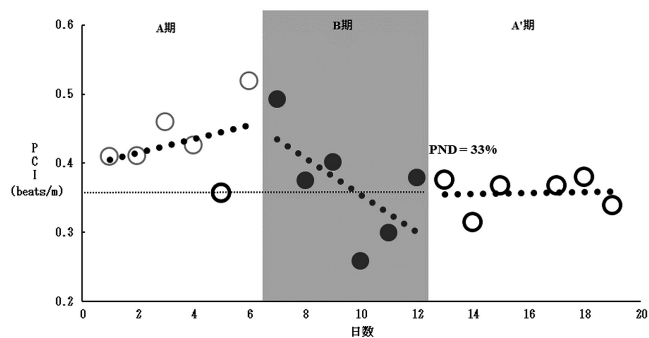


図7. 各期における Physiological Cost Index の経過及び Percentage of Non - overlapping Data 法の結果

…：各期における回帰直線

中後遺症者は、歩行周期における麻痺側下肢の前遊脚期の占める割合が多く、麻痺側下肢の振り出しに時間を要すると報告している²¹⁾。今回、本症例の歩行速度の経過から通常のトレッドミル歩行練習と比し、ACSIVEを併用したトレッドミル歩行練習において、歩行速度の改善傾向を示した。本症例は、ACSIVEの装着により麻痺側下肢の振

り出しが補助された結果、麻痺側下肢の振り出しの短縮が生じ、高速度でのトレッドミル歩行練習を実施することができ、高速度でのトレッドミル歩行練習の効果を得ることができた可能性が示唆された。さらに、トレッドミルは自動でベルトが回り、その上を歩く機器であることから、歩行中においてベルトが後方へ下がることで、立脚期における股関節伸展角度の増大を認めると報告されている²²⁾。ACSIVEは、立脚中期から立脚終期にかけて股関節の伸展により、バネの伸張力が蓄積される。これらのことから、トレッドミル上でACSIVEを併用することで、平地と比べ、よりACSIVEの効果を得られ下肢の振り出しが円滑となり、高速度でのトレッドミル歩行練習が可能となった可能性が示唆された。歩行可能な脳卒中後遺症者のトレッドミル歩行練習において過去の報告では、トレッドミル速度が低速度で実施する群と高速度で実施する群、0.50～2.00 km/hの間で速度を変化させる群の3群で練習効果を比較しており、高速度で実施した群は他の2群と比較して快適歩行速度の変化量が有意に大きく、快適歩行速度の変化量は、身体機能や開始時の歩行速度に加えて、練習中の速度と関連していたことを報告している²³⁾。以上より、トレッドミル歩行練習は高速度に設定し実施することが望ましいと考えられ、本検証においても高速度でのトレッドミル歩行練習が歩行速度向上に寄与した可能性が示唆された。

ACSIVEを併用したトレッドミル歩行練習により、歩行時の左右非対称性、歩行効率は改善傾向を示した。脳卒中後遺症者の歩行効率と関連するものは左右対称性や歩行速度が挙げられ、中でも歩行時の非対称性は効率性に関わる重要な因子とされている^{5) 10) 24)}。本症例は麻痺側下肢の振り出しをアシストするACSIVEを使用し左右対称での歩行練習を繰り返し実施した結果、歩行時の非対称性が改善したと考えられた。さらに、脳卒中後遺症者に対するトレッドミル歩行練習は、歩行速度や耐久性向上のみではなく、一定速度のベルトを追従するように運動を調整する為、トレッドミル上での歩行において、麻痺側と非麻痺側の対称性が改善すると報告されている²⁵⁾。以上より、本症例はACSIVEを併用した高速度でのトレッドミル歩行練習を実施した結果、歩行時の非対称性及び耐久性の改善を示したことが歩行効率の改善に寄与した可能性が示唆された。

今回、本症例はACSIVEを併用したトレッドミル歩行練習を実施した結果、歩行速度、歩行時の

左右非対称性，歩行効率の改善を認めた．これらの結果から，ACSIVE はトレッドミル歩行練習と併用することで，ACSIVE の效能を活かした有効な歩行練習を実施することができる可能性が示唆された．しかし，本症例は，一症例での検証であった為，今後評価方法を再考し，更に症例数を増やして検討をしていく必要があると考えられる．

結論

本症例に対する ACSIVE を併用したトレッドミル歩行練習は，ACSIVE の效能を活かし通常のトレッドミル歩行練習と比べて高速度でのトレッドミル歩行練習が実施可能となり，歩行速度，歩行効率の改善に寄与した可能性が示唆された．

【文 献】

- Hendricks HT, van Limbeek J, et al.: Motor recovery after stroke: a systematic review of the literature. *Arch Phys Med Rehabil.* 2002; 83 (11): 1629-1637.
- Schaechter JD: Motor rehabilitation and brain plasticity after hemiparetic stroke. *Prog Neurobiol.* 2004; 73 (1): 61-72.
- Olney SJ, Richards C: Hemiparetic gait following stroke. Part I Characteristics. *Gait Posture.* 1996; 4 (2): 136-148.
- Wall JC, Turnbull GI: Gait asymmetries in residual hemiplegia. *Arch Phys Med Rehabil.* 1986; 67: 550-553.
- Ellis RG, Howard KC, et al.: The metabolic and mechanical costs of step time asymmetry in walking. *Proc Biol Sci.* 2013; 13: 280.
- Wonsetler EC, Bowden MG: A systematic review of mechanisms of gait speed change post-stroke. Part 1: spatiotemporal parameters and asymmetry ratios. *Top Stroke Rehabil.* 2017; 24 (6): 435-446.
- Salbach NM, Mayo NE, et al.: Responsiveness and predictability of gait speed and other disability measures in acute stroke. *Archives of physical medicine and rehabilitation.* 2001; 82 (9): 1204-1212.
- Studenski S, Wallace D, et al.: Gait speed as a clinical vital sign in the care of older adults. *J Am Geriatr Soc.* 2002.
- 日本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. 263-264.
- Mehrholz J, Thomas S, et al.: Treadmill training and body weight support for walking after stroke. *Cochrane Database Syst Rev.* 2017; Aug 17; 8 (8).
- Globas C, Becker C, et al.: Chronic stroke survivors benefit from high-intensity aerobic treadmill exercise: a randomized control trial. *Neurorehabil Neural Repair.* 2012; Jan; 26 (1): 85-95.
- Sullivan KJ, Knowlton BJ, et al.: Step training with body weight support: effect of treadmill speed and practice paradigms on poststroke locomotor recovery. *Arch Phys Med Rehabil.* 2002; May; 83 (5): 683-691.
- 佐野明人：受動歩行由来の無動力歩行支援機 ACSIVE (アクシブ)．理学療法ジャーナル．2015; 49: 889-895.
- 石黒正樹，岡本信弥・他：股関節伸展アシスト型歩行支援機器 ACSIVE を用いた荷重応答期における股関節伸展モーメントのアシストが脳卒中片麻痺患者の歩行に及ぼす影響について．日本義肢装具学会誌．2020; 36 (2): 146-149.
- 伊藤忠，鈴木光久・他：脳性麻痺児における歩行アシスト装具 ACSIVE の効果：三次元歩行分析を用いた1症例研究．保健医療学雑誌．2020; 11 (2): 136-144.
- 内山靖，小林武・他：臨床評価指標入門：適用と解釈のポイント (初版)．協同医書出版，東京，2003，pp. 127-133, pp. 143-147.
- Kim CM, Eng JJ: Symmetry in vertical ground reaction force is accompanied by symmetry in temporal but not distance variables of gait in persons with stroke. *Gait Posture.* 2003, 18 (1): 23-28
- Robinson RO, Herzog W, et al.: Use of force platform variables to quantify the effects of chiropractic manipulation on gait symmetry. *J Manipulative Physiol Ther.* 1987: 172-176.
- Scruggs TE, Mastropieri MA, et al.: The quantitative synthesis of single-subject research. *Remedial and Special Education.* 1987; 8: 24-43.
- Craik RL, Oatis CA: Gait analysis. Theory and application. Mosby, Missouri. 1995: 412-419.
- 松永貴史：脳卒中片麻痺患者の歩容に関する一考察．愛知県理学療法学会誌．2008; 20 (3): 154-159.
- Mao YR, Lo WL, et al.: The Effect of Body Weight Support Treadmill Training on Gait

- Recovery, Proximal Lower Limb Motor Pattern, and Balance in Patients with Subacute Stroke. *Biomed Res Int.* 2015; Nov16.
- 23) Sullivan KJ, Knowlton BJ, et al.: Step training with body weight support: effect of treadmill speed and practice paradigms on poststroke locomotor recovery. *Arch Phys Med Rehabil.* 2002; 83: 683-691.
- 24) Tally Z, Boetefuer L, et al.: The efficacy of treadmill training on balance dysfunction in individuals with chronic stroke: a systematic review. *Top Stroke Rehabil.* 2017; 24: 539-546.
- 25) Barbeau H, Visintin M: Optimal outcomes obtained with body-weight support combined with treadmill training in stroke subject. *Arch Phys Med Rehabil.* 2003; 84 (10) : 1458-1465.