



【原 著】

下垂足の症状がある患者に対する最新の装具選択

藤本 和希¹⁾* 原田 理沙²⁾ 武岡 由樹³⁾ 佐野 太一¹⁾
酒井 良忠²⁾ 黒田 良祐³⁾ 小西 克浩¹⁾

抄録：下垂足の症状に対し AFO が歩行機能改善目的で処方される場合には、リハビリテーション治療により得られた効果を、AFO 使用後に持続し、大きくすることが求められるが、歩行中のヒールロッカー・アンクルロッカー・フォアフットロッカー機能を適切に補助する AFO はほとんどない。そういった中で、2020 年以降には ENAPLE AFO、2022 年以降には Carsha AFO が処方され、これらの組み合わせにより従来装具の課題を解決し、目的を達成するケースが多い。そのため従来装具の課題をもとに、これらの AFO について整理する。また、Carsha AFO は現時点でフォアフットロッカー機能を補助する AFO としては、国内外で唯一の AFO である可能性が高いため、事例についても紹介する。

Key words: 下垂足、ENAPLE AFO、Carsha AFO

1. はじめに

下垂足の症状がある患者に対し、歩行機能改善目的で AFO (ankle-foot orthosis) が処方される際、従来装具の代替案として最新の AFO が処方される傾向にあるため、従来装具の課題をもとにこれらの AFO について整理する。

2. AFO 処方目的と処方されてきた装具

下垂足の症状に対し装具療法が選択される目的は、尖足予防、転倒予防¹⁾、歩行機能改善²⁾、の 3 つに分けられる。

我々の関連病院では、尖足予防目的ではオーダーメイドのシューホーンブレース³⁾、転倒予防目的ではオーダーメイドの大阪医大型短下肢装具 (OMC 型 AFO) や既製品のオルトトップ AFO⁴⁾ が処方されやすく、足関節

を良肢位に保つことで一定量の機能的効果が得られる。歩行機能改善目的では、OMC 型 AFO、病態によっては TIRR 型 AFO が処方されてきた。

3. 歩行機能改善目的で求められる AFO

下垂足の症状がある患者の歩行は、足関節の背屈が困難であることから、鶏歩と呼ばれる歩行となりやすい。患側遊脚期に足先が床面に引っかからないよう股関節を屈曲し、膝を高くあげるため、患側立脚期に前足部で接地する歩行様式である⁵⁾。踵接地が得られないため股関節伸展筋を働かせることや、立脚中期以降に股関節を伸展位とし立脚終期に前足部で荷重することが難しく、股関節や膝関節伸展筋、体幹筋の弱化へつながら、左右の対称性が改善されることはない。そのため、歩行機能改善目的の AFO には、これらを解決することが求められる。

AFO 使用後は、リハビリテーション治療効果を持続し、大きくすることが求められる⁶⁾。正常歩行を目指すために、まずは基本的な歩行パターンを獲得する必要がある。基本的な歩行パターンの獲得に必要な 4 条件は、I 抗重力姿勢保持、II 交互足踏み動作：ステッピング、III 最適な平衡保持、IV 推進力の平均化²⁾ とされるため、ここでは装具側へ十分に荷重するための支持性や、ヒールロッカー・アンクルロッカー・フォアフットロッカー

* e-mail: fujimoto@sawamuragishi.jp

1) 株式会社 澤村義肢製作所

Kazuki FUJIMOTO (PO), Taichi SANO (PO),

Katsuhiko KONISHI (PO)

2) 神戸大学医学部附属病院 リハビリテーション科

Risa HARADA (MD, PhD), Yoshitada SAKAI (MD, PhD)

3) 神戸大学医学部附属病院 整形外科

Yoshiki TAKEOKA (MD, PhD), Ryosuke KURODA (MD, PhD)

(受付日 2024 年 11 月 11 日 受理日 2025 年 1 月 10 日)

機能を補助するための可動性と、その可動性の中での適した制動力がAFOへ求められる。また、基本的な歩行パターンを獲得する過程においては様々な治療戦略があり、病態や治療の段階、身体機能の改善に合わせて決定するため、AFOの可動性や制動力を選択できる機構や設定がAFOへ求められる。基本的な歩行パターンを獲得した後は、応用的な歩行として様々なケイデンスでの歩行や長距離歩行の獲得のため、歩行スピードへ追随する機構や、繰り返し動作に強い構造がAFOへ求められる。

4. 歩行機能改善目的で処方されてきた装具

OMC型AFOは、ポリプロピレンシートを使用することで軽量化され、コルゲーションによって補強されることが一般的な特徴とされる。柔軟な撓み式継手により、立脚期の可動性、制動力、遊脚期の復元性に優れている³⁾とされ、TIRR型AFOも似た特徴を持つ。とはいえ、OMC型AFOなどのプラスチック一体型AFOは、可動性を大きくすれば、十分な支持性や制動力が得られない³⁾ことが課題となる。山本らの報告⁷⁾からは、背屈制動機能をもつ継手なし装具では、立脚中期においても足関節底屈モーメントの増加は見られず、立脚終期を上手く作れないとされる。そのため、フォアフットロッカー機能を促しにくいことや、遊脚期の復元性が不十分なことが課題となる。OMC型AFO使用後に身体機能が回復していく中で、患者自身の判断で装具を取り外し、それ以上の歩行機能改善が得られない、または取り外すことで改善した身体機能を低下させるケースもあり、基本的な歩行パターンを十分に獲得できないことや、応用的な歩行を獲得できないことが多い。

歩行機能改善目的で求められるAFOで述べたような機能をもつ従来装具は見当たらない。

5. 従来装具の代替案となるENAPLE AFOとCarsha AFO

ENAPLE AFO⁴⁾ (ENAPLE ankle-foot orthosis) や Carsha AFO (Carbon-shank ankle-foot orthosis) は、従来装具の課題を解決する最新のAFOである。ENAPLE AFOは、カーボン製三層式後方支柱付短下肢装具板ばねとされ、Carsha AFOは、カーボン製足板付短下肢装具硬性とされる。ENAPLE AFOやCarsha AFOは足関節底背屈制動装具であり、ENAPLE AFOはヒールロッカー・アングルロッカーの機能補助に優れており、Carsha AFOはフォアフットロッカーの機能補助に優れる。我々の関連病院では、2020年以降にはENAPLE AFO、2022年以降にはCarsha AFOの処方が増加傾向にある。この2つのAFO



図1 ENAPLE AFO

を組み合わせ、リハビリテーション治療の段階に合わせて位置付けることで、下垂足の症状がある患者が正常歩行を獲得するための道標となる。AFOの機能的な位置付けを、①小さな歩幅から快適歩行の歩幅でのヒールロッカー・アングルロッカー機能補助、②快適歩行の歩幅でのヒールロッカー・アングルロッカー機能補助、フォアフットロッカー機能の誘導、③快適歩行から速歩の歩幅でのヒールロッカー・アングルロッカー機能補助、フォアフットロッカー機能補助、と3段階へ区分した上で、ENAPLE AFO、Carsha AFOについて解説する。

5-1. ENAPLE AFO

ENAPLEは、2019年に佐野らが開発し、2020年に完成用部品登録をされたカーボン製3層式後方支柱である。ENAPLEはポリプロピレン製支持部との相性が良い。ENAPLE AFOは、ENAPLE (後方支柱) をポリプロピレン製支持部へ専用のネジで直接連結する構造のため、装具自体の捻れを抑制し、支持性を高めることができる。患者が装具側へ十分に荷重できることが特徴となる。

後方支柱には単層のものが多いが、ENAPLEは国内外唯一の3層のスリット構造となる。3層が開く際には底屈を制動する機能、閉じる際には背屈を制動する機能を持ち、開きははじめや閉じははじめでは弱い制動力であるが、その方向へ開き続ける、もしくは閉じ続けることで強い制動力へと滑らかに変化する。制動力の強弱を作りながら、立脚期を通して、滑らかにヒールロッカー・アングルロッカー機能を補助することが特徴である。

また、従来装具の足継手と比較し、ENAPLEはENAPLE自体の回転中心を下腿近位1/3あたりに設定できる足継手となる。そのため、立脚中期に足関節に対す

る膝関節の良好な位置関係を確保し、立脚中期以降に股関節を伸展位とし、立脚終期に前足部荷重することを可能にする。立脚中期や立脚後期で各関節の位置関係を改善することが特徴である。

さらに、身体機能や体重、使用目的に合わせてカテゴリ（ENAPLEの硬さ：Mサイズ4段階、Sサイズ3段階）を設定できる。硬くなれば可動性は小さくなり、その可動性の中での制動力は強くなる。軟らかくなれば可動性は大きくなり、硬いカテゴリと比較すると制動力は弱くなる。足関節固定から遊動の間の制動力を、段階的に設定できる。リハビリテーション治療の段階に合わせて歩行の難易度を設定できることが特徴である。

これらの特徴から、AFOの機能的な位置付けのうち、①と②の部分でENAPLE AFOが機能補助を果たす。①小さな歩幅から快適歩行の歩幅では、硬いカテゴリのENAPLE AFOを選択することで、ヒールロッカー・アンクルロッカー機能を補助することができ、②快適歩行の歩幅では、軟らかいカテゴリのENAPLE AFOを選択することで、ヒールロッカー・アンクルロッカー機能補助に加え、フォアフットロッカー機能を誘導することができる。ENAPLEの構造的な特徴により、立脚終期の単脚支持期に踵が離床し、前足部荷重することを可能とするため、フォアフットロッカー機能補助が可能と記載することもできたが、フォアフットロッカー機能を補助するためにはMTP関節を直接的に伸展制動する必要があると考えているため、フォアフットロッカー機能の誘導が可能とした。従来装具と比較すると、基本的な歩行パターンを獲得した上で、10m歩行テスト（以下、10MWT）、6分間歩行テスト（以下、6MWT）を改善している。

5-2. Carsha AFO (図2)

Carsha AFOは、2021年に藤本らが開発したAFOであり、快適歩行から速歩の歩幅でのヒールロッカー・アンクルロッカー・フォアフットロッカー機能をそれぞれ補助することができ、フォアフットロッカー機能はMTP関節を直接的に伸展制動することで補助する。また、ヒールロッカー・アンクルロッカー機能補助の必要性と比較し、フォアフットロッカー機能補助の必要性が高い場合に使用する。フォアフットロッカー機能を補助するAFOは国内外を通して存在しない^{7,8)}ため、Carsha AFOは国内外唯一のフォアフットロッカー機能を補助するAFOとなる。

フォアフットロッカー機能に必要な可動性は、歩行を区分するランチョ・ロス・アミーゴ方式やGötz-Neuman Kらの歩行中の関節肢位⁹⁾からなる歩行周期を参考にすると、立脚終期の足関節背屈10°とMTP関節の伸展30°、前遊脚期の足関節底屈15°とMTP関節の伸展60°となる。例えば、前述したOMC型AFOでは、前遊脚期の足関節底屈15°が得られないため、可動性の点でフォアフットロッカー機能補助はできないと判断できる。そういった従来装具の課題を参考に、Carsha AFOはフォアフットロッカー機能に必要な可動性を得るため、下腿支持部はポリプロピレン製、足部は規格化されたカーボン製のCarbon-shank(図3)を組み合わせる構造とした。制動力については、カーボンの弾性が活きるよう設計されたCarbon-shankを用いることで、その可動性の中で必要な制動力を確保している。

Carsha AFOは、Carbon-shank(足部)をポリプロピレン製下腿支持部へ銅鉚で直接連結する構造である。ヒールロッカー・アンクルロッカー機能補助をポリプロピレン製下腿支持部が行い、フォアフットロッカー機能補助



図2 Carsha AFO

を Carbon-shank が行うことや、組み合わせた材質がバランス良く制動力を発揮することで、足関節の動きに追随する。患者が正常歩行獲得のための補助機能を実感しやすいように設定している。制動力の強弱を作りながら、立脚期を通して、滑らかにそれぞれのロッカー機能を補助することが特徴である。

装具に使用されるカーボンの板材には剛性を高め、MTP 関節の踏み返し制限のために使用するものが多いが、Carbon-shank は捻れ方向に高い剛性を発揮し、進行方向に滑らかに作用する設計となる。Carbon-shank は、ただ差高を考慮した形状ではなく、荷重時に Carbon-shank が伸びる方向へ力が加わり、Carbon-shank が元の形状へ戻る力により足趾の伸展を促すことや、前足部と後足部の重心移動を補助することを目的として設計している。歩行中には、立脚期に前足部荷重を促しやすく、Carbon-shank 上で MTP 関節部へ荷重し、MTP 関節部遠位へ荷重が移動する際には、Carbon-shank が MTP 関節伸展方向へ撓む。また、Carbon-shank が可動し始める時点では、弱い制動力であるが、伸展方向へ大きく可動するにつれて強い制動力へ変化する。その上で立脚初期や中期には足関節の補助を下腿支持部が行うため、効果的なタイミングでフォアフットロッカー機能補助が発揮される。立脚期を通して、滑らかにヒールロッカー・アングルロッカー機能を補助し、フォアフットロッカー機能を優先して補助することが特徴である。

前述した Carbon-shank の特徴から、Carsha AFO では



図3 Carbon-shank

下腿長と足底長の踵から MTP 関節部遠位までの長さを 1:1 に設計することを可能とする。機能性を確保し、下腿支持部の長さを従来装具より短く設計できることが特徴である。

対象を考慮し、靴内蔵タイプとしている。OMC 型 AFO であっても、患者自身の判断で装具を取り外し、それ以上の歩行機能改善が得られない、または取り外すことで改善した身体機能を低下させるケースがあると述べたが、最も軽量でコンパクトなこと、靴が履きやすいことから好まれる既製品のオルトトップ AFO であっても同じようなケースがある。そのため、屋内、屋外問わず、靴を履いて歩行する際に使用しやすい設定とした。これにより、足に装具を合わせる→装具のベルトを締める→装着した装具の上から靴を履く→装着完了の流れから、靴を履く→装具のベルトを締める→装着完了の流れ(図4)に変わり、より容易に装着できることで患者が装具を受け入れやすいことが特徴である。

靴内蔵タイプとする利点を活かし、Carbon-shank 上へ足底装具として用いるオーダーメイドインソールを接着する構造とした。立脚期には Carbon-shank が滑らかに撓み、ロッカー機能を補助することに加えて、歩行中のアライメント変更が容易になる。インソールの調整により治療の段階に合わせた効果を発揮しやすいことが特徴である。

さらに、Carbon-shank はカーボンの弾性強度を活かしやすく、厚みを極力薄くするという点で装具へ使用しやすいように設計されているが、身体機能や体重、使用目的に合わせてカテゴリー (Carbon-shank の硬さ: 現時点では3段階) を設定できる。最も軟らかいカテゴリーの Carbon-shank で十分な機能補助ができるが、下腿長や体重を考慮する場合には、違う硬さの Carbon-shank を用いることで、必要な制動力を設定できることが特徴である。

これらの特徴から、AFO の機能的な位置付けのうち、③の部分で Carsha AFO が機能補助を果たす。③快適歩行から速歩の歩幅では、Carsha AFO を選択することで、ヒールロッカー・アングルロッカー機能補助に加え、フォアフットロッカー機能を優先して補助することができる。Carsha AFO においても基本的な歩行パターンを



図4 Carsha AFO 装着の流れ

獲得した上で、10MWT、6MWT を改善している。ここで実例を紹介する。

6. 症例

Carsha AFO が処方された症例を紹介する。なお、患者の個人情報とプライバシーの保護に配慮し、本人から書面にて同意を得ている。

6-1. 症例 1

50 歳代女性（身長 169.2 cm、59.2 kg）。好酸球性多発血管炎性肉芽腫症による神経障害、右下垂足に対し、歩行機能改善目的で Carsha AFO（Carbon-shank カテゴリー 1）が処方された。右足関節背屈 MMT1、股関節・

膝関節支持性あり、鶏歩であった。山歩きが趣味のため、長距離歩行や不整地歩行を獲得したいという要望があった。急性期病院入院中に AFO が処方され、回復期病院へは転院せずに外来通院、外来リハビリテーション治療を行った。

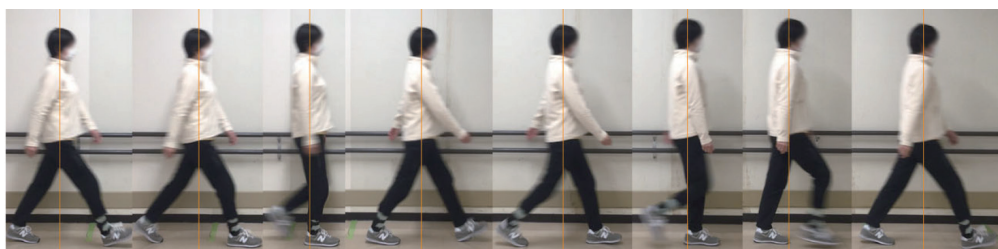
結果として、入院期間中に歩行中の踵からの初期接地を獲得し、装具装着下でヒールロッカー・アンクルロッカー・フォアフットロッカーのある歩行を獲得した。基本的な歩行パターンを獲得した上で、10 MWT・6 MWT の運動機能評価では、裸足歩行と比較し改善（表 1）、右足関節背屈 MMT は、Carsha AFO 使用後 3 か月で 1→2、6 か月で 2→3、9 か月で 3→4 へ改善している。歩きやすさ・装着のしやすさ・装着時の見た目についての満足度も高い。

表 1 運動機能評価結果

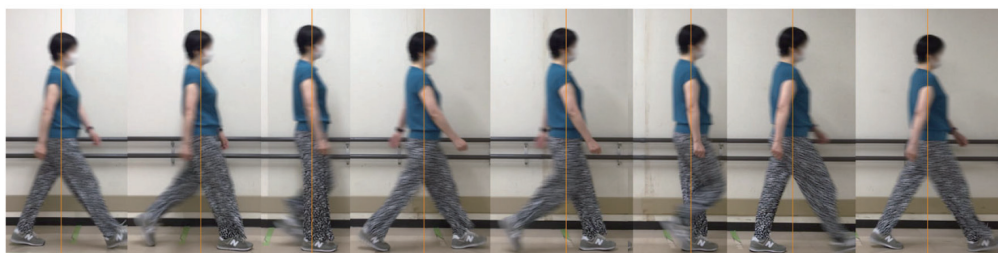
	10MWT 快適歩行		10MWT 速歩		6MWT
裸足歩行	8.54 s	15 歩	8.50 s	15 歩	不可
AFO 歩行／装着直後	6.75 s	15 歩	4.82 s	13 歩	504 m
AFO 歩行／装着後 3 か月	6.72 s	14 歩	4.45 s	13 歩	623 m



裸足歩行



AFO 装着直後



AFO 装着後 3 か月

図 5 症例 1 の歩行の様子

それぞれの歩行動画から歩行周期毎に切り取った写真を時系列に合わせて羅列する（図5）。裸足歩行とAFO装着直後を比較すると、AFO装着により初期接地から前遊脚期で体幹の反り返りを防いでいる。各ロッカーを補助する機能が効果的に働き、前方への推進力を生み出していると考えられる。AFO装着直後と装着後3か月を比較すると、遊脚期の股関節屈曲角度が改善されていることから、十分な前遊脚期が得られたと考えられる。このとき、足関節が底屈位となっている様子も確認でき、歩行に必要な機能をAFOが補助していることや、歩行スピードの変化に合わせてAFOが機能していることがわかる。装着後12か月時点では、医師より長距離歩行や不整地歩行以外で装具を取り外す許可を得て日常生活を送っている。Carsha AFOは患者にとって、歩くことへのモチベーションとなったそうである。

6-2 症例2

60代女性（身長160.0cm、54.0kg）。好酸球性多発血管炎性肉芽腫症による神経障害、右下垂足に対しCarsha AFO（Carbon-shank カテゴリー1）、くも膜下出血による左内反尖足に対しENAPLE AFO（ENAPLE Sサイズ、カテゴリー3）が処方された。右側は右足関節背屈MMT3、股関節・膝関節支持性あり、左側は左足関節背屈MMT1、股関節・膝関節支持性なしであった。買い物などのため、屋外歩行を獲得したいという要望があった。急性期病院入院中にAFOが処方され、回復期病院へ転院、退院後は外来通院となった。

結果として、両側とも入院期間中に歩行中の初期接地を獲得し、右側は装具装着下でヒールロッカー・アンクルロッカー・フォアフットロッカー機能のある歩行を獲得した。左側は、装具装着下で歩行中ヒールロッカー・アンクルロッカー機能のある歩行を獲得している。T字杖を使用しての基本的な歩行パターンをほぼ獲得した上で、10MWT・6MWTの運動機能評価では、裸足歩行との比較において改善し（表2）、右足関節背屈MMTはCarsha AFO使用後6か月で3→5へ改善している。両側ともに、歩きやすさ・装着のしやすさ・装着時の見た目について、AFOの満足度も高い。

それぞれの歩行動画から歩行周期毎に切り取った写真を時系列に合わせて羅列する（図6）。AFO装着により

前型歩行を獲得し、使用期間が長くなるにつれて改善傾向を示している。股関節・膝関節の支持性を考慮し、フォアフットロッカー機能を優先して補助するCarsha AFOを右側へ、ヒールロッカー・アンクルロッカーの機能を補助するENAPLE AFOを左側へ装着した結果である。また、ENAPLE AFOのカテゴリー設定は、Sサイズの中で最も硬い3とした。これは、股関節・膝関節支持性の低さを考慮し、ヒールロッカー・アンクルロッカー機能を補助する場合は、可動性は小さくし、その可動性の中で強い制動力が発揮できるよう設定する。これにより、平行棒内での歩行距離が裸足歩行では2mであったが、AFO装着直後10mへ改善し、基本的な歩行パターンを獲得するためのきっかけになっている。AFO装着後6か月では、6MWTで342mの歩行距離を獲得し、基本的な歩行パターン獲得後、応用的な歩行を獲得した。このAFOの選択や設定により、身体機能の変化に伴う歩行機能改善をAFOが阻害することなく、リハビリテーション治療の効果を大きくしたと考えられる。生活期でも改善がみられたため、医師より長距離歩行や不整地歩行以外では、右側のみ装具を取り外す許可を得て日常生活を送っており、左側は次回作り替える時期に、カテゴリー2（カテゴリー3と比較し、可動性が大きく、制動力が弱いENAPLE）への変更も検討することとなった。この症例でも、Carsha AFOやENAPLE AFOは患者にとって、歩くことへのモチベーションとなったそうである。

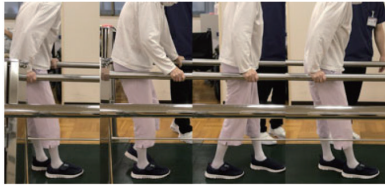
7. ENAPLE AFO と Carsha AFO の位置付け

基本的な歩行パターンを獲得するためのこれらの位置付けはこのようになる。

- ① 小さな歩幅から快適歩行の歩幅では、ヒールロッカー・アンクルロッカー機能を補助するために、硬いカテゴリーのENAPLEを選択する。
- ② 快適歩行の歩幅では、ヒールロッカー・アンクルロッカー機能を補助し、フォアフットロッカー機能を誘導するために、軟らかいカテゴリーのENAPLEを選択する。
- ③ 快適歩行から速歩の歩幅では、ヒールロッカー・ア

表2 運動機能評価結果

	10 MWT 快適		10 MWT 速歩		6 MWT
裸足歩行／平行棒内	不可	不可	不可	不可	不可
AFO 歩行／装着直後／平行棒内	25.4 s	26 歩	25.0 s	26 歩	不可
AFO 歩行／装着後1か月／T字杖	16.72 s	22 歩	14.3 s	21 歩	不可
AFO 歩行／装着後6か月／T字杖	9.20 s	17 歩	8.70 s	15 歩	342 m



裸足歩行



AFO 装着直後



AFO 装着後 6 か月

図 6 症例 2 の歩行の様子

ンクルロッカー機能を補助し、フォアフットロッカー機能を補助するために、Carsha AFO を選択する。

8. まとめ

下垂足の症状がある患者に対し、より良い装具療法が提供される環境を設定していく必要がある。AFO 使用の際には、運動療法と連携し治療内容を具体化すること、それぞれの病態に対する適応を明確にすること、目指す歩行様式およびその過程を考えて AFO を選択することが重要である。今回、我々の関連病院で実施している内容を踏まえて ENAPLE AFO や Carsha AFO の位置付けなどを解説した。ENAPLE AFO や Carsha AFO はリハビリテーション治療の効果を大きくできる可能性を有しており、その普及によって一人でも多くの患者の QOL が高くなればと考えている。

利益相反 本論文に関して開示すべき利益相反関連事項はありません。

文 献

- 1) 内田淳正：標準整形外科学，11 版，医学書院，828，2011.
- 2) 赤居正美ほか：2 章，義肢装具のチェックポイント，9 版，正門由久ほか，医学書院，運動学，17，2021.
- 3) 飛松好子ほか：装具学 第 4 版，医歯薬出版，総論，51-84，2013.
- 4) 渡邊英夫：脳卒中の下肢装具 病態に対応した装具の選択法，4 版，医学書院，139，172，2022.
- 5) 玉木彰：今日からなれる！ 評価の達人，中山書店，246，2015.
- 6) Bradley Lezak ほか：A service of the National Library of Medicine, National Institutes of Health, Peroneal Nerve Injury, 2024.
- 7) 山本燈子：下肢装具の歩行分析，Jpn J Rehabil Med, 282-285, 2019.
- 8) 昆恵介ほか：フォアフットロッカー機能を支援する HUS-AFO の開発と評価，日本義肢装具学会誌，38，313-324, 2022.
- 9) Götz-Neuman (月城慶一ほか)：観察による歩行分析，医学書院，172-175，2005.