

生活期脳卒中片麻痺者における電動アシスト付短下肢 装具使用による歩行練習の効果検証

*Evaluation of the Effect of Walking Exercise Using an Ankle Foot Orthosis
with Electric Assistance for Chronic Hemiplegic Stroke Patients*

丸山 勇^{1,2)} 飯田 修平¹⁾ 窪川 徹¹⁾ 青木 主税¹⁾

ISAMU MARUYAMA, RPT^{1,2)}, SHUHEI IIDA, RPT¹⁾, TORU KUBOKAWA, RPT¹⁾, CHIKARA AOKI, RPT¹⁾

¹⁾ Department of Physical Therapy, Graduate School of Science for Health, Teikyo Heisei University: 2-51-4 Higashi-Ikebukuro, Toshima-ku, Tokyo 170-8445, Japan TEL +81 3-5843-4874 E-mail: karubi_pt@yahoo.co.jp

²⁾ Long-Term Care Health Facility Iruakāsa

Rigakuryoho Kagaku 36(4): 527-532, 2021. Submitted Jan. 6, 2021. Accepted Mar. 10, 2021.

ABSTRACT: [Purpose] This was a preliminary study to clarify the effect of walking exercise using an ankle foot orthosis (AFO) with electric assistance that assists ankle plantar flexion and dorsiflexion movements according to the walking cycle. [Participants and Methods] Twelve chronic hemiplegic stroke patients performed walking exercise using an AFO with electric assistance. The comfortable walking speed, Timed Up and Go test, and walking video analysis (step length, single leg support period time, walking rate, and leg joint angles) were evaluated before and after the intervention, and 2 and 4 weeks after the intervention, and compared. [Results] The comfortable walking speed was significantly different 4 weeks after the intervention, and the hip flexion angle of the terminal stance (TSt) on the paralyzed side was significantly different at 2 and 4 weeks after the intervention. [Conclusion] The results suggest that walking exercise using an AFO with electric assistance may affect the change in hip flexion angle on the paralyzed side of TSt, and further studies on how to use it are required.

Key words: ankle foot orthosis with electric assistance, hemiplegic stroke patient, walking exercise

要旨: [目的] 歩行周期に合わせて足関節底屈・背屈運動をアシストする電動アシスト付短下肢装具 (AFO) を使用した歩行練習の効果を明らかにするための予備研究とした。[対象と方法] 生活期脳卒中片麻痺者 12 名に対し、電動アシスト付 AFO を使用した歩行練習を実施した。介入前後、介入 2・4 週間後に快適歩行速度、Timed “Up and Go” test、歩行動画解析 (歩幅、単脚支持期時間、歩行率、麻痺側下肢関節角度) を計測し、経過比較した。[結果] 快適歩行速度が介入 4 週間後、立脚終期の麻痺側股関節屈曲角度が介入 2・4 週間後にそれぞれ有意な差を認めた。[結語] 電動アシスト付 AFO を使用した歩行練習を行うことは、立脚終期の麻痺側股関節屈曲角度変化に影響する可能性が示唆されたとともに、使用方法等についてさらなる検討が必要となった。

キーワード: 電動アシスト付短下肢装具、脳卒中片麻痺者、歩行練習

¹⁾ 帝京平成大学大学院 健康科学研究科 理学療法専攻: 東京都豊島区東池袋 2-51-4 (〒170-8445)
TEL 03-5843-4874

²⁾ 介護老人保健施設イルアカーサ



I. はじめに

近年、神経科学とその関連の研究によって明らかになった理論等の知見をリハビリテーション医療に応用していくニューロリハビリテーションという概念が提唱された。その代表的なものの一つとして、ロボットを使用したリハビリテーションが挙げられる¹⁾。脳卒中治療ガイドライン2015²⁾では、「歩行補助ロボットを用いた歩行訓練は発症3ヵ月以内の歩行不能例に勧められる」がグレードB（行うよう勧められる）とされた。

歩行支援型ロボットには、骨盤帯から両下肢を覆う両脚のタイプ（以下、両脚型歩行ロボット）と膝関節、足関節、腰部などの局所的な動きを補助する単脚・局所タイプ（以下、単脚・局所型歩行ロボット）がある³⁾。脳血管障害に対する両脚型歩行ロボットの報告では、Hocoma社製のLokomat[®]を用いた報告⁴⁾や、CYBERDYNE社製のHAL[®]を用いた報告^{5,6)}がある。両者はランダム化比較試験による報告で、Lokomat[®]は従来のリハビリとの有意差はなかったが、HAL[®]は歩行スピードや脳卒中者の歩行能力評価であるFunctional Ambulation Categoriesにおいて有意な向上が認められた。一方、単脚・局所型歩行ロボットの報告は、ロボット型長下肢装具を用いたランダム化比較試験による報告⁷⁾のみである。

ロボットの定義は、「センサー、知能・制御系、駆動系の3つの要素技術を有する知能化した機械システム」⁸⁾とされる。近年では短下肢装具にもこのロボット技術が応用され、歩行周期に合わせて足部の動きをアシストする電動アシスト付短下肢装具が開発されている。電動アシスト付短下肢装具には、株式会社安川電機社製の足首アシスト装置「CoCoroe AAD（以下、AAD）」⁹⁾や、スペース・バイオ・ラボラトリーズ社製のRE-Gait^{®10)}が挙げられる。これらの装置は、下肢に装着する短下肢装具と腰に装着するコントローラで構成され、短下肢装具の足底には荷重センサーが設置されており、その情報を基に歩行中の足関節底屈・背屈運動をモーターでアシストする。これまで片麻痺患者に対して電動アシスト付短下肢装具を使用した歩行練習の効果として、歩行速度や歩幅・単脚支持期時間の左右対称性の向上を認める傾向があると報告されているが、それらは全て症例報告や学会での介入報告である。

そのため本研究では、電動アシスト付短下肢装具を使用した歩行練習の効果を明らかにするための予備研究として、生活期の脳卒中片麻痺者を対象に電動アシスト付短下肢装具を使用した歩行練習を行い、その効果を非独立二群の介入前後比較にて検証した。

II. 対象と方法

1. 対象

対象は、2018年7月～2018年11月の間に社会医療法人社団慈生会の通所リハビリテーションイルアカーサおよび通所リハビリテーション常楽を利用していた脳卒中片麻痺者12名とした。

設定基準は、①通所リハビリテーションを週2回以上利用しており、短期集中リハビリテーション加算の算定外である者、②発症から6ヵ月以上経過している者、③株式会社安川電機が推奨している電動アシスト付短下肢装具の適応となる身体機能を有する者（麻痺側下肢Brunnstrom Recovery Stage（以下、BRS）Ⅲ以上、麻痺側足関節背屈可動域0°以上、下腿三頭筋のModified Ashworth Scale（以下、MAS）2以下、Stroke Impairment Assessment Set（以下、SIAS）下肢触覚1以上）、④快適歩行速度の測定が可能な歩行能力を有する者（自立または見守りで12 m以上の屋内整地を歩行可能）、⑤研究内容を理解し参加同意の意思表示をした者とした。

除外基準は、①高次脳機能障害、認知症等により電動アシスト付短下肢装具について理解不能な者、②整形外科疾患等により下肢に疼痛や変形がある者、③歩行に影響を与える循環器疾患、呼吸器疾患がある者とした。

倫理的配慮には、帝京平成大学倫理委員会より承認（30-038）を受けて実施した。対象者には研究の趣旨、方法、予想されるリスク・参加協力の自由意思について記載した説明文書を配布し、口頭で説明を行った。

2. 方法

研究デザインは、非独立2群介入前後比較とした。研究期間は電動アシスト付短下肢装具を使用した介入期間の4週間、その後の持続効果の評価期間の4週間の計8週間とした。介入期間は、介入前より実施している理学療法（関節可動域練習、筋力強化練習、歩行練習等）20分に加えて、電動アシスト付短下肢装具を使用した歩行練習を15分（連続歩行3分×3セット、セット間休憩2分）を週2回、合計8回実施した。評価は、介入前、介入後（4週間）、介入2週間後と介入4週間後の計4回行った。介入後評価以降は、電動アシスト付短下肢装具を使用した歩行練習の持続効果の有無を検証するために、介入前より実施している理学療法20分のみを実施した。装具を使用している対象者は介入前後において足継手の設定等に変更しないようにした。

電動アシスト付短下肢装具にはAADを使用した（図1）。本装置は、短下肢装具の足底の荷重センサーからの情報を基に、歩行周期に合わせてモーターで足関節底屈・背屈運動をアシストする。足関節周囲の緊張が高い者（下腿三頭筋のMAS 2以上）や、足関節背屈可動域が0°未満の者、麻痺が強く膝折れがみられるような



図1 CoCoroe AAD

<https://www.e-mechatronics.com/cocoroe/aad/>より引用。
株式会社安川電機より許可を得て転載。

者 (BRS Ⅲ以下) には、アシストが十分に機能しないことから適応外となっている。本装置のアシストは初期接地 (initial contact: 以下, IC), 立脚中期 (mid stance: 以下, MSt), 立脚終期 (terminal stance: 以下, TSt), 遊脚期 (swing: 以下, SW) の4つの相において各々、足関節の底屈・背屈角度、アシスト力 (トルク) が設定可能である。また、SWの足関節背屈運動速度を3段階から調整する。アシストの内容は、ICでは踵接地の誘導、MStでは下腿の前方への押し出し、TStでは蹴り出し、SWではつま先の引っ掛かり改善とクリアランスの確保である。

本研究では、通所リハビリテーションイルアカーサおよび通所リハビリテーション常楽に従事する理学療法士3名 (経験年数: 4~6年目) に対して、著者が電動アシスト付短下肢装具の使用方法について説明し、説明を受けた理学療法士が、対象者の歩行状態を観察して個別に設定を行った。介入前に初期設定を行い、必要であれば介入中の設定変更を許可した。電動アシスト付短下肢装具使用の歩行練習は、前述の理学療法士が屋内の整地で行った。

基本属性はカルテより年齢、性別、診断名、麻痺側、発症から介入前評価までの期間を調査した。身体機能として、下肢BRS、下腿三頭筋MAS、下肢触覚 (SIAS)、麻痺側足関節背屈可動域、装具使用の有無、Functional Independence Measure (以下, FIM) 移動得点を評価した。歩行練習の効果検証として、快適歩行速度、Timed "Up and Go" test (以下, TUG) の測定と歩行動画解析を行った。

快適歩行速度は、10 mの測定区間の前後にそれぞれ1 mずつの予備路を設けた平坦な歩行路を快適な速度で歩行し、10 mの所要時間をストップウォッチを用いて計測した。測定の開始と終了のストップウォッチを止め

るタイミングは、半田の方法¹¹⁾を参考に、開始は対象者のつま先がスタートラインを越えた時、終了は対象者の踵が完全にエンドラインを越えた時とした。2回計測して平均値を求め、単位はm/secとした。

TUGは、Podsiadloらによって改変された方法¹²⁾で行った。背もたれのある座面高43 cmの椅子に、背中を背もたれにつけて座った状態から、最大歩行速度で3 m先の目印を回り、再び椅子に座って背もたれに背中をつけるまでの所要時間を、ストップウォッチを用いて計測した。測定の開始と終了のストップウォッチを止めるタイミングは、開始は対象者の背中が背もたれから離れた時とし、終了は対象者の背中が背もたれについた時とした。コーンを回る方向は対象者の回りやすい方向で実施した。2回計測して平均値を求め、単位はsecとした。快適歩行速度、TUGともに日常生活において杖や装具等の補助具を使用している場合にはそれらを使用した。

歩行動画解析は、快適速度での歩行を非麻痺側と麻痺側各々の矢状面より動画撮影を行った。撮影には、三脚とデジタルカメラ (DSC-WX50, SONY社製) を使用した。歩行路までの撮影距離は3 m 20 cmとし、対象者には直線5 mの屋内整地の歩行路を連続1往復歩行させた。撮影時に、麻痺側の肩峰・大転子・膝関節裂隙・外果にランドマークとして、約1.8立方cmにカットしたビニールテープを貼り付けた。外果が装具に覆われている場合は装具に貼り付けた。映像分析ソフトウェア Dartfish Software (ダートフィッシュ・ジャパン社製) を用いて、非麻痺側と麻痺側の歩幅・単脚支持期時間、歩行率、歩行中の麻痺側下肢関節の角度を計測した。麻痺側下肢関節の角度は、ICの股関節角度 (以下, IC股関節角度), MStの股関節・膝関節角度 (以下, MSt股関節角度・MSt膝関節角度), TStの股関節角度 (以下, TSt股関節角度), 遊脚中期 (mid swing: 以下, MSw) の股関節・膝関節角度 (以下, MSw股関節角度, MSw膝関節角度) を計測した。関節角度の計測基準はGötz-Neumannの定義¹³⁾を参考に、ICは「脚が地面に接触する瞬間」、MStは「反対側の脚が地面から離れた瞬間」、TStは「観察肢の踵が床から離れた瞬間」、MSwは「両側の下腿が矢状面で交差した瞬間」とした。股関節角度の計測は、肩峰・大転子を結ぶ線と外果・大転子を結ぶ線の交わる角度 (プラスが屈曲、マイナスが伸展) とした。膝関節角度の計測は、大転子・膝関節裂隙を結ぶ線と外果・膝関節裂隙を結ぶ線の交わる角度とした。計測は各々、直線5 mの歩行路間で中間の3歩行周期分の平均値を求めた。単位は、歩幅はcm、単脚支持期時間はsec、歩行率はsteps/secとした。

介入前、介入後、介入2週間後、介入4週間後の各データ (快適歩行速度、TUG、非麻痺側・麻痺側歩幅、歩行率、非麻痺側・麻痺側単脚支持期時間、麻痺側下肢関節角度) について、Bonferroniの方法を用いて多重比較

検定を行った。統計解析にはSPSS Statistics ver.21 (IBM社製)を使用し、すべての有意水準は5%とした。

III. 結果

対象者12名の基本属性を表1に示す。装具使用者7名の装具の種類は金属支柱付き短下肢装具1名、プラスチック短下肢装具6名であった。快適歩行速度とTUGの結果を表2に示す。快適歩行速度では、介入前評価と介入4週間後評価の間に有意な差を認めた ($p < 0.05$)。TUGにおいては、全評価期間において有意な差は認められなかった。

歩行動画解析の結果を表3に示す。非麻痺側・麻痺側歩幅、歩行率、非麻痺側・麻痺側単脚支持期時間について、全評価期間で有意な差は認められなかった。麻痺側下肢関節角度はTSt股関節角度において、介入前評価と介入2週間後評価、介入前評価と介入4週間後評価の間にそれぞれ屈曲方向に有意な差を認めた ($p < 0.05$)。

IV. 考察

本研究は、電動アシスト付短下肢装具を使用した歩行練習の効果を明らかにするための予備研究とし、生活期の脳卒中片麻痺者を対象に電動アシスト付短下肢装具を使用した歩行練習を、週2回の合計8回の4週間介入し、

介入前、介入後、介入2週間後、介入4週間後の計4回の評価を行った。介入前評価に比べ、快適歩行速度の介入4週間後評価、TStの麻痺側股関節屈曲角度の介入2週間後・4週間後評価の間に、それぞれ有意な差を認めた。

快適歩行速度においては、快適という曖昧な条件設定ゆえに精神的、またはその日の体調などの身体的な要素の影響も生じる可能性があり、データの取り扱いには慎重に行う必要がある。今回は介入4週間後評価において快適歩行速度の向上を認めたが、介入後と介入2週間後評価においては向上を認めていないことから、電動アシスト付短下肢装具を使用した歩行練習による効果とは言い切れない。本研究の対象者12名は、発症から平均1602日が経過し、屋内歩行が見守り以上で可能な者を対象とした。運動学習の重要な要素として、練習の量とその繰り返しが挙げられ¹⁴⁾、脳卒中患者の運動学習においても、健常者と同様の運動学習過程を経ながら動作を学習する¹⁵⁾ことが報告されている。電動アシスト付短下肢装具は、歩行中の効率的な足関節底屈・背屈運動をアシストすることで運動学習を促し、通常歩行練習にも効率的な足関節底屈・背屈運動が維持・反復され、結果として歩行能力の向上につながることを期待される。

本研究の介入後と介入2週間後評価において向上が認められなかった原因として、生活期の脳卒中片麻痺者に対し、今回の電動アシスト付短下肢装具を使用した歩行

表1 対象者の属性の結果

年齢 (歳)	70.7 ± 8.3 (48-81)
性別 (男性/女性:名)	8/4
診断名 (脳梗塞/脳出血/くも膜下出血:名)	7/4/1
麻痺側 (右/左:名)	5/7
発症~介入前期間 (日)	1602 ± 606 (618-2701)
下肢BRS (Ⅲ/Ⅳ/Ⅴ:名)	3/7/2
下腿三頭筋MAS (1+/1:名)	7/5
SIAS 下肢触覚 (1/2/3:名)	2/8/2
足関節背屈ROM (0/5/10/45°:名)	2/4/5/1
装具使用有無 (有/無)	7/5
FIM 移動得点 (5/6/7点:名)	3/7/2

平均値 ± 標準偏差 (最小値 - 最大値)。BRS: Brunnstrom Recovery Stage, MAS: Modified Ashworth Scale, SIAS: Stroke Impairment Assessment Set, ROM: range of motion, FIM: Function Independence Measure.

表2 快適歩行速度とTUGの数値結果

	介入前	介入後	2週間後	4週間後
快適歩行速度 (m/sec)	0.49 ± 0.24	0.50 ± 0.25	0.50 ± 0.22	0.53 ± 0.27*
TUG (sec)	24.2 ± 10.8	22.7 ± 9.6	22.7 ± 9.2	21.3 ± 9.4

平均値 ± 標準偏差。TUG: Timed up and go test. *: 多重比較検定 ($p < 0.05$)。

表 3 歩行動画解析の結果（非麻痺側・麻痺側歩幅，歩行率，非麻痺側・麻痺側単脚支持期時間，麻痺側下肢関節角度）

	介入前	介入後	2週間後	4週間後
非麻痺側歩幅 (cm)	41.3 ± 22.4	42.1 ± 22.5	43.5 ± 24.4	44.6 ± 24.1
麻痺側歩幅 (cm)	41.4 ± 22.1	43.1 ± 22.4	42.6 ± 22.1	44.3 ± 22.7
歩行率 (steps/sec)	1.28 ± 0.32	1.24 ± 0.29	1.26 ± 0.30	1.23 ± 0.22
非麻痺側単脚支持期 (sec)	0.52 ± 0.11	0.50 ± 0.11	0.52 ± 0.10	0.52 ± 0.10
麻痺側単脚支持期 (sec)	0.36 ± 0.07	0.35 ± 0.06	0.36 ± 0.07	0.37 ± 0.08
IC 股関節 (°)	21.6 ± 9.5	19.6 ± 9.4	22.8 ± 8.9	21.1 ± 8.8
MSt 股関節 (°)	14.1 ± 8.4	14.2 ± 8.5	14.8 ± 8.0	15.0 ± 8.0
MSt 膝関節 (°)	14.1 ± 9.7	12.2 ± 9.3	13.4 ± 12.1	15.0 ± 9.4
TSt 股関節 (°)	5.1 ± 9.1	6.5 ± 8.7	9.5 ± 8.7*	9.6 ± 9.4*
MSw 股関節 (°)	20.3 ± 8.7	20.1 ± 8.3	21.2 ± 8.7	21.3 ± 8.4
MSw 膝関節 (°)	31.8 ± 22.2	29.2 ± 17.5	27.5 ± 18.3	30.1 ± 15.1

平均値 ± 標準偏差. IC : initial contact, MSt : mid stance, TSt : terminal stance, MSw : mid swing. * : 多重比較検定 ($p < 0.05$).

練習の頻度や期間では動作の変容をもたらすには不十分であった可能性と、電動アシスト付短下肢装具を使用した歩行練習自体が通常の歩行練習と比べて有意な違いがないという可能性の両面が考えられる。前者においては、練習頻度と期間の再検討が必要であること、後者においてはランダム化比較試験での検討が必要であることが今後の課題として挙げられる。

正常歩行のTStにおいて、股関節角度は伸展 20° と報告されているが¹³⁾、今回の結果では、介入2週間後・4週間後評価において股関節屈曲角度の増大を認めた。電動アシスト付短下肢装具は、MStでは足関節背屈運動のアシストにより下腿を前方に押し出し、TStでは足関節底屈運動のアシストにより床を蹴り出し、SWでは足関節背屈運動のアシストにより下肢の振り出しを促す。MStでは前方への推進力をサポートするために足関節背屈運動のアシストを行い下腿を前方へ押し出すが、TStにかけて膝関節屈曲角度が増大され、結果としてTStの股関節屈曲角度の増大につながった可能性が挙げられる。そのため、TStの膝関節角度の計測も今後の課題として挙げられる。また、TStからSWでは足関節背屈運動のアシストにより下肢の振り出しが促され、股関節屈曲方向への力が大きく働く。そのため、TStにおいては股関節屈曲方向へ誘導された可能性も考えられる。

本研究で使用した電動アシスト付短下肢装具は、装具足底の前足部と踵部の荷重センサーの情報を基に、設定した歩行周期に合わせて足関節底屈・背屈運動をアシストする。そのため、MStからTStへの移行期に早期に踵が浮いてしまうと踵部の荷重センサーが反応し、TStの足関節底屈運動のアシストからSWの足関節背屈運動のアシストへと移行してしまう。その点を考慮すると、電動アシスト付短下肢装具を使用した歩行練習では、

MStからTStにかけて早期に踵が浮かないように工夫する必要があると考えられる。また、対象者の歩容に応じた歩行周期別のアシスト量の設定など、随時検討していく必要があると考えられる。

これまでの症例報告^{16,17)}では、回復期病棟に入院する脳卒中患者を中心に連続5日間1日15分間の電動アシスト付短下肢装具を使用した歩行練習を行い、快適歩行速度や歩幅と片脚支持時間の左右対称性割合の向上が報告されている。これまでの症例報告と本研究の対象者や練習頻度、基本的な研究デザイン自体は異なるが、回復期の患者を対象とした症例報告とは異なる結果となったことは一つの新規性と言える。

本研究の限界として、症例数が少ないこと、コントロール群を設けていないこと、介入期間や時間、設定方法の妥当性が低いことが挙げられる。電動アシスト付短下肢装具の先行研究は症例報告のみであり、具体的な設定や使用方法の検証はされていない。本研究では、歩行練習の時間設定は通所リハビリテーションの介入時間の規定や対象者の耐久性を考慮のうえで15分（連続歩行約3分×3セット、セット間休憩2分）としたが、妥当であったかは不明である。電動アシスト付短下肢装具の設定は、理学療法士が対象者の歩行を観察して行うため、理学療法士の経験年数や考え方の違いにより設定にばらつきが生じ、介入効果に反映されてしまう可能性もある。また、歩行動画の解析においても、今回の研究では一つのカメラを使用した二次元解析であったため、体幹や股関節の回旋等の三次元での動きを把握できていないことも研究限界の一つである。

今後の課題として、症例数を増やしてコントロール群との比較を行うこと、介入期間や介入時間の違いによる比較、回復期の脳卒中片麻痺者へのランダム化比較試験、

運動麻痺の程度による違いなど、多角的な面での検討が必要と考えられる。

なお、本論文の一部は第56回日本リハビリテーション医学会学術集会にて演題発表および抄録に用いている。

利益相反 本研究に利益相反関係はない(帝京平成大学利益相反委員会 29-408)。

謝辞 本研究にご協力頂きました, 社会医療法人社団慈生会の介護老人保健施設イルアカーサ, 常楽診療所通所リハビリテーションのスタッフの皆様, 対象者の皆様に感謝致します。

引用文献

- 1) 道免和久: 運動学習とニューロリハビリテーション. 理学療法学, 2013, 40: 589-596.
- 2) 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2015. 協和企画, 東京, 2017, pp288-291.
- 3) 飯田修平: リハビリテーションと工学. 徳田良英・他(編), DTP出版, 東京, 2020, pp120-129.
- 4) Husemann B, Müller F, Krewer C, et al.: Effects of locomotion training with assistance of a robot-driven gait orthosis in hemiparetic patients after stroke: a randomized controlled pilot study. *Stroke*, 2007, 38: 349-354.
- 5) Kawamoto H, Kamibayashi K, Nakata Y, et al.: Pilot study of locomotion improvement using hybrid assistive limb in chronic stroke patients. *BMC Neurol*, 2013, 13: 141.
- 6) Watanabe H, Goto R, Tanaka N, et al.: Effects of gait training using the Hybrid Assistive Limb® in recovery-phase stroke patients: a 2-month follow-up, randomized, controlled study. *NeuroRehabilitation*, 2017, 40: 363-367.
- 7) 飯田修平, 川北 大, 藤田拓哉・他: ロボット型膝装具のリハビリテーション介入効果の検討. 日本義肢装具学会誌, 2019, 35: 205-211.
- 8) 経済産業省: ロボット政策研究会. <http://www.meti.go.jp/policy/robotto/robokenkyu/roboken.htm> (閲覧日2018年11月20日).
- 9) 安川電機: 足首アシスト装置 CoCoroe AAD. <https://www.e-mechatronics.com/cocoroe/aad/> (閲覧日2018年4月25日).
- 10) 株式会社スペース・バイオ・ラボラトリーズ: 歩行支援ロボット RE-Gait®. <https://spacebio-lab.com/re-gait/> (閲覧日2019年4月10日).
- 11) 半田健壽: 運動学習の運動療法への応用. 理学療法, 1994, 11: 35-40.
- 12) Podsiadlo D, Richardson S: The timed "Up & Go": a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J Am Geriatr Soc*, 1991, 39: 142-148.
- 13) Götz-Neumann K: 観察による歩行分析. 月城慶一・他(訳), 医学書院, 東京, 2005, pp39-46.
- 14) Blakemore C, Cooper GF: Development of the brain depends on the visual environment. *Nature*, 1970, 228: 477-478.
- 15) Dean CM, Shepherd RB: Task-related training improves performance of seated reaching tasks after stroke. A randomized controlled trial. *Stroke*, 1997, 28: 722-728.
- 16) 高橋大樹, 伊藤雅史, 西 直人・他: 足首アシスト装置の臨床的有効性の検討 脳梗塞片麻痺患者1症例の報告. 第52回日本理学療法学会大会抄録集, 2017, 44: 2.
- 17) 高橋大樹, 伊藤雅史, 西 直人・他: 足首アシスト装置の臨床的有効性の検討~5症例の介入報告~. 第33回日本義肢装具学会学術大会抄録集, 2018, 24.