ISSN 2436-6951

Journal of Assistive Technology in Physical Therapy

支援工学理学療法学会誌

Vol.1 No.1
2021

日本支援工学理学療法学会 JATPT

支援工学理学療法学会誌

第１巻　第１号

Journal of Assistive Technology in Physical Therapy
Vol.1 No.1

日本支援工学理学療法学会

JATPT

目　次

総　論　先端的な支援工学技術を活かした生活支援の展望　松田雅弘……5
日本支援工学理学療法学会独立から考える私たちの未来

短　報　フォアフットロッカーを補助する短下肢装具の開発と健常者を対象としたパイロットスタディ　春名弘一……9

症例報告　医療関連機器圧迫創傷が発生した症例に対する短下肢装具作製の工夫　小川秀幸……15

原　著　下肢装具の処方からフォローアップにおける課題　松岡瑞雄……21
理学療法士の視点から

原　著　子どもの歩行障がい者に対する屋外移動・スポーツ活動を目的に製作した歩行器の検証　松田雅弘……31

原　著　理学療法士の経験年数 が 装具作製時期 に与える影響　須江慶太……39

原　著　生活期の短 下肢装具ユーザーに関する装具フォローアップの実態調査　春名弘一……46
訪問・通所リハビリテーションサービスの非利用者に関する意識調査を含めて

原　著　生活期脳卒中後遺症者の装具管理状況と装具処方時に受けた指導内容に関する実態調査　阿部紀之……55

総　論　歩行運動方程式の導出過程― Simplest walking model ―　倉山太一……64

総　論　歩行運動方程式の数値計算方法― Simplest walking model ―　小宮　全……73

CONTENTS

投稿要領 …… 79

編集後記 …… 82

◎総論

先端的な支援工学技術を活かした生活支援の展望
日本支援工学理学療法学会独立から考える私たちの未来

Prospects for Life Support Utilizing Advanced Assistive Engineering Technology
–The Future of the Japanese Society of Assistive Technology in Physical Therapy–

松田雅弘

要　旨

2021 年 4 月に一般社団法人日本支援工学理学療法学会が設立し、理学療法領域のなかでも装具、義肢、福祉用具、車椅子、住宅改修や街づくりを含む生活環境、リハビリテーション工学などの領域の学術的な発展のための貢献を目指している。科学技術の発展は著しく、情報通信、ロボットなどの知見はリハビリテーション医療を顕著に変革している。それは対象者の支援だけではなく、理学療法の手法も変えている。今後、この領域の発展のためには、私たち理学療法士も工学の専門家などと協働し、新しい機器を生み出すときの手助けや、その効果の検証への協力が必要不可欠である。さらには、その恩恵は私たちが対象とする障害者や健康に生活をしたいすべての人々へ Well-being を提供することにつながり、積極的に科学技術を活かした理学療法の展開を常にアップデートしながら提供していかなくてはいけない。このことにより、社会のなかで理学療法の知見を活かした豊かな生活環境を支援することにつながり、活力のある社会を創造できる組織となっていくことが望まれている。

【キーワード】日本支援工学理学療法学会、科学技術、生活環境支援、リハビリテーション医療

1.　はじめに

日本支援工学理学療法学会は 2021 年 4 月より日本理学療法士協会から独立した組織として、一般社団法人日本支援工学理学療法学会として設立した。現在、理事 11 名、監事 1 名、評議員 30 名、専門会員 A　134 名、一般会員 A　362 名、学生会員 1 名の合計 490 名(2021 年 12 月 7 日現在)の組織である。日本支援工学理学療法学会とは疾患別の縦軸の学会でなく、どの疾患、病期であっても対象者への理学療法や支援に必要な機器、補装具、福祉用具などを専門とし、かつ生活環境支援として住宅改修、街づくりを含め対象者の QOL の向上と Well-being を実現するための支援をする理学療法士の専門の横軸の学会である。

日本支援工学理学療法学会の使命は、装具、義肢、福祉用具、車椅子、これら補装具などの支給制度、ユニバーサルデザイン、住宅改修、街づくりなど多岐に渡る領域において、近年著しい科学技術を活用したリハビリテーション工学の知見を活かした理学療法の発展である。それが最終的に対象者の Well-being につながり、理学療法士による支援する力になるように専門性を高めていく。

順天堂大学
投稿日：2021 年 12 月 9 日　　採択決定日：2021 年 12 月 12 日　　公開日：2022 年 3 月 31 日

そのためにも理学療法士だけの知識では、科学技術の発展した知見を十分に活かすことが困難であり、工学や他の領域のスペシャリストとの協働が必要不可欠で、特に医工連携が必須となる。工学的な知見やシーズをもとに様々な機器が開発されているが、対象者のニーズとマッチングさせていくためにも、身体構造やリハビリテーションの知識があり、日々、対象者の近くで声を聞いている私たちと一緒に機器などを作り上げることで、社会で実装しやすい機器などの開発が可能となるのではないか。この分野にも積極的に学会として取り組んでいく必要がある。

既存の補装具や福祉用具の活用に関して、まだ私たち理学療法士が現在販売されているすべての情報を得て、これらを活用しているレベルに達していない。理学療法士教育課程のなかで、医学的な知識を学び、その応用に関して臨床実習でも学ぶ機会は多いものの、装具や福祉用具に関しては十分習得していないという報告[1,2]もみられる。今後、理学療法の対象者である障害者または予防分野においても、科学技術が発展した恩恵を治療技術や生活のなかで受けられるように、科学技術のノウハウを取り入れた理学療法の展開が望まれている。しかし、情報が過多な時代となり、情報を整理して発信することや、理学療法技術にこれらの技術を活かしたマネージメントに落としこむときに適切なシステムづくりなど、日本支援工学理学療法学会として取り組まなければいけない課題も多い。

2. 先端技術を活かした理学療法士支援、対象者支援について

平成30(2018)年度診療報酬改定によって、人工知能(artificial intelligence ; AI)やInternet of things(IoT)などの情報通信技術(information and communication technology: ICT)の活用に関して評価されるようになった。本人の健康・医療・介護に関する情報であるPersonal Health Record(PHR)の管理や活用に関して、自治体、保険者、各医療機関や介護施設に蓄積されている膨大なPHRをAIで解析し、適切な保健指導施策の提案の活用も考えられている(**図1**)[3,4]。近年、スマートフォンを当たり前のように使いこなし、インターネットの普及率が向上した、このような情報通信分野の革命的な変化によって、情報をいかに活用するかが重要な時代へと変遷した。私たちがICT技術によって医療情報や健康関連情報を利活用できることは、直接的な生活の豊かさへ直結する。これらは近年注目されている遠隔医療、デジタルヘルスなど、医療過疎地域でも適切な診療やリハビリテーションサービスを受けられることにつながる[4,5]。

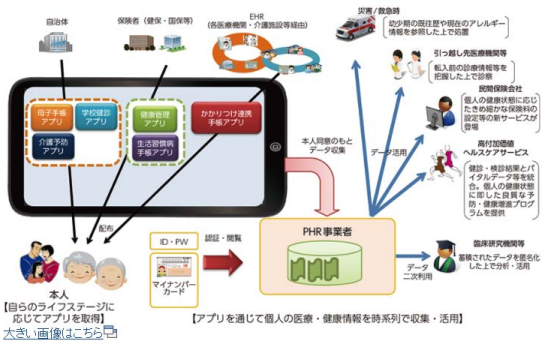


図1　PHRモデルの構築事業

情報通信だけでなくセンシング技術の発展も必要不可欠である。私たちが理学療法評価する際に、以前は研究領域で使用されていた加速度計、脳波計、足圧計、筋電計など様々な計測機器の価格が低下し、かつBluetoothなどによって無線で情報を得ることが可能となり、日中の活動を含めて長時間のデータを簡易的に収集できるようになった。これは視覚化できなかった身体活動のデータの一部を簡易的に取得できる。それを分析することで、治療プログラムの立案、生活支援の情報として活用されるようになってきた。ここでは割愛するが、これらの技術革新によって私たちの臨床での評価が機器を用いた方法に変わるため、その得られた情報をどのように活用するのかも問われている。また、ロボットなどもこれらのセンシング技術を活かして得られた情報を、ロボットの動きに変換するアルゴリズムを搭載していることが多い。つまり、人間の活動をログに収めることで、ロボットが動き、AIが分析して、私たちの動きや生活を支援する仕組みが多く増えている。それを

図2　乙武プロジェクト

私たちは効果のある理学療法や生活支援のために活用して、科学的な技術を最大限に活かした理学療法の展開を提供する必要がある。

それに加えて、既存の補装具、福祉用具も構造や機能の変化、種類の増大など発展し続けている。例えば、義足の継手（膝関節など）や材質（カーボンなどで軽量化など）の発展は目まぐるしい。2021年東京パラリンピックでの選手の活躍も新しい記憶として残っているだろうが、ここでは乙武プロジェクト[6]で理学療法士と義肢装具士、工学の専門家、企業が協働して四肢欠損の乙武氏の歩行を支援している（**図2**）。ここにも最先端の知見が多く活用されている。また、福祉用具や車椅子に3Dプリンタの技術の導入[7]、デザインに優れスマートフォンで操作なども可能になった電動車椅子[8]など、今までには考えられなかった技術が私たちの快適な生活を支えようとしている。これらの技術発展は十分知らない理学療法士も多く、活用する方法を明確にして理学療法技術への転換した方法も今後普及していかなくてはいけない。ただし、どの製品もまだ高額であり、対象者の購入する選択肢に入りにくいこともある。ここも市場調査を含めて、どんどん理学療法士が参入していきたい領域である。

3. ICT、IoT、ロボットを活用した未来型の生活環境支援について

社会構造（社会インフラ）が社会的弱者をより弱者にしている構造が指摘されている。例えば、交通弱者は高齢者となり安全のために免許を返納したくても、車がないと買い物に行けない高齢者にとっては弱者として浮き彫りにしてしまう。看板や信号機も視覚障害者を社会インフラが弱者として規定してしまう。しかし、これから発展するSociety5.0（Society5.0とは、狩猟社会、農耕社会、工業社会、情報社会に続く「第5の社会」であり、情報技術によって実現する仮想空間「サイバー空間」と身体活動を中心とする現実空間「フィジカル空間」の融合した社会）は、社会インフラの不都合を改善する方向で技術革新が生まれ、誰もが生活しやすい世界を創り出す可能性を持っている。私たちは理学療法を通して、その科学技術を最大限に活用し、多くの方の生活の支援を実践していくべきである。

その他、医療型ロボットスーツHAL®は一部疾患に関して2016年より、2020年からは運動量増加機器加算により上肢・下肢のロボットの活用に保険収載され、本邦でロボット活用事例は増えている。しかし、まだロボットの導入に関しては高額であり、どの病院でも当たり前のように導入されていない。また、上肢下肢に使用するロボットは理学療法士として対象となる麻痺などの対応で注目されているが、介護ロボットやコミュニケーションロボットなど、ロボットの種類は多い。日本支援工学理学療法学会では介護ロボットを取り上げて、普及状況や活用事例に関するフォーラムを実施している。介護ロボットは経産省の事業としてロボット介護機器開発・標準化事業を制定し[9]、介護ロボットの現場への普及を行っているが、十分に普及している状況ではないと考えられる。これは、理学療法士が介護ロボットの使用方法を学び、使用方法を伝えるだけでなく、介護ロボットの有効的に活用できるような組織のマネージメントを理学療法士などの専門職中心に実践について今度検討する必要がある。このようにロボットを活用した支援を実施するだけでなく、どのロボットも対象者の治療、生活を考えたうえで、どのように活用することが対象者に最も使用してもらえるかを想定したシステムの構築も重要な取り組みと考えられる。ロボットはすべてを包括して自動的に動く便利な道具ではなく、それを取り

巻くシステムやロボットの活用に関しては私たちが十分検討することが重要で、いかにロボットを活用しているかの報告も集めていきたい。これはAIについても同様であり、情報をどのように私たちの領域で活用できるかを、しっかりと議論していく必要がある。

4. 結論

科学技術の発展は著しく、その恩恵を受けて私たちの生活は豊かになりつつある。また、リハビリテーションのサービスもその影響を受けて大きく変化し、情報通信やロボットの活用などの変化がみられる。では、現在の科学技術の発展によって将来的に私たちの仕事を奪うものになりえるかと考えると、今はAI・ロボットを制御する人と制御される人に分かれるとも言われている。しかし、医療は科学的なデータや技術だけではなく、接遇や共感を含めた応対が病気の進行予防や意欲に大きく影響する。今後の技術の発展によりリハビリテーションの業務の簡潔化・効率化がなされるであろう。AIやロボットを活用するためにはAIからの提案を鵜呑みに手続きだけの理学療法ではなく、そのシステムを的確に活用できる能力が必要となる。ヒトが築いた集団社会の関係性を把握し、社会を構成した一員に対するWell-beingを実現する科学技術を理学療法サービスへ転換して提供する必要がある。我々は科学技術の発展と共存し、新たな創発を楽しむ余裕を持ち、チーム医療にAIやロボットなど技術によるノウハウを活かした今度の未来型の生活支援へと導いていく使命がある。

日本支援工学理学療法学会として未来の理学療法のシステム、対象者の支援、街づくりを理学療法士の力も入れた形での協働を実現し、多くの対象者に単純な医療モデルだけでの解決ではなく、様々な支援の方法を模索して発展させていきたい。未来は創造しないと切り開けない。どのような未来が私たちの生活やWell-beingを実現していくために必要不可欠か、私たちの学会内でもしっかり議論し、学術の発展への寄与と、対象者へ提供できる情報としても提供したい。

文献

1) 日本支援工学理学療法学会：http://www.japanpt.or.jp/upload/branch/jptsat/obj/files/sougu_h29_04.pdf,（2021年12月7日閲覧）
2) 日本支援工学理学療法学会：http://www.japanpt.or.jp/upload/branch/jptsat/obj/files/PJ報　告　書.pdf,（2021年12月7日閲覧）
3) 総務省：平成30年版情報通信白書. https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h30/html/nd266120.html（2021年12月7日閲覧）
4) 高橋哲也, 松田雅弘, 森沢和之・他：デジタルヘルスと理学療法. PTジャーナル, 55（11）：1228-1236, 2021
5) 松田雅弘, 大保武慶, 安田和弘・他：医療現場での人工知能の活用. PTジャーナル, 52（11）：1059-1067, 2018.
6) https://www.watch.impress.co.jp/docs/news/1354318.html?fbclid=IwAR1a8rh96J_qkpH0oke4E7w03s-9lAmFJSvEbxUb-g_gr5I0XVNtXxXT9l-I（2021年12月7日閲覧）
7) 田中栄一：使ってわかる3Dプリンタ活用の広がり. 総合リハ, 49（2）：157-161, 2021
8) 北野義明：電動車椅子. 総合リハ, 49（8）：735-741, 2021.
9) 櫛引圭子：ロボット介護機器の開発と普及促進に関する行政の支援策. 総合リハ, 47（3）：203-210, 2019.

◎短報

フォアフットロッカーを補助する短下肢装具の開発と健常者を対象としたパイロットスタディ

Development of an ankle foot orthosis to assist the forefoot rocker and a pilot study of the orthosis in Healthy Subjects

春名弘一[1]，昆恵介[2]，佐藤健斗[2]，稲垣潤[3]，中井要介[4]，
細谷志帆[5,6]，阿部由依[1]，田中勇治[1]

要　旨

片麻痺歩行のフォアフットロッカーを補助することを目的に、足部にエネルギー蓄積機構を有し、単脚支持期で踵挙上を支援する Heel Upper Spring AFO（HUS−AFO）を開発した。本研究ではパイロットスタディとして、健常者を対象に HUS−AFO 装着下での三次元動作解析を行い、フォアフットロッカーの出現を確認した。

【キーワード】 フォアフットロッカー、短下肢装具、開発研究

1.　はじめに

片麻痺歩行の多くは、Perry[1)]が提唱する立脚期のロッカーファンクションが破綻している。片麻痺歩行のヒールロッカーの補助と、アンクルロッカーを妨げないことを目的とした短下肢装具（以下、AFO）には、Gait Solution[2)]（パシフィックサプライ製）や RAPS[3)]（Remodeled Adjustable Posterior Strut、東名ブレース株式会社製）を代表とした足継手に底屈制動および背屈遊動機能を有した短下肢装具が普及している。このように AFO でヒールロッカー、アンクルロッカーを補助することは可能であるが、立脚期後半のイベントであるフォアフットロッカーを補助する AFO に関する報告は、我々が渉猟しえた限り見当たらない。

フォアフットロッカーはターミナルスタンス（Terminal Stance：以下 TSt）[4)]に該当し、単脚支持期において踵が離床し、前足部を回転中心として足部が回転するイベントである。多くの片麻痺者では麻痺側の単脚支持期において踵が離床しないために TSt が消失する。正常歩行における TSt の足関節運動は、足関節底屈筋の遠心性収縮を伴いながら背屈運動をしている。この TSt の足関節運動を AFO による背屈制動（または制限）機能を用いて AFO による底屈トルクによって補助しよ

1　北海道科学大学保健医療学部理学療法学科
2　北海道科学大学保健医療学部義肢装具学科
3　北海道科学大学工学部情報工学科
4　マイスター靴工房 KAJIYA
5　筑波大学附属病院
6　北海道科学大学北の高齢社会アクティブライフ研究所

投稿日：2021 年 11 月 30 日　　採択決定日：2021 年 12 月 21 日　　公開日：2022 年 3 月 31 日

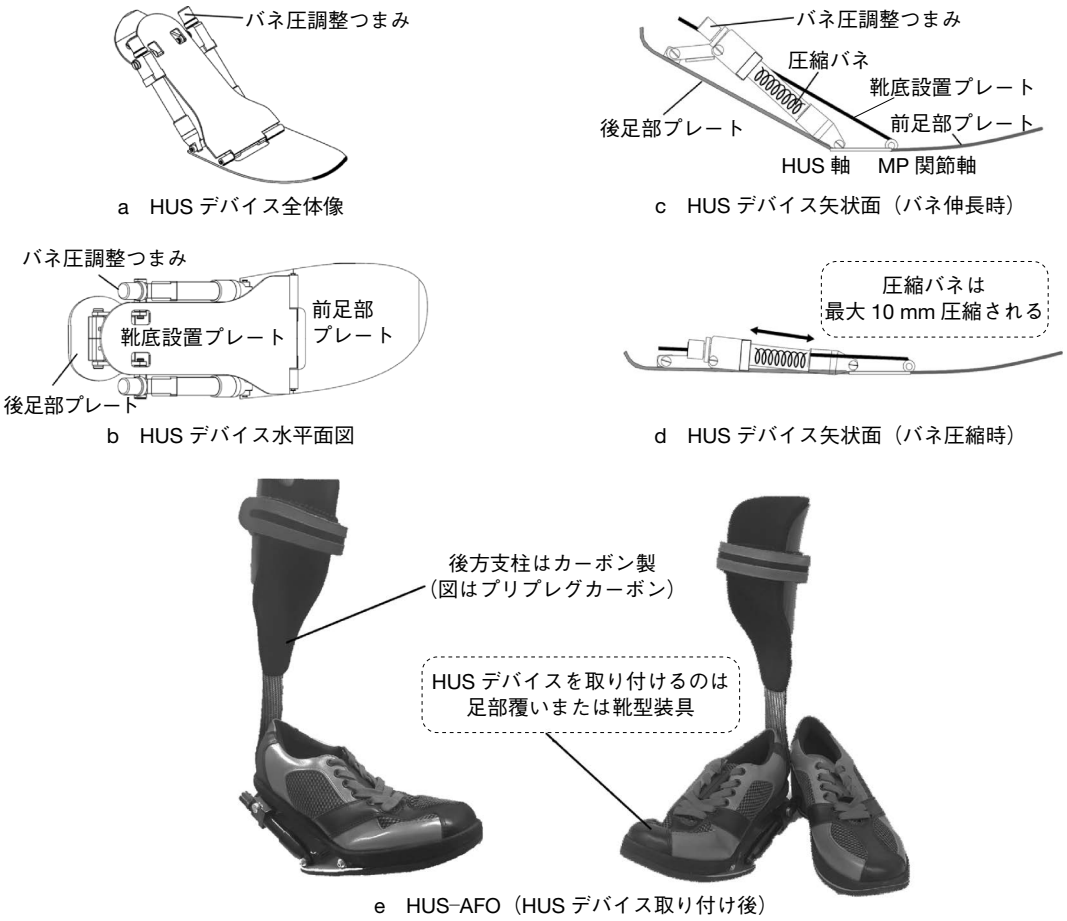


図 1　HUS−AFO デバイスの概要

うと試みても、筋の反作用（リバースアクション）の現象と同様に、下腿を後方に倒す方向に力が発生してしまい、踵挙上を支援することはできない[5,6]。また、ロッカーソールのように船底状の足底形状の靴の使用は、歩行時のロッカー機能の補助に有効である[7]が、支持基底面の狭小化により静的立位バランスへのデメリットが大きく、片麻痺者には不向きである。

以上の背景から、我々はフォアフットロッカーを補助する目的で、足部にエネルギー蓄積機構を有し、単脚支持期で踵挙上を支援する AFO（Heel Upper Spring AFO、以下：HUS−AFO）を開発した。本研究では、パイロットスタディとして健常者を対象に HUS−AFO を装着した際のフォアフットロッカー機能の再現性について、三次元動作解析手法を用いて検証した。

2.　方法

2−1　開発した HUS−AFO の概要

本研究で開発した装具は、短下肢装具の足部において靴型装具あるいは足部覆いを用いた場合に、足部底面に**図 1** に示すように、4 節リンク構造を有したデバイス（以下 HUS デバイス）は質量 340 g あり、靴底設置プレート部を対象の靴底に取り付けることで踵挙上を支援するものである。HUS デバイスの側方には、バネ定数 39 N/mm（外形 12 mm、線径 2.0 mm、総巻き数 5.5）の圧縮バネを内蔵したダンパが内外側にあり（図 1−a ～ d）、荷重をかけることで圧縮バネが最大 10 mm 圧縮し、4 節リンク構造の HUS デバイス

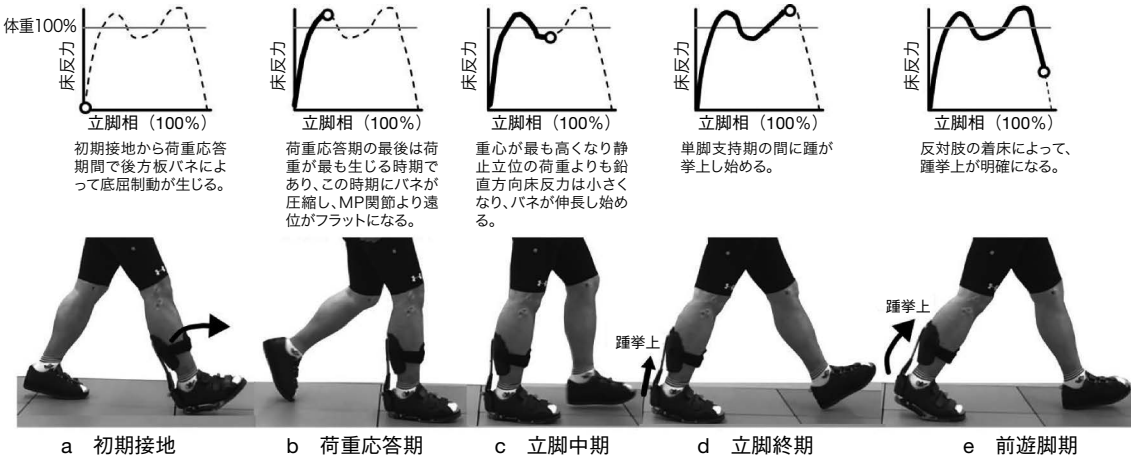


図 2　歩行中の床反力鉛直方向成分と HUS−AFO の働き

はフラットに変形する（図 1−d）。HUS−AFO（図 1−e）として利用する場合は、足関節の制御を行う設計と組み合わせることになる。図 1 の例では底背屈運動をプリプレグカーボンで製作することにより、底背屈制動が達成可能となる。臨床応用としては後方板バネ式 AFO の RAPS やカーボンアンクルセブン（OttoBock 製）と組み合わせることや、市販のリハシューズの靴底面に HUS デバイスを取り付けるなど、様々な AFO と組み合わせることが可能となる。

歩行における開発コンセプトは、**図 2** に示すように、初期接地から荷重応答期にかけては、後方板バネによる制動を行うことでヒールロッカーを機能させる。荷重応答期の最終局面では体重の 1.2 倍〜 1.4 倍の荷重を鉛直方向床反力として受け、HUS デバイスの圧縮バネが短縮し足底面がフラットに変形しながらバネのエネルギーを蓄積する（図 2−b）。

立脚中期に入ると倒立振子運動が生じ、身体合成重心は最も高くなり、鉛直方向床反力は自身の体重よりも軽くなる（図 2−c）。その結果 HUS デバイスの圧縮バネのエネルギーが解放され、バネは伸長し始める。このとき倒立振子運動の下りの局面に突入し、身体重心は下降しながら脛骨は前傾し、アンクルロッカー機能が生じる。

脛骨が前傾しながら床反力作用点（COP：Center of Pressure）の前方移動が生じることで、単脚支持期に踵が挙上し始め、立脚終期（TSt）が出現し、フォアフットロッカーが機能する。前遊脚期に入ると COP は MP 関節の前方に大きく移動し、HUS デバイスによる踵挙上アシストが機能する。

HUS デバイスによる踵挙上補助力の調整は、装具側方に位置するバネ圧調整つまみを回すことによって調整可能な構造（バネ定位数：22 N/mm 〜 41 N/mm）となっている。

2−2　被験者および方法

被検者は健常女性（21 歳、足長：23 cm）1 名とし、研究の目的および概要について書面および口頭で同意を得てから研究を実施した。また、北海道科学大学研究倫理委員会の承認（第 437 号）を得ている。

底屈制限＋背屈遊動 AFO（以下、PS−AFO）、HUS−AFO、裸足の 3 条件を計測し比較した。AFO は右側に装着し、歩行条件はメトロノームでケーデンス 110 にペーシングした定常歩行とした。

計測機器には、VICON 社の赤外線カメラ 15 台、AMTI 社製の床反力（600 mm × 400 mm）10 枚で構成される三次元動作解析システムを用いた。

計測路面は 15 m とし、その中央部に床反力計を左側に 5 枚、右側に 5 枚配置した。身体には

表1　各パラメータの結果

	PS−AFO	HUS−AFO	裸足	
TSt の時間割合	0 ± 0	24.1 ± 0.8	15.0 ± 0.9	**1
TSt 時の SVA（°）	29.4 ± 0.5	37.3 ± 3.6	38.6 ± 2.6	**1
TLA（°）	22.5 ± 2.2	25.5 ± 0.8	26.2 ± 1.0	*1
床反力進行方向成分（N/kg）	2.4 ± 0.2	3.4 ± 0.3	3.4 ± 0.4	**1
TSt の COP 前方移動（mm）	127 ± 15	159 ± 34	159 ± 20	

平均値±標準偏差。*：$p < 0.05$，**：$p < 0.01$，1：PS−AFO vs HUS−AFO

ϕ14 mm の反射マーカを貼付し、サンプリング周波数 100 Hz にて計測を実施した。三次元動作計測に当たっては身体に ϕ14 mm の反射マーカを、プラグインゲイトモデルに従って 39 点を貼付し、それに加えて、両股関節、両膝関節内側部、両足関節内側部、両第 1 中足骨頭部、両第 5 中足骨頭部の計 49 点に貼付した。装具側（右脚）から始まる 1 歩行周期を抜き出し、1 条件あたり、20 歩行周期分のデータを取得した。

TSt の抽出は、踵マーカ座標の鉛直変位を時間で微分したマーカ速度を用いて、マーカ上昇速度が 0.06 mm/s を閾値として踵離床のタイミングを抽出した。

データ解析は ViconNexus2.9 を用いた。計測されたマーカの三次元空間座標と床反力データに遮断周波数 10 Hz の Butterworth filter をかけた後、フォアフットロッカーの補助を検証する目的で、(1)TSt の 1 歩行周期に対する時間割合、(2)TSt 時の床面に対する下腿前傾角（以下、Shank to Vertical Angle:SVA）、(3)Trailing Limb Angle（以下、TLA）、(4)床反力進行方向成分、(5)TSt 時の床反力作用点（以下、Center of Pressure：COP）の前方移動量の以上 5 つのパラメータを解析した。

統計分析は SPSS（IBM SPSS Statistics27）を用いて算出した 5 つのパラメータにおける、PS−AFO、HUS−AFO、裸足の 3 条件間の差について Steel−Dwass 法を用いて検定した。有意水準は 5% とした。

3.　結果

各パラメータの結果を**表 1** に示す。(1)TSt の 1 歩行周期に対する時間割合、(2)TSt 時の SVA、(3)TLA、(4)床反力進行方向成分のパラメータにおいて、PS−AFO vs HUS−AFO の比較で統計学的有意差を認めた。

4.　考察

健常者 1 名を対象に三次元歩行動作解析を行った結果、TSt の時間割合は PS−AFO では 0% であり、単脚支持期における踵離床が消失していた。また、HUS−AFO と PS−AFO との比較では HUS−AFO で有意に高く（$p < 0.01$）フォアフットロッカーの再現性が確認された。これは、PS−AFO が有する足部の剛性が、前足部を回転中心とした足部の回転であるフォアフットロッカーを妨げているためと考える。さらに、TSt の時間割合における HUS−AFO と裸足との比較では HUS−AFO で平均値が高かった。HUS−AFO が単脚支持期における踵離床（フォアフットロッカー）を妨げないだけでなく、HUS デバイスによる踵挙上アシストによりフォアフットロッカーを補助している可能性があると考えられた。

片麻痺者のフォアフットロッカーを補助することが可能になれば、歩幅の左右対称性および麻痺側での推進力の向上[8]、麻痺側後方での両脚支持期における荷重受け継ぎの促進[9]、遊脚肢の前方への動き[4]の円滑化などの効果が期待できると考えている。

これまで、片麻痺歩行の TSt を支援する目的で AFO による背屈制動（または制限）機能を用いて AFO による底屈トルクによって補助しようと試みても、筋の反作用（リバースアクション）の現象と同様に、下腿を後方に倒す方向に力が発生してしまい、単脚支持期での踵挙上を支援することはできなかった[5,6]。また、MP 関節より遠位を背屈位に加工するトゥスプリングや MP 関節より遠位をトリミングカットするような装具への工夫は

トゥロッカーに働きかけるものであり、単脚支持期での踵挙上であるフォットロッカーを補助する機能とは異なる。我々は、AFO でフォアフットロッカーを補助するためには、単脚支持期で COP を足部回転軸より前方に移動させたうえで、積極的に踵挙上をアシストする機構が有効というコンセプトを基に HUS−AFO を開発した。足部にエネルギー蓄積機構を有し、単脚支持期で踵挙上を支援する AFO の開発は高い新規性を有している。

片麻痺者への適用としては、股関節伸展可動域制限を認めず、かつ、単脚支持期で踵離地しても膝折れを起こさずに下腿前傾が可能で、これにより発生する前方への推進力に適応できる者と想定している。この点は、適用患者や HUS−AFO の機能を有効に活用するためのトレーニング方法についての検討が必要である。また、HUS−AFO の課題としては、足底部に設置した HUS デバイスにより出現してしまう脚長差と、HUS デバイスの耐久性に課題があり、現時点では片麻痺者が日常的に使用できる段階には至っていない。そのため、今後は簡易的な装具のデザインに変更していくことが望ましいと考えている。

5. 結論

フォアフットロッカーの補助を目的に開発した HUS−AFO を健常者に装着し、フォアフットロッカーの再現性を検証した。結果、HUS−AFO 装着下におけるフォアフットロッカーの出現を確認することができた。

6. 利益相反

本研究に関して開示すべき利益相反はない。

謝辞: 本研究は JSPS 科研費（基盤研究 B：18H03562）の助成を受けた。

文献

1） Perry J：Gait Analysis：29−87, Slack, New Jersey, 1992.
2） 山本澄子：動作分析にもとづく片麻痺者用短下肢装具の開発, 理学療法科学, 18（3）：115−121, 2003.
3） 水野元実, 才藤栄一, 岩田絵美, 他：調整機能付き後方平板支柱型短下肢装具の開発―その概念と基本性能の検討―, 21（4）：225−233, 2005.
4） Gotz-Neumann K（著）, 月城慶一, 他（訳）：観察による歩行分析：5−39, 医学書院, 東京, 2005.
5） 櫻井愛子, 山本澄子, 田澤英二：短下肢装具の背屈制動機能が片麻痺者の歩行に与える影響, 理学療法学, 32（7）：406−415, 2005.
6） 春名弘一, 昆恵介, 野坂利也：脳卒中片麻痺患者に対する下肢装具の最近の動向, 理学療法, 34（4）, 344−353, 2017.
7） H Haruna, J Inagaki, K Kon, et al：The effects of rocker sole shoes on locomotion in individuals with a limited range of motion in the ankle joint, APOSM, 3014, 2018.
8） 山本澄子：正常歩行と片麻痺歩行のバイオメカニクス. 阿部浩明, 大畑光司編集, 脳卒中片麻痺者に対する歩行リハビリテーション：12−27, メジカルビュー社, 東京, 2016.
9） H Haruna, S Sugihara, K Kon, et al：Change in the Mechanical Energy of the Body Center of Mass in Hemiplegic Gait after Continuous Use of a Plantar Flexion Resistive Ankle-foot Orthosis, Journal of Physical Therapy Science, 25（11）：1437−1443, 2013.

Abstract :

To assist the forefoot rocker in the gait of patients with hemiplegia, we developed a heel upper spring AFO (HUS−AFO) in which the foot part is equipped with an energy storage system to support heel elevation during the single stance phase. In this pilot study, we conducted a three-dimensional motion analysis in healthy volunteers wearing the HUS−AFO and confirmed the occurrence of forefoot rocker.

Key words : Forefoot rocker, Ankle foot orthosis, Development research

◎症例報告

医療関連機器圧迫創傷が発生した症例に対する短下肢装具作製の工夫

Ingenuity to ankle foot orthosis for prevent medical device related pressure ulcer: A Case Study

小川秀幸[1]，新藤善之[2]，中野克己[1]

要　旨

【はじめに】下肢装具による医療関連機器圧迫創傷の発生は、歩行練習の中断やADLの自立を妨げる要因となる。**【症例】**60歳代男性、右視床出血、左片麻痺。初期評価は、下肢Brs Ⅳ、感覚は表在・深部共に中等度鈍麻であった。**【経過】**第45病日に備品装具使用中に創傷が発生した。対策として購入したサポーターを着用し、練習後は目視による確認を徹底した。本人用装具作製時には、下腿ベルトの取り付け位置とベルト内側のフェルト部分の2点を工夫した。**【考察】**創傷は、感覚障害により軟部組織が下腿ベルト部に挟まれたことを知覚できずに歩行練習を実施したことが原因と考えられた。骨突出部や直接圧迫が加わる部位だけでなく、皮膚や軟部組織の状態も確認し装具との適合を評価する必要がある。**【結論】**本人用装具作製時に下腿ベルト部を工夫することで、創傷の発生を防止し、歩行の自立や自宅退院につなげることが可能となった。

【キーワード】医療関連機器圧迫創傷、プラスチック短下肢装具、備品装具

1.　はじめに

医療関連機器圧迫創傷（Medical Device Related Pressure Ulcer：以下、MDRPU）は、自重によらない医療関連機器による医原性褥瘡であり、より安全で質の高い医療を提供するために関心が集まっている。MDRPUは、従来の褥瘡すなわち自重関連褥瘡（self load related pressure ulcer）とは異なり、医療関連機器による圧迫で生じる皮膚ないし下床の組織損傷と定義されている[1)]。一般病院における褥瘡のうちMDRPUの占める割合は12.4％であり、その内訳は、ギプス（15.9％）、医療用ストッキング（14.3％）、気管内チューブ（8.8％）、次いで下肢装具（6.8％）であった[2)]。MDRPUの発生を防止することは、医療事故を防ぎ安全な医療の提供につながるため医療従事者にとって重要な課題である。

医療従事者である理学療法士（以下、PT）が関係するMDRPUに下肢装具が挙げられる。下肢装具は、脳卒中患者の歩行再獲得に対してエビデンスレベルの高い医療関連機器である[3)]。PTが回復期病棟で下肢装具の活用に関わる頻度は、「ほぼ毎日」が53.4％であった[4)]。このことから、PTが運動療法に装具を活用する頻度は高いことが推察される。

1　埼玉県総合リハビリテーションセンター 理学療法科
2　有限会社 浦和義肢装具製作所 義肢装具士
投稿日：2021年11月22日　　採択決定日：2021年12月2日　　公開日：2022年3月31日

図 1　第 1 病日の MRI による FLAIR 画像
右視床出血を認める。

一方で、下肢装具使用中に MDRPU が発生した場合には、歩行練習の中断や Activities of Daily Living（以下、ADL）自立の阻害因子となるため、創傷を防止する対策が求められる。下肢装具による MDRPU は、感覚障害を有すること、年齢が若いことなどが創傷発生の要因として報告されている[5]。しかし、下肢装具による創傷が発生した症例による具体的な原因分析や解決に向けた対策など統一された見解は示されていない。

今回、備品装具により MDRPU が発生した症例に対する原因分析と本人用装具作製の工夫について報告する。

2.　症例

2−1　症例紹介

60 歳代男性、右視床出血による左片麻痺。第 1 病日の MRI 画像を**図 1** に示す。病前の ADL は自立、単身独居で都内にて就労していた。キーパーソンは関東圏在住の長男であった。

2−2　理学療法評価

初期評価と最終評価の結果を**表 1** に示す。初期評価は、Brunnstrom recovery stage（以下、Brs）上肢Ⅴ−手指Ⅴ−下肢Ⅳ、Stroke impairment assessment set（以下、SIAS）は 47 点であり、感覚障害の細項目は触覚 2 点、位置覚 1 点であった。Berg balance scale（以下、BBS）は 5 点であり、Functional Independence Measure（以下、FIM）は運動項目 33 点、認知項目 19 点、合計 52 点であった。Mini Mental State Examination（以下、MMSE）は 29 点、左半側空間無視や注意障害などの高次脳機能障害は認めなかった。日中の移動様式は車椅子駆動見守りであった。

表 1　初期評価と最終評価の比較

	初期（第 17 病日）	最終（164 病日）
Brs		
上肢	Ⅴ	Ⅴ
手指	Ⅴ	Ⅴ
下肢	Ⅳ	Ⅴ
SIAS		
合計点	47	64
触覚	2	2
位置覚	1	1
BBS	5	37
FIM		
運動	33	83
認知	19	30
合計	52	113
MMSE	29	30
高次脳機能障害	無し	無し
日中の移動様式	車椅子	院内歩行自立
10 m 歩行		
時間		14.8 秒
歩数		20 歩
6 分間歩行テスト		220 m

Brs : Brunnstrom recovery stage, SIAS : Stroke impairment assessment set, BBS : Berg balance scale, FIM : Fanctional independence measure, MMSE : Mini Mental State Examination

最終評価は、Brs 上肢Ⅴ−手指Ⅴ−下肢Ⅴ、SIAS は 64 点であり、感覚障害の細項目は触覚 2 点、位置覚 1 点であった。BBS は 37 点、MMSE は 30 点、FIM は運動項目 83 点、認知項目 30 点、合計 113 点であった。日中の移動様式は T 字杖と継手付プラスチック短下肢装具を使用して病院内自立、屋外見守りであった。なお、10 m 歩行は 14.8 秒、20 歩、6 分間歩行テストは 220 m であった。

2−3　経過

症例の経過を**図 2** に示す。急性期治療を経て第 16 病日に当院回復期リハビリテーション病棟に転院となる。第 20 病日から備品装具のプラスチック短下肢装具を貸し出して看護師見守りでの平行棒内歩行練習を開始した。第 28 病日に継手付プラスチック短下肢装具に変更した。第 36 病日に備品

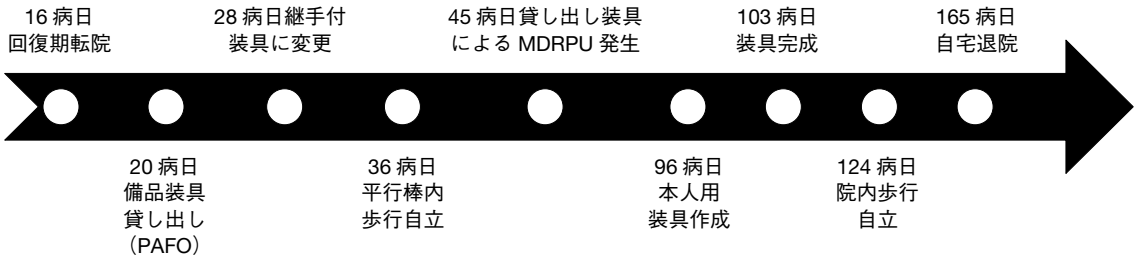


図 2　症例経過

当院入院から退院までの時系列を示す。

PAFO: Plastic Ankle Foot Orthosis, MDRPU: Medical Device Related Pressure Ulcer

図 3　MDRPU 発生時の再現

下腿ベルト装着時に皮膚を含めた軟部組織を挟み込んでしまい、その状態で歩行練習を実施した結果、MDRPU が発生した。

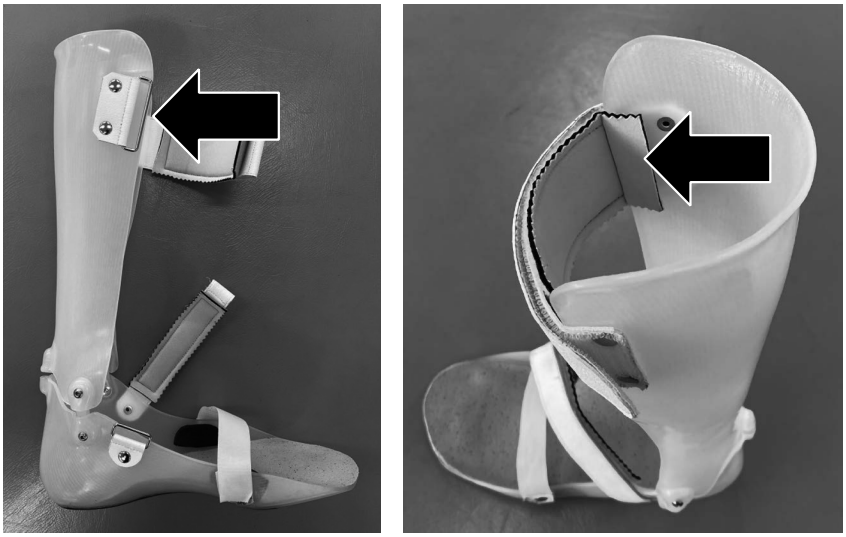
図 4　貸し出し装具使用時の対応策

装具と皮膚が直接触れないようにサポーターを装着した。

装具を使用して平行棒内での歩行練習が自立となった。第 45 病日に下腿ベルトと内壁に挟まれた部位に縦 2.8 cm、横 0.5 cm の MDRPU が発生した（**図 3**）。備品装具への対策は、装具と皮膚が直接触れないように購入品のサポーターを装着した（**図 4**）。また、装具の使用方法についてパンフレット[6]を用いて説明し、歩行練習の前後で創傷の悪化や発赤などがないか目視による確認を患者本人と共に徹底した。第 96 病日に本人用装具を採型し、第 103 病日に継手付プラスチック短下肢装具が完成した。本人用装具作製時の対策は、ベルト装着時に皮膚などの軟部組織を巻き込まないように、下腿部のベルトを通すカンが装具の外壁よりも前に突出しない位置に取り付けること（**図 5**−a）と、下腿ベルト内側のフェルトを通常よりも長くして締め付けた時に軟部組織を巻き込まないようにすること（**図 5**−b）の 2 点を工夫した。本人用装具完成後は発赤や創傷は発生せず、第 124 病日に院内歩行自立となり、第 165 病日に自宅退院となった。

2−4　倫理的配慮

本研究は当院倫理審査委員会の承認を得て実施した（承認番号：R3−109）。本人への説明は、書面



a　　b

図 5　本人用装具作製時に工夫した対応策

5−a：下腿部のベルトを通すカンが装具の外壁よりも前に突出しない位置に取り付けた。

5−b：下腿ベルト内側のフェルトを通常よりも長くして締め付けた時に軟部組織を挟み込まないようにした。

を用いて実施し同意書に自署による承諾を得た。また、ヘルシンキ宣言に則って実施し、個人の情報が特定できないようデータは匿名化した。

3.　考察

3−1　MDRPU 発生の原因

感覚障害は、MDRPU 発生の関連要因であることが報告されている[7]。糖尿病患者では、感覚障害が原因で足部などに傷が発生するリスクが高く[8]、脳卒中患者においても下肢装具による MDRPU 発生に関連していることが報告[5]されている。感覚障害は、痛覚を低下させ、皮膚の菲薄箇所や骨突出部への圧集中、装具が皮膚を直接圧迫する裂傷などに気づくことを鈍化させる可能性がある[9]。本症例では、発症前に食生活の見直しや運動の継続により体重が 80 kg から 63 kg まで減少していた。その結果、皮膚を含めた軟部組織が伸長し、装具装着時に下腿ベルトにより挟まれやすくなったことに加えて、感覚障害によりこれらを知覚できず、その状態で歩行練習を実施したことが MDRPU 発生の要因であると考えられた。このことから、装具を装着する際には、骨突出部や直接圧迫が加わる部位だけでなく、病前からの体重変化や皮膚・軟部組織の状態も確認し、装具との適合を評価する必要がある。

また、貸し出しの備品装具は、本人用装具よりも MDRPU が発生しやすいことが報告されている[5]。これは、備品装具は本人の体格に合わせて採型されたものではなく、装具と身体との不適合から創傷が発生しやすいと考えられる。本研究においても備品装具使用期間中に創傷が発生しており、備品装具との適合が不良な場合には創傷防止の観点からも早期に装具を作製し、本人用装具で歩行練習などを実施することが必要ではないかと考える。

3−2　MDRPU 防止に向けた対策

MDRPU を防止するための対策として、装具を着用する際には、装具と皮膚が直接触れないようにサポーターを購入して装着することも検討が必要である。また、本人用装具作製時の対策は、ベルト装着時に皮膚などの軟部組織を巻き込まないように、下腿部のベルトを通すカンが装具の外壁よりも前に突出しない位置に取り付けること

(図 5−a)と、下腿ベルト内側のフェルトを通常よりも長くして締め付けた時に軟部組織を巻き込まないようにすること(図 5−b)の 2 点を工夫した。これらは、今回装具の作製を担当した義肢装具士と相談し協力を得た。

PT は、装具作製時に患者の身体機能と装具の役割、目指す歩容や生活洋式、さらには MDRPU 発生リスクなども考慮して、事前に主治医に報告・相談をしてから義肢装具士と作製に関する相談をすることが重要である。そして、患者自身やご家族に対して装具の役割や有効性について説明し同意を得ておくことも重要である。さらに、長期間の使用により破損や劣化、傷ができるなどのトラブルが発生する可能性があること[10]、身体障害者手帳の取得により装具を再作製できる制度があることなどを説明することが必要である。

4. まとめ

備品装具使用中に下腿ベルト装着時に皮膚を挟み込んでしまったことが原因で MDRPU が生じた症例に対して、本人用装具作製時に下腿ベルト部を工夫することで創傷の発生を防止し、歩行自立などの活動性拡大や自宅退院につなげることが可能となった。

5. 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ない。

引用文献

1) 日本褥瘡学会(編): ベストプラクティス 医療関連機器圧迫創傷の予防と管理 : 6−22, 照林社, 東京, 2016.

2) 須釜淳子, 石澤美保子, 鎌田直子, 他 : 療養場所別医療関連機器圧迫創傷の有病率, 部位, 重症度(深さ), 有病者の特徴, 発生関連機器. 褥瘡学会誌, 17 : 41−58, 2015.

3) 藤原俊之. 脳卒中ガイドラインと装具のかかわり. 義装会誌, 31 : 149−151, 2015.

4) 日本支援工学理学療法学会　福祉用具・義肢・装具支援に関する啓発と実態調査〜装具編〜. http://www.japanpt.or.jp/upload/japanpt/obj/files/chosa/sougu_h29_04.pdf(2021年11月1日引用)

5) 小川秀幸, 西尾尚倫, 中野克己, 他 :下肢装具による医療機器圧迫創傷に関連する要因. Jpn J Rehabil Med, 58 : 828−836, 2021.

6) 装具と上手に付き合うために. URL：https://www.pref.saitama.lg.jp/rihasen/annai/byouin/documents/sougu-panfu.pdf(2021年11月27 日参照)

7) 菊池　守, 上村哲司 : 下肢救済・フットケア分野における装具に関するガイドライン. 日本義肢装具学会誌, 31 : 161−165. 2015.

8) Dyck, PJ, Davies JL, Wilson D, et al. : Risk factors for severity of diabetic polyneuropathy: intensive longitudinal assessment of the Rochester Diabetic Neuropathy Study cohort. Diabetes Care, 22 : 1479−1486, 1999.

9) Klit H, Finnerup NB, Anderrsen G, et al. : Central poststroke pain: A population-based study. Pain, 152 : 818−824, 2011.

10) 小川秀幸, 西尾尚倫, 中野克己, 他. 生活期脳卒中者の短下肢装具継続使用における使用状況とトラブル発生との関係. 日本義肢装具学会誌, 掲載待機中

Abstract :

Background: Medical device related pressure ulcer caused by ankle foot orthosis is a factor that hinders the interruption of walking practice and the independence of Activities of Daily Living.

Case: A 63-year-old man. Left hemiplegia due to right thalamic hemorrhage. Evaluation at admission was lower limb IV for Brunnstrom recovery stage, superficial sensation and deep sensation moderate bluntness. On the 45th day of illness, a wound occurred in the area between the lower leg belt and the inner wall.

Discussion: It is important to check not only the protruding part of the bone and the part where direct compression is applied, but also the change in body weight and the condition of the skin and soft tissues before the disease. Also, it is necessary to evaluate the compatibility with ankle foot orthosis.

Key words : Medical Device Related Pressure Ulcer, Plastic ankle foot orthosis, Lending ankle foot orthosis

◎原著

下肢装具の処方からフォローアップにおける課題
理学療法士の視点から

Challenges and solutions in follow-up after prescription of lower limb orthoses

松岡瑞雄[1]，橋爪祐美[2]，柳久子[2]

要　旨

【目的】下肢装具の処方からフォローアップにおける課題が指摘され続けているが、未だに解決に至っているとは言い難い現状がある。本研究は、それらの諸課題を惹起する要因、またはその解決を阻害する因子について理学療法士の視点から質的に明らかにする。

【方法】急性期・回復期病院、訪問リハビリテーション事業所、介護老人保健施設、行政機関で勤務する理学療法士 9 名に対し、半構造化面接を行った。分析はグラウンデッド・セオリー・アプローチの継続的比較分析を援用した。

【結果】中核カテゴリ「ユーザーを難民化させる」を構成する 4 つの主要カテゴリ、16 のカテゴリ、58 のサブカテゴリが抽出された。

【結論】卒前から卒後における系統的教育体制が整っていないことや、フォローアップを中心的にマネジメントする職種が不明確なこと、心身機能や経済状況等のユーザー側の課題など、多岐にわたる課題が抽出された。

【キーワード】下肢装具、フォローアップ体制、教育体制

1.　はじめに

脳卒中をはじめとした疾患により恒常的、あるいは半恒常的に損なわれた下肢機能を補完するため、下肢装具が処方されることは多い。下肢装具は、ユーザーの身体状況に適合し、正しく装着されることでその機能が十分に発揮され、動作の安全性向上や効率化、あるいは関節の変形予防に貢献する[1,2]。だが、経年劣化や身体状況の経時的変化による不適合化は避けられない。従って、専門職による評価のアップデート、およびそれに基づく介入を不断に行う必要がある[3-9]。しかし、そのような体制が十分に整っているとは言い難く、接着力を失ったベルクロにスナップボタンを縫い付けて補修したり、破損をガムテープや接着剤で修繕しているようなケースは存在し続けている。また、筋萎縮や浮腫の増強により不適合となった状態で痛みを訴えるユーザーに遭遇することも少なくない。それにも関わらず、相談窓口の周知は進んでおらず、74% のユーザーは装具の耐用年数を知らないという報告もある[9]。

また、ユーザーと専門職との間に生じる下肢装具に対する認識の相違についても重大な問題として指摘されている[10,11]。下肢装具の処方は、明日[12]や賀好[13]が述べているように機能面のみで

1　植草学園大学　保健医療学部
2　筑波大学　医学医療系 准教授
投稿日：2021 年 11 月 12 日　　採択決定日：2021 年 12 月 10 日　　公開日：2022 年 3 月 31 日

表 1　研究対象者の属性情報及び面接時間

勤務地	経験年数（他施設での経験年数）	面接時間
①急性期病院	29 年目（急性期～生活期 3 年）	46 分
②急性期病院	10年目（訪問リハビリテーション1年）	25 分
③回復期病院	14 年目	46 分
④回復期病院	10 年目	50 分
⑤回復期病院	10 年目	48 分
⑥回復期病院	10 年目	40 分
⑦介護老人保健施設	16 年目（生活期、通所介護 9 年）	45 分
⑧介護老人保健施設	15 年目	23 分
⑨行政機関（市役所）	15 年目（急性期～回復期 6 年）	41 分

なく、使いやすさや重量、外観、介助者の意向も考慮して検討されなければならない。しかし、製作前に必要なコミュニケーションやアセスメントが充分に行われていない場合があり、専門職の意図に反し屋内は使用しない、あるいは逆に一日中装着したまま生活を送るケースを輩出している[14,15]。

このように、望ましくない状態で下肢装具を使用し続けているユーザーは“装具難民”と称されることがある*a。本論ではこの名称を「心身機能の制限、あるいは社会・環境的要因等により、不適切な状態で下肢装具を使用し続けているユーザー」と定義する。

このような装具難民を生み出さないようなシステムを追求するにあたり、専門的知識を有し、日常的に取り扱う機会も多い理学療法士（Physical Therapist；以下 PT）が中心的役割を果たすことが期待される。だが、現実にはその期待に十分応えられているとは言い難い状況がある。装具難民の解消に向けた様々な試行も散見されているが、一般化した解決策は導き出されていない。

このように装具難民をめぐる課題は多く指摘されているものの、それらが生み出されるメカニズム、そしてその解決を阻害している要因については不明な点が多く残されている。また、病院機能分化により役割の細分化が進むなかで、各病期で勤務する PT が認識している課題について明らかにした報告は見いだせない。

そこで本研究では、処方からフォローアップまでのプロセスにおいてユーザーと接している PT のリアルな語りから分析する質的研究により、上記課題の背景にある要因を明らかにすることとした。

2.　対象および方法

下肢装具の処方からフォローアップにおける課題を複眼的に明らかにした先行研究が乏しいことから、質的記述的調査による探索的研究を行うこととした。筆頭著者は大学院（博士課程）に在籍しており、修士課程より質的研究を学んでいる。研究対象は、関東で勤務し通常業務内で下肢装具を扱う PT 9 名とし、半構造化面接を行った。下肢装具に関わる時間と頻度が多いと報告されている*b 回復期に勤務する PT は 4 名を対象とした。参加者はすべて機縁法にてリクルートした。なお、すべての参加者は本研究計画の立案等には一切関与していない。参加者の勤務施設や経験年数、キャリアなどの属性情報は**表 1** に示す通りである。

面接のインタビュアーは筆頭著者が行った。筆頭著者は急性期病院と通所介護サービス事業所等での勤務経験があり、治療用装具、更生用装具ともに製作に関わった経験を有している。面接は個人ごとに行い、参加者の希望に応じオンライン、または対面で行った。参加者には事前に研究の説明文書及び説明動画をメール、または郵送にて送付し書面にて同意を得た。発言内容は、参加者の許可を得て IC レコーダーで録音した。

インタビューガイドは「下肢装具に関する情報共有体制の不備」[2-6]や「フォローアップの充実を制限する現行体制」[7]、「医療職種の説明内容における不備」[8]、「下肢装具に対する医療職とユーザーの間に生じる認識の相違」[9,10]といった多様な課題を指摘した先行研究を基に、研究参加者以外の PT 4 名、作業療法士 2 名、看護師 3 名、医師 1 名、義肢装具士（Prosthetics and Orthotics；以下、PO）2 名との議論の上作成した（**表 2**）。デー

＊ a：パシフィックサプライ、https://www.psupply.co.jp/topics/index.php?act=detail&id=340&type=0（2021/4/5 確認）

＊ b：日本理学療法士協会・日本支援工学理学療法学会、https://www.japanpt.or.jp/assets/pdf/activity/investigation/sougu_h29_04.pdf（2021/6/21 確認）

表 2　インタビューガイド

・経験年数
【製作に関わる PT】
・処方時に説明を行う際、意識している、工夫していることはありますか。
・製作目的や装着方法、生活上の注意点など、装具に関する患者への説明は主に誰が担っていますか。
【製作には関わらないが下肢装具は取り扱う PT】
・下肢装具について説明を行う時に意識している、工夫していることはありますか。
・これまで見てきた装具で印象に残ったものや、疑問に思ったこと、課題と感じたことはありますか。
【共通】
・正しく使用することが難しい、あるいは使用しない（と感じる）ユーザーにはどのような特徴がありますか。
・医師とのパワーバランスが、下肢装具の適切性や関連する業務にどのような影響があると思いますか。
・ユーザーの身体状況や生活状況、社会状況に適した装具が提供されるためには何が重要だと思いますか。
・PT は更生用装具など装具に関する社会制度や手続きについて、どの程度理解していると思いますか。
・下肢装具に関するマネジメント力に、経験年数や教育背景がどのように影響すると思いますか。
・通常業務において PO とコンタクトをとる機会はありますか。ある場合は、どのような時ですか。
・フォローアップ体制を充実させる必要性が指摘されていますが、十分整備されとは言い難い現状があると思います。その理由は何だと思いますか。あるいは、何が整えば解決されると思いますか。

タの分析と解釈は、本研究課題の背景に下肢装具の処方と製作に関わる専門職の各教育制度や医療福祉施策における多様な文脈の探索を行う必要があると考えたことから、グラウンデッド・セオリー・アプローチ法の継続的比較分析法を援用することとした[18]。

本研究のカテゴライズは次のプロセスで行った。まず、録音した音声データすべてを文字に起こし逐語録を作成した。次に、逐語録から一定の意味内容を把握できる語りを切片化してコードを付けた。共通するコードのデータをまとめ、抽象化してカテゴリ名を付け、それらをまとめた表を作成した(**表 3**)。分析結果の妥当性については以下 3 つの手続きをとった。

1) 質的研究の学術誌にグラウンデッド・セオリー・アプローチ法を用いた原著論文の採択経験のある共著者から、解釈したコードやカテゴリ名についてスーパーバイズを受けた。
2) 1)について個人情報を排除した上で、同様の背景をもつインフォーマントに内容を提示し異論のないことを確認した。
3) PT 4 名、作業療法士 2 名、看護師 3 名、医師 1 名と分析結果の妥当性について検討の機会を設けた。

本研究は、所属施設の倫理審査委員会の承認（第 20−03 号）を得て実施した。

3.　結果

面接は 1 日あたり 1 回で、面接時間は平均 40.4（± 9.3）分であった。ユーザーが難民化する（装具難民となる）ことは自然発生的なことではなく、社会的な関わり合いの中で「難民化してしまう」経過があることから、中核カテゴリは『ユーザーを難民化させる』が抽出された。そして、それを構成する 4 つの主要カテゴリ【系統的な教育体制の不整備】、【関連職種との関係性における課題】、【ユーザー側の課題】、【制度的な課題】が、そして 16 のカテゴリ、58 のサブカテゴリが抽出された。以下、インフォーマントから語られた具体的なデータを引用して述べる。

3−1　系統的な教育体制の不整備

3−1−1　卒前教育が与える影響

「在学中に習ったのだろうという気はするんですよね。更生用装具の制度とか治療用装具の役割とか～（中略）～ほとんど記憶に残ってないんです。～（中略）～（記憶に残っている）スタッフ、セラピストは非常に少ないと思います。」（④）

と治療用装具と更生用装具という制度上の違いを理解していない PT が多いことが語られた。また、臨床実習が卒後の下肢装具への対応に与える影響についても聴取された。

「僕もたぶん実習先で回復期病院に行ったときにそういった方を担当させていただいてから“あぁ、そうやってやるんだな”ってことを初めて学んだので。そういう経験値があるかないかとかでも違うのかなと思います。」（⑤）

この他にも、実際に遭遇するトラブル事例や実物を用いた臨場感ある学習が重要であるという語りが聴取されたことから抽出された。

「すごく経年劣化した装具っていうのを実際にモノだけでもいいし、見るっていう機会っていうのは重要かなって思いますよね。」（②）

表 3　下肢装具ユーザーを難民化させる要素

中核カテゴリ	主要カテゴリ	カテゴリ	サブカテゴリ
ユーザーを難民化させる	系統的な教育体制の不整備	卒前教育が与える影響	自宅復帰後に生じえる具体的な課題について臨場感を持って伝えられていない 治療用・更生用装具の制度に関する学習、理解が不十分 臨床実習での配属施設により下肢装具の見学や体験の機会に差異が大きい
		卒後教育が与える影響	下肢装具に関する職場研修は乏しい 職場内で教育できる十分な知識と経験を有した職員がいない（育成できていない） 在宅復帰後にユーザーが直面しやすい下肢装具の課題について学ぶ機会が乏しい 製作に関わっても在宅復帰後使用状況や実際を知る機会がないため学びが得にくい 実生活における課題について現実感が乏しいため学習意欲の向上に繋げにくい
		教育体制全般が与える影響	施設間で交換・共有すべき情報が分からない 在宅を見た経験の量や質が下肢装具に関するマネジメント能力に大きな影響を与えている 興味・関心の有無や、勤務地による下肢装具に接する機会の差異により知識量の個人差が著しい 丁寧な説明はトラブル回避に寄与するが、説明するべき内容が分からない
		説明内容の不備・不足	適切な下肢装具のマネジメントに繋がる説明や工夫が不十分 病態に対する下肢装具の役割に関するユーザーの理解を深められていない
		ニーズとの不適合	製作前のアセスメントが不十分 ユーザーとの下肢装具に関する事前の認識共有が不十分
	関連職種との関係性における課題	関連職種間の相互理解不足	ケアマネジャーや訪問看護師など在宅支援職種との下肢装具に関する連携が充分ではない 施設間の情報交換が促進される土壌が整っていない 情報提供が双方向で行われていない 病期による視点の相違を理解する契機がない 情報提供先に対する越権的内容となるないように最低限の情報提供に止まってしまう ケアマネや家族など在宅支援関係者への情報提供が十分行えていない 病期を通じた一貫した説明が行えていない 説明内容に関する他職種間の相互理解が不十分 施設・事業所間（医医・医介・介介）の情報提供量、質ともに不十分 小規模内での地域連携が望ましいが、その視点は認知されていない 関係職種の教育的、社会的背景に関する理解が不十分なため、相互への要望が過剰になりやすい
		ケアマネジャーとの関係性	下肢装具に関する意識や知識量は職歴による個人差が大きい 依頼件数に影響することを危惧し、新たな業務となる下肢装具のマネジメントの依頼は行いにくい
		医師との関係性	知識や関心がある医師が少ない 専門医以外では装具に関する説明から選択まで PT や PO に丸投げ状態となる 円滑な業務遂行のためには積極的な介入は望まない 医師への忖度、遠慮により処方される装具の適切性に影響が出ることがある
		義肢装具士との関係性	多忙なため修理や再調整に消極的な義肢装具士もいる 週に 1 日程度の関わりになるため、関わりが希薄である 必要以上のコミュニケーションをとる機会も時間もない
	ユーザー側の課題	心身機能が与える影響	心理状況が下肢装具の受け入れに影響を与える 認知機能がマネジメントに影響を与える 残存機能が装着の頻度や正確性に影響を与える キャラクターがマネジメントに影響を与える リハビリテーションサービスに前向きになれず、身体機能に二次的障害を惹起することがある
		経済状況が与える影響	経済状態により製作する装具の種類等に影響を及ぼす
		同居者の有無が与える影響	介助者の有無により装着頻度や各種申請手続きなど下肢装具のマネジメントに差が出る 同居者がいなければ身体状況や歩行の変化に気づきかれにくい 破損を自己判断、自己流で修繕してしまう 説明事項や諸手続きについてユーザーだけでは記憶し続けておくことは難しい 心身機能に制限があるユーザー本人だけではマネジメントできないことが多い
	制度的な課題	収益性の乏しさ	報酬がないため医療機関がフォローアップ体制の構築に積極的になれない PO が常態的に地域包括ケアに参画できる環境整備が不十分
		実態に合わない現行制度	修理、再製作に要する手続き期間が長い 治療用装具と更生用装具の主旨が異なるため系統性が担保されにくい 中枢疾患を含めた多くの疾患に対する下肢装具の処方を整形外科医が担うことがある 制度設計が複雑で分かりにくい
		マネジメントする職種が不明確	専門職種による適切なフォローアップが行き届かない リハビリテーションサービスを利用していないユーザーはフォローアップが行き届かない ケアマネジャーのケアマネジメントに下肢装具が組み込まれていない PO が常態的に地域包括ケアに参画できていない
		業務過多	業務多忙により具体的な解決に取り組む余裕がない

3-1-2　卒後教育が与える影響

卒後教育の限界についても複数語られた。比較的下肢装具の製作に関わる機会がある回復期、あるいは急性期で勤務するPTは、自宅退院後に生じる不具合について経験する機会がないため、臨床経験から学ぶ機会が乏しい現状も語られた。そして、このような学習機会の不足から、在宅支援職種が求める情報への理解が深まりにくいと解釈された。

「装具自体に問題が出始めるのは数年、普通に使っていたら年単位になるので、そういう意味での退院後の生活状況を見ることがあまりないんですよ」(④)

「急性期は時間が経過すれば退院、転院していくため先が分からない。その先で困っているかどうかっていうフィードバックがないので、気が付いていないだけで多分相当困っているケースはあるのかもしれません。」(①)

3-1-3　教育体制全般が与える影響

卒前から卒後へのシームレスな教育体制が構築されていないことで、卒前に学んだ知識を臨床に活かしきれない現状が語られたことから抽出された。また、在宅支援に関わるPTからは、在宅での下肢装具の実際を知らなければ適切な下肢装具の製作は難しいとの語りが聞かれた。

「実際に処方する場に立ち会って、新規に装具ができあって、見て、その後どうなっていくのかということを見ることで学ぶので。～(中略)～でもそういう教育ってないですよね。」(④)

「私も初め急性期で研修を受けていたのですが、病気、疾患とか機能面で装具を作っていましたが、実際その人が生活する場面でどのように使うのかってことが全然想像できなくて、やっぱりそういう経験がないと最初からの処方って難しいよなって今は思います。」(⑧)

3-1-4　説明内容の不備・不足

下肢装具の製作に関わるPTは、在宅復帰後にユーザーが遭遇する可能性が高いトラブルについて学ぶ機会が乏しいため、退院時に伝えるべき説明内容や分かりやすく伝える工夫が不足しがちになっていると解釈された。

「先々のことが見えていないんです。だから、長く使っているとこういうところに潰瘍ができやすいんですよとか、こういうところがひび割れてきますと。割れたらこうなるので、絶対使わないでくださいとかってことを言わなければいけないのに」(①)

「私たちも更生用装具とかの説明はしていないと思います。説明しているのは、当院で処方した装具に関しての金額とか書類関係の話しかしないです」(⑥)

「(説明は書面などを用いておらず)業者さんから渡す領収書とか、そういうところぐらいの紙しかなくて、その相談窓口のようなものは多分(ユーザーに)わたっていないですね。渡してもいないと思いますし、連絡もしていないと思います。」(①)

3-1-5　ニーズとの不適合

製作前に、退院後の生活状況やニーズについて十分な聞き取りが行われていないことに加え、専門性が高い歩容に注目するあまり、実生活の環境に則した下肢装具の製作に至っていない可能性があると語られたことから抽出された。

「PTとしては使った方が正常な筋収縮で歩行ができるとか、歩容が良くなるのはやっぱりこっちは嬉しいから、どうしてもそこに注目しちゃうけど、実際患者さんがそこにメリットを理解して感じてつけるかっていうと、そこまで意識をすり合わせて処方されていないってことがありますよね。」(④)

3-2　他職種との関係性における課題

3-2-1　関係職種間の相互理解不足

ユーザーが次に利用するサービスへ移行する際、受ける側の専門職が求めている下肢装具に関する情報が不足しているだけでなく、インタラクティブな情報交換が行える土壌も醸成されていないことが語られた。また、他の関連職種が行っている下肢装具に関する説明内容を把握していないという語りから抽出された。

「リハサマリーとは別でA4で1枚“装具作成経過書”みたいなものがあったとしますよね。判定医がどういうふうな判定をしたのか、POがどんな意見を出したのか、セラピストがどのような関与をしたのかとか、もしもペラ1枚でもあると全然違うと思いますよ。」(⑦)

「何かご不明な点があればお電話くださいって書いてあるから、それで本当に電話したら「え？なんですか？」みたいになるんですよ」(⑦)

「(下肢装具に関する説明を)誰がどういう説明をしているかということも知らないと思います。」(⑥)

3-2-2　ケアマネジャーとの関係性

以下の語りから、PTとケアマネジャー(Care Manager；以下、CM)との関係性が、下肢装具処方・製作後のフォローアップに影響を及ぼしていると解釈された。

「装具を作って次のサービスに移行するときに、しっかりCMなり家族なりに、見直し時期ですとか、予想される装具の問題点とかを、事前に伝えておいて、どこに相談するのかっていうのを伝えてほしいなと思っています」(⑧)

「多分それ(CMに下肢装具のマネジメントを依頼すること)をやっちゃうと、～(中略)～外部の居宅さんから訪問リハの新規依頼をもらうわけじゃないですか。"あそこのPT関わるとちょっと面倒なこと言うよね、あそこに依頼かけることはやめておこう"って話になるじゃないですか。」(⑦)

3-2-3　医師との関係性

下肢装具の選択から説明に至るまで、コメディカルに丸投げ状態となっている現状が複数語られた。それに対し、処方医としての責務を果たすべく関心をもってほしいという感情が語られた。しかし一方で、医師の発言に異論や反論は言い難く、下肢装具の選択や設定における適切性や業務の円滑な遂行に影響を及ぼすこともあるため、積極的な介入は望まないという対極の語りが認められたことから抽出された。

「装具ってなるとセラピストにお任せみたいな感じなので～(中略)～装具ってなっちゃうとほんとにこう先生たちにとってはなんか別世界のものじゃないですけど。そのへんはもうPTが専門でしょ、頑張ってみたいな感じがあるんじゃないかと思います。」(③)

「やっぱりある程度忖度するじゃないですか。お医者さんが言ってることに"そうですね。"って言わざるを得ないじゃないですか。そこをしないでいいのは、ある程度こっちに任せてくれるお医者さんですね。」(②)

3-2-4　義肢装具士との関係性

在宅支援にPOがより積極的に関わることが望ましいという語りが複数あった。また、装具診以外でPOとの接点はなく、下肢装具に関する情報収集や相談といったコミュニケーションが図られていないことから抽出された。

「特にPOの生活場面でのマネジメントっていうものがもう少し入れると違うかもしれない。」(⑦)

「(装具診以外でPOとのコミュニケーションは)ないですね。～(中略)～領収書関係のご連絡くらいなので、普段のコミュニケーションはそれくらいしかないですね。」(⑤)

3-3　ユーザー側の課題

3-3-1　心身機能が与える影響

ユーザー側の課題として、認知機能や障害受容が下肢装具の適切な使用や管理に影響するという語りがあったことから抽出された。

「認知機能の問題で装具を着けたり外したりとか、どのタイミングで着けるのかとか、そういったことがなかなか理解できない方もいらっしゃる」(③)

3-3-2　経済状況が与える影響

一時全額支払う費用が用意できず下肢装具の製作をためらう、あるいは修理に前向きになれないケースを経験するとの発言が複数認められたことから抽出された。

「一回立て替えないといけないから、その額が出せないんですよね。」(①)

3-3-3　同居者の有無が与える影響

下肢装具の管理においてはユーザーが行わなければならないことが多くあるが、前述したようにユーザーの心身機能に問題がある場合は同居者が代行することとなる。同居家族がいても老老介護の場合は対応困難となることが解釈された。

「靴のサイズが左右で変えなきゃいけないとか。かなり患者さん自身がやらなきゃいけないことが多い。」(②)

「例えば老老介護とかしている方だと、そのたびごとに起こされて脱着を手伝わなくてはならない

というのは大変で～(中略)～装具つけずに歩いちゃって、何とかちょっと反張膝っぽくなっちゃっても歩いちゃってトイレまで行っちゃうってことが起こり得たりしてしまう」(⑦)

「急性期の時に説明したからと言って覚えていてくださるかと言われたら、なかなか(難しい)。」(⑨)

「補装具とかって、～(中略)～やっぱりご家族様が来庁されて判定会の予約をとりたいんですっておっしゃられる方が多かったりする。」(⑨)

3-4　制度的な課題

3-4-1　収益性の乏しさ

収益性がないことから、下肢装具を製作する機会が多い回復期病院でも定期的なフォローアップ体制が構築されない現状があるという語りから抽出された。

「困ってらっしゃることを知っていていても、場所も人員も広告費も必要って、支出はパッと思いつくんですけど、それを補う、せめてトントンになるくらいのプラスがないと、フォローアップさせていただく場も難しいと思う。」(④)

3-4-2　実態に合わない現行制度

更生用装具の場合、修理、再製作の申請から納品までに数週間を要することから、修理や再作製を躊躇するケースがあると解釈された。

「判定予約を基本的にはとります。だいたいそれで1カ月後とかになったりします。」(⑨)

この他にも、脳卒中患者の下肢装具を中枢神経疾患の障害像について専門性が乏しい整形外科医が処方している実情が語られ、病態にそぐわない装具が処方される現状が生み出されていると解釈された。

「脳卒中の患者でも脳神経内科医が処方しないで、整形外科医にコンサルトをかけて、整形外科医からPOに処方するって流れです。」(②)

3-4-3　マネジメントする職種が不明確

フォローアップを主導的にマネジメントする職種が不明確という課題意識が共有されたことから抽出された。また、医療保険サービスから介護保険サービスへ移行するにあたり中心的役割を担うCMは、下肢装具に関する知識は乏しいうえ、マネジメント経験がない場合が多いと解釈された。

「特に問題となるのは定期通院していなかったり、CMさんと関わりがない人ですとか、外部と接点がない人に関して、更生用装具の説明をどこでもしてもらえているわけではないので、そこがちょっと問題かなと思いますね。」(⑥)

3-4-4　業務過多

日常業務で取得単位数のノルマがあったり、書類作成やカルテ記載など日々の業務が多忙なことで、フォローアップに関わる時間を確保することが難しいと解釈された 。

「業務でそこ(下肢装具の検討の場)で立ち会ってる時間で単位数とられて、1単位2単位とられてしまうとノルマが達成できないというところだと思います。」(①)

4.　考察

下肢装具の製作から在宅生活での活用に至るマネジメントは、高い専門性を有するPTが主導的役割を果たすことが求められる。しかし、PTにおいても様々な課題があることが指摘されている。なかでも、下肢装具のマネジメントスキルの向上を図るうえで重要となる教育体制の不備については複数の報告が認められる。日本支援工学理学療法学会*b が行った調査によると、下肢装具に関する知識、能力を「持っている」と回答したPTは全体の半数程度と報告されている。本研究結果が提示するのは、このような事態を引き起こす要因について、卒前教育と卒後教育に分けて整理したものである。以下、本研究結果から新たに説明されるPTの卒前卒後教育に関わる要因と、これを踏まえた今後の教育体制における課題、およびその解決に向けた対策について考察する。

○卒前教育における課題と対策

本研究では卒前教育において、下肢装具が経年劣化した状態や、不具合が生じた実例を用いた臨床的な講義内容が乏しいため、臨場感をもって学べる環境が充分ではないことが見出された。具体的にはサブカテゴリ《自宅復帰後に生じえる具体的な課題について臨場感をもって伝えられていない》が示している。このことは、7割弱のPTが装具に関する卒前教育は「充足していない」と回答し

ていることや*c、ある回復期病院で勤務する80％以上のPT（n = 118）が臨床実習における装具療法の見学、体験はともに十分ではないと回答した報告と一致している[17]。

また、関連制度に関する知識については、サブカテゴリ《治療用・更生用装具の制度に関する学習、理解が不十分》が示したように、多くの学生が十分理解しないまま教育課程を修了している可能性が高いと考えられた。卒前教育の集大成として位置付けられる臨床実習に関して宮原ら[18]は、「実習での見学・体験が興味のきっかけとなる可能性がある。」と述べており、実習を契機に下肢装具に興味を持つ可能性を示唆している。このことは本研究における「実習先で回復期病院に行ったときにそういった方を担当させていただいてから～（中略）～学んだので。そういう経験値があるかないかとかでも違うのかなと思います。」という語りからも裏付けられている。しかし、その機会は配属施設により偏りが生じていることも報告されている[18]。

また、医師やPO、CM、行政職員といった関係職種の社会背景や教育背景等についての教育が不足していることが、充実した連携を阻害している一因となっていると考えられた。医師が下肢装具に関し丸投げ状態になる理由や、POが在宅支援に積極的に参画できない背景、CMが下肢装具のマネジメントを行えていない背景について卒前から理解を深められていないことが、業務の縦割り化、あるいは他職種への非現実的な要望を生み出していると考えられる。

これらの課題に対する対策としては、交換するべき具体的な情報や関連する諸制度について、実際に生じたトラブルケースの写真や歩行などの動画を交えて説明していくことが重要だと考えられる。このような充実した教材の整備に養成校が横断的に取り組むとともに、装具製作会社や義肢装具士養成校との連携を進めることが効果的だと考えられる。職種を超えたインタラクティブな教育体制の促進は相互理解に繋がるばかりか、新たな協働体制の構築に資すると考えられる。関連制度については国家試験で問われていない分野であるが、充実したユーザーの支援体制を整備するためには不可欠であることを再確認する必要がある。臨床実習においては実習指導者との認識を共有し、下肢装具の見学、体験機会の創出に努めていくことが重要である。

○卒後教育における課題と対策

前述の日本理学療法士学会の報告*cによると9割弱のPTが、装具に関する卒後研修は「充足していない」と回答している。本研究ではサブカテゴリ《下肢装具に関する職場研修は乏しい》が示したように、職場における下肢装具に関する卒後教育には限界があることが示された。これは、病院機能分化が進む中でユーザーを発症から在宅までシームレスに関わることが難しくなってしまったことが要因の一つとして挙げられている[8]。製作に関わっても、退院後の実生活で生じる具体的な課題を知ることが難しいため、フィードバックから学ぶ機会が限られる。そのため、在宅支援の経験の有無が、適切な下肢装具の選択や設定、説明内容に影響を与えていると推察される。換言すれば、下肢装具におけるトータルマネジメントが行え、職場教育を主導できる人材を育成するには、在宅支援の経験が一つの必須条件となっている。一方、在宅支援に従事し続けているPTは、製作の目的や時期などに関する議論を経験する機会が乏しいため、退院後のビジョンについて共有しにくいと考えられる。

この現状を打開するためには、各病期で勤務するPT、そして他職種が双方向に情報、意見を交換する中で学びあえる環境を整えていくことが第一歩と考えられる[5]。具体的には、関連職種が会しやすいようにSNSやオンラインシステムを活用した装具診や会合の開催、猪村ら[22]が報告しているような動画を用いた連携など、短時間でも効率的にコミュニケーションが図れる場の創設が有効であると考える[8]。小さな機会の積み重ねにより双方が必要とする情報への理解に繋がり、各期のPTがユーザーに対し一貫した説明や対応が行えるようになるのではないだろうか。

＊c：日本理学療法士学会・日本支援工学理学療法学会、http://jspt.japanpt.or.jp/upload/branch/jptsat/obj/files/kyoiku_h29_08.pdf（2021/6/21 確認）

以上のように、理学療法士の下肢装具をめぐる教育体制の課題と解決策について卒前、卒後と分けて述べてきた。これらの結果から、これまで指摘され続けてきた“連携の乏しさ”は、怠惰や課題意識の乏しさ、多忙といった個々のネガティブな背景によってのみ生じているのではなく、「実際に見たことも経験したこともなく、学んだ記憶もないため、どのような情報を、いつ、誰に、どのように伝えるべきなのかが分からない」ことが影響している可能性がある。この課題の解決を図るためには、教育現場（卒前）と臨床現場（卒後）、そして他職種が連携した系統的教育システムの構築が必要と考える。処方からフォローアップという長い道程をユーザーと専門職が共に歩んでいくためには、こうした教育体制の充実が不可欠であると考えられる。

○その他の課題

本研究では、教育体制の他にも多岐にわたる課題が抽出された。なかでも、カテゴリ《義肢装具士との関係性》は新しい視座を与えると考える。フォローアップ体制の充実においてPOの高い専門性に対する期待は大きく、より積極的な参画を望む声は見聞され[5]、本研究においても複数聴取された。しかし、PO（有資格者数）は6,000人に満たないうえ（2021年4月）、毎年輩出されるのは200名前後とマンパワーとして限界がある。また、製作、販売を主とする企業であるため、収益性が乏しく経営効率の悪い在宅支援は経営を圧迫する可能性があるため積極的になりにくい[10,20,21]。このような背景も考慮した、現実的な体制の構築を目指さねばならない。また、本来であれば装具について豊富な知識と経験を有するPOから最新情報の提供や助言を受けつつ、学びを深めていくことが望ましいと考えられるが、そのような機会は限定的であることが示唆された。ユーザーへの支援をより充実させていくためには、より主体的に接点を増やしていくことも有益だと考えられる。

以上、下肢装具の処方からフォローアップにおける課題とその解決について主に教育体制という側面から述べてきた。抽出されたカテゴリ、サブカテゴリ間には相互の関連や順序性が窺えるものがあるが、これらについては引き続き検討を続けていく必要がある。また、グラウンデッド・セオリー・アプローチ法による分析結果は、ある限定された範囲の事象を説明するに留まる。今後、本研究を基にPT、POの課題意識を量的にも明らかにすることで具体的な要素を整理し、より効果的な対策の提言に繋げていきたいと考える。

5. 結語

各病期、行政機関に勤務するPTを対象に、下肢装具の処方からフォローアップにおける課題の明確化を目的として質的研究を行った。その結果、コアカテゴリとして『ユーザーを難民化させる』、それを構成する4つの主要カテゴリ、16のカテゴリ、58のサブカテゴリが抽出された。抽出された多様な要素のなかでも、卒前、卒後教育に系統性や連動性が乏しいことが大きな影響を及ぼしていることが示された。それに対し、養成校と臨床現場が連携を取り合いつつ、より実践的かつシームレスな教育体制を整備していくことが重要と考えられた。また、オンラインシステムなどを利用した他職種との小さなコミュニティ形成も重要な役割を果たすと推察された。

6. 利益相反

開示すべき利益相反はない。

謝辞：本研究の実施にあたり、ご協力いただきました各位に深謝いたします。

文献

1） 横井剛, 水落和也：オーバービュー　脳卒中介装具の役割. 臨床リハ, 19 : 922–926, 2010.
2） 大串幹：生活期におけるリハビリテーション・装具療法―急性期・回復期での装具処方の観点から―. The Japanese Journal of Rehabilitation Medicine, 54 : 494–499, 2017.
3） 遠藤正英, 東世智, 橋本将志, 他：脳卒中片麻痺患者の下肢装具のフォローアップ体制―装具手帳を運用して―. 日本義肢装具学会誌, 32 : 282–284, 2016.
4） 大垣昌之, 横山雄樹, 佐川明, 他：在宅装具利用者への取り組み―理学療法士の視点・装具ノートの活用―. POアカデミージャーナル, 25 : 14–20, 2017.
5） 大垣昌之：装具療法の連携（回復期から生活期へ）. 脳

卒中片麻痺に対する歩行リハビリテーション: 172−183, メジカルビュー社, 東京, 2016.
6） 狩野綾子：脳卒中の治療用装具はあり得るか. 日本義肢装具学会誌, 28 : 83−86, 2012.
7） Chiung-Ling C, Ya-Ling T, Shu-Zon Lou, et al. : User Satisfaction with Orthotic Devices and Service in Taiwan. PLoS One, 9 : e110661, 2014.
8） 沖井明：在宅からみた, 補装具支給の課題. 日本義肢装具学会誌, 33 : 163−169, 2017.
9） 大西忠輔, 中山昇平, 勝谷将史, 他：維持期脳卒中患者に対する下肢装具の実態調査 ―維持期脳卒中患者に対する下肢装具の実態調査―. POアカデミージャーナル, 24 : 30−35, 2016.
10）尼子雅美, 隆島研吾, 髙木峰子, 他：日常生活動作における在宅脳卒中者の短下肢装具の役割の検討 ―装具使用者と理学療法士の認識の違いに着目した比較―. 日本義肢装具学会誌, 35 : 128−135, 2019.
11）佐藤健斗, 野口普子, 三富菜々 , 他：「短下肢装具に関わる立場」による短下肢装具選好に際し重視する要素の違い. POアカデミージャーナル, 27 : 118−123, 2019.
12）明日徹, 松崎哲治, 竹村仁, 他：脳卒中片麻痺患者に装具を装着するか装着しないかの判断のポイント. 理学療法, 22 : 757−765, 2005.
13）賀好宏明, 大峯三郎, 舌間秀雄, 他：理学療法士に求められる義肢・装具の知識と技術・1―装具療法. PTジャーナル, 40 : 809−813, 2006.
14）高岡徹：脳卒中片麻痺に対する短下肢装具処方の実際. 義装会誌, 17 : 6−10, 2001.
15）吉尾雅春：理学療法と下肢装具. PTジャーナル, 51 : 281−289, 2017.
16）亀山純子, 柳久子, 他：外国人介護者の国家資格取得に向けた教育支援に関する質的研究. 産業衛生学雑誌, 63 : 133−142, 2021.
17）宮原拓也, 白石和也, 加藤研太郎, 他：臨床実習における装具療法の課題の検討―理学療法士を対象とした調査―. 理学療法科学, 36 : 213−220, 2021.
18）宮原拓也, 白石和也, 加藤研太郎, 他：臨床実習における下肢装具の見学・体験の現状―理学療法学科学生を対象とした調査―. 理学療法科学, 35 : 171−178, 2020.
19）猪村剛史, 今田直樹, 梶原淳子, 他：装具地域連携サマリーを用いた装具に関する連携システムの構築およびその使用経験. 理学療法の臨床と研究, 25 : 31−36, 2016.
20）久米亮一：回復期リハビリテーションから, 生活期まで, 適切な片麻痺患者の短下肢装具および環境への取り組み. 日本義肢装具学会誌, 33 : 151−158, 2017.
21）根本明宜：現場での課題と制度. The Japanese Journal of Rehabilitation Medicine, 6 : 267−271, 2019.

Abstract :

Objectives : Problems in follow-up after the prescription of lower limb orthotics have been pointed out, but they have not yet been resolved. This study qualitatively clarified the factors causing these problems or hindering their solution from the perspective of physiotherapists.

Method : Semi-structured interviews were conducted with 9 physiotherapists working in acute or recovery rehabilitation hospitals, home-visit rehabilitation facilities, long-term healthcare facilities, or government agencies. The analysis used a continuous comparative analysis of the grounded theory approach.

Results : Four major categories, 16 categories, and 58 subcategories that made up the core category, “alienated users” were extracted.

Conclusion : A wide range of issues were extracted, including the lack of a systematic education system from before and after graduation, lack of clarity regarding the occupations mainly responsible for managing follow-up, and user side-issues such as mental and physical functions and economic conditions.

Key words : Lower-limb orthosis, Follow-up system, Educational system

◎原著

子どもの歩行障がい者に対する屋外移動・スポーツ活動を目的に製作した歩行器の検証

To develop an improved walking device for sports and outdoor activities for use by children with disabilities

松田雅弘[1]，新田收[2]，米津亮[3]，楠本泰士[4]，松浦孝明[5]，
阿部広和[6]，西川康博[7]，大島浩幸[7]，酒井日出子[7]

要　旨

【目的】障害のある子どもが屋外やスポーツで使用できる歩行器を2つ開発してアンケート調査することと、走行性能を既存の歩行器と比較することを目的とした。**【対象と方法】**実験1：理学療法士4名、脳性麻痺児者13名、保護者13名から歩行器の性能について記述式でアンケートを行った。実験2：対象は脳性麻痺児者6名とし、既存の歩行器（PCW；Postural Control Walker）と開発した歩行器の2種で5条件の走行路で比較した。**【結果】**実験1：開発した機器1において方向転換、小回り性の改善点が評価された。実験2：機器1で行った走行比較で従来型（PCW）と比較し、段差走行路において所要時間が短縮していた。**【考察】**従来の歩行器の屋外やスポーツで使用する際の問題点として挙げた性能が開発した歩行器で改善がみられ、開発した歩行器がこれらの目的に合致して使用できることが考えられる。

【キーワード】小児、歩行器、歩行、姿勢保持、アンケート

1.　はじめに

2020年の東京オリンピック・パラリンピックに向けて、障がい者がスポーツに取り組みやすい環境整備が進められ、今後もその継続が求められている[1)]。障がい者スポーツの裾野を広げ、スポーツによるアクティビティの活性化を促進するためには、パラリンピックなどでの競技に参加するトップアスリートだけではなく、障がいがあっても大人から子どもまでが気軽に運動を楽しめる支援体制が必要である[2)]。

脳性麻痺児の歩行獲得へ向けての理学療法は筋力増強練習や立位バランス練習、歩行練習を幼少期から実践されている[3)]。幼児期の歩行能力に関する予測因子として、立ち上がり動作における機

1　順天堂大学 博士（理学療法学）
2　東京都立大学
3　東京家政大学
4　福島県立医科大学
5　国士館大学 特別支援教育教員
6　埼玉県立小児医療センター
7　東京都立産業技術研究センター（エンジニア）

投稿日：2021年11月30日　採択決定日：2021年12月22日　　公開日：2022年3月31日

能的な強さと動的な姿勢制御の測定値が独立して3歩歩くことの唯一の有意な予測因子[4]からも、幼児期から補装具や歩行器を用いて歩行練習をすることが求められる。歩行効率と下肢筋力に関連性が指摘[5]されており、幼児期から下肢筋力を向上させること歩くことを促すことの両面が重要となる。幼少期から歩行器などを使用した歩行だけでなく、活動を促進することは、脳性麻痺児の歩行の活動範囲の予後にも影響を及ぼす。身体活動は歩行、機能、バランス、抑うつ、睡眠、ADL、痙攣、有酸素能力の改善と関連しているため[6]、積極的な活動の促進が求められる。脳性麻痺などの疾病によって、子どものときから歩行の能力低下を呈する場合、リハビリテーション場面において屋内では歩行器を使用した歩行練習を行っているが、屋外で歩行している子どもを本邦であまり見かけない。それに比べて、欧米諸国では街中で日常的に歩行器を使用していることが多い。これは日本の道路の広さなどの環境要因が影響している可能性もあるが、環境要因以外にも歩行器は外で歩くための機器ではないという慣習も影響しているかもしれない。諸外国の報告で、636名の脳性麻痺児を年齢とGMFCS(Gross Motor Function Classification System)レベルごとに分類して移動能力を調査した結果、学校内の移動と比較して、レベルⅢ～Ⅳの子どもは屋外や地域で大人の介助に頼る傾向が強く、学校、屋外、地域で車椅子を使用して移動していた[7]。国内においても調査がされ、歩行器の使用についてGMFCSレベルⅢは歩行訓練用が70％(14名)で最多であり、以下、施設内生活用が40％(8名)、屋外生活用が25％(5名)、自宅生活用が10％(2名)、スポーツ用が10％(2名)、その他が15％(3名)であり、歩行器は主に歩行訓練用として使用されていた[8]。本邦でよく使用されるPCW(Postural Control Walker)は後方支持型歩行器であり、その特徴として後輪にバックストッパーがついているため、後方に体重がかかっても後ろに倒れないようになっており、安定した歩行姿勢が得られる[9]。サイズは幼児用から成人用まである。脳性麻痺児は姿勢保持に関する機能が低下していることから、後方支持型がリハビリテーションのなかでよく使用されている。

屋外での歩行器の使用が少ないのは、障がい者が活動するために運動支援機器が欠かせないが、使用用途に合う機器の選択肢が少ないことも挙げられる。これは成人や高齢者向けの支援機器と比較して、小さい子ども向けが少ないことも影響している。そこで、今後に屋外歩行で用いるための必要な歩行器の機能に関するアンケート調査[8]では、専門家(セラピスト)の意見としては436名の回答は、安定性66％(286名)で最多であり、操作性が61％(265名)、大きさ(折り畳み時含む)が36％(157名)、重さが19％(85名)、調整機能(高さ・幅など)が18％(78名)、外観(デザイン)が14％(61名)、その他が8％(36名)であった。このように本邦で従来使用されていたPCWを含む歩行器の屋外使用の機能的な欠点として、特に安定性や操作性の性能の不足が挙げられている。本邦において歩行器を使用する場面で多いのは歩行練習であり、歩行器は歩行練習で使用するだけで使用されていることも多くみかけられ、それは過去の経験だけではなく、歩行器の構造や形状も少なからず影響していることも考えられる。

そこで、手助けがあれば歩行可能な子どもを対象とした歩行(走行)支援機器開発を行ってきた。機器1については現存の後方支持型歩行器(PCW)から①方向転換操作(持ち上げ、振り向き)、②小回り性(6輪機構)、③幅調整(ハンドル間：350 mm、300 mm)の点を改善することを元に製作した(**図1、2**)[10]。機器2については、子供が使用することを前提に①受け入れやすいデザインとする、②簡単に折りたたみ収納することが可能となる歩行器を試作した(図1、2)[10]。本研究の目的は新規に開発した2つの歩行器に関する専門家(セラピスト)と脳性麻痺児または家族へのアンケート調査と、開発した歩行器(機器1)と既存の歩行器(PCW)の走行性能を比較することとした。

2. 対象と方法

2-1 対象

【実験1】

試作した歩行器(機器1、2)に対するアンケート

機能モデル（左：Ver. 3.2、右：Ver. 4・幅広）

デザインモデル（最終）

最大拡張時寸法：全長 76 cm× 幅 54 cm× 高さ 65 cm
最小収納時寸法：全長 59 cm× 幅 40 cm× 高さ 52 cm
ハンドル高さ：42 cm から 56cm
ハンドル間幅：35 cm、30 cm
重さ：5.2 kg（最終改良で 3.3 kg）
前輪：固定輪（交換可）

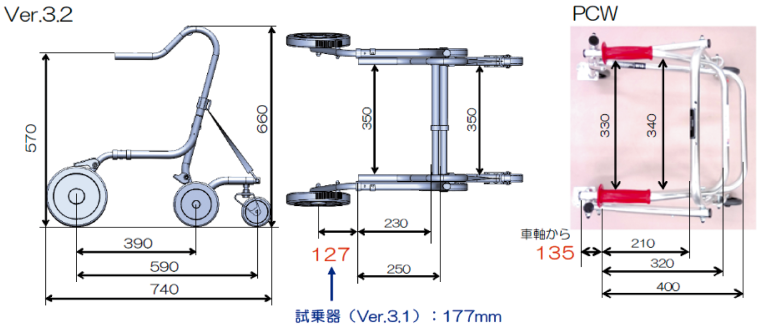
機器 1

使用時全長 78.5 cm× 幅 54.5 cm× 高さ 65 cm
収納時全長 78.5 cm× 幅 27.5 cm× 高さ 82.5 cm
ハンドル高さ：約 43 cm から 65 cm
重さ：約 5.5 kg　前輪：固定輪

機器 2

機器 1：PCW と比較して安定性だけでなく、方向転換などのときに持ち上げなくても実施可能なように 6 輪の機構とした。ハンドル間隔や重さなども持ち運びなどで問題になることも多く、重さの軽減などの改良を目指して作製した。
機器 2：収納のコンパクトさ、車輪の大きさ、歩行時の安定感を考慮して作製した。

図 1　開発した歩行器



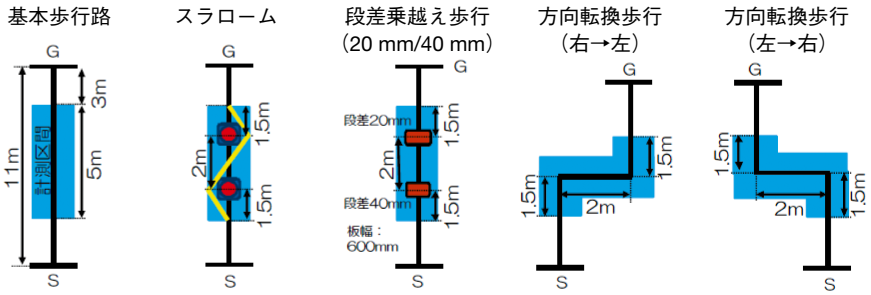
方向転換性を優先するとコンパクトにして車軸間を狭める必要があるが、姿勢の不安定を呈する児童が使用する歩行器のため、歩行時の姿勢を維持するために安定性も重要となる。安定性を確保しながらも、方向転換性を高めるために車軸の間隔を広げ、前方の車輪をあげたとしても安定するよう後方に 2 輪を加えて 6 輪の機構にした。

図 2　機器 1 と PCW の構造比較

の調査対象は東京都内の小児関連病院とし、理学療法士 4 名、脳性麻痺児者 13 名(14 ～ 56 歳、平均 25.0 ± 14.6 歳)、保護者 13 名とした。対象者は 18 歳未満の子どもとそれ以上の対象者となっており、歩行器を使用している経験者を集めたため、18 歳以上の子どもも含まれる。研究対象者とその保護者、理学療法士には実験の前に研究概要を口頭と文書で説明を行い、書面にて同意を得た。

【実験 2】

対象は脳性麻痺児者 6 名(平均年齢 8.7 歳；6 ～ 10 歳)、機能レベルは歩行が可能で歩行器を使用する可能性のある GMFCS Ⅱ 1 名、Ⅲ 4 名、Ⅳ 1 名とした。日常的に使用している装具は装着下で実施した。研究対象者とその保護者には実験の前に研究概要を口頭と文書で説明を行い、書面にて同意を得た。



注　S：スタート、G：ゴール、青色の区間は計測区間

条件 1：直進 5 m 走行
条件 2：5 m 区間に 2 個のコーンを置きスラローム走行
条件 3：5 m 区間に高さ 2 cm と 4 cm の 2 種類の段差を含めた走行
条件 4：走行中間に右回りの方向転換走行
条件 5：走行中間に左回りの方向転換走行

図 3　走行路（条件 1 ～ 5）

本実験は地方行政法人東京都立産業技術研究センター事業倫理審査委員会人間工学分科会（承認番号 ES2019−17）および東京都立大学荒川キャンパス研究安全倫理委員会（承認番号 19047）の承認を得て実施した。

2−2　方法

対象者に機器 1、2 と PCW の 2 つの歩行器を使用して 5 条件での歩行器での歩行を実施した。機器 1、2 とも安全性は東京都立産業技術研究センターにより設計、組み立てを行い、JIS T 9265 を参考にした安全基準試験を行った。開発機の設定[10]（図 1、2）は、前輪は直径 200 mm の固定輪、中央輪は直径 150 mm の固定輪、および、後輪は直径 100 mm の旋回輪である楔形のブレーキ部品が中央輪に接触するように取り付けられており、後方には回転できない。後輪は上方に 30 mm 可動するが、下方にはベルト固定により動かない。ハンドルの高さは子どもの体格や成長に合わせて、固定ピンを抜き差しすることで、430 mm から 570 mm まで 7 段階で調節できる。ハンドルと前輪はフレームで連結されており、中央輪を支点として一体となって可動する。支持拮底面が狭くなるものの、中央輪を子どもの足元後方付近に配附したことで、ハンドルを引き上げ、前輪を浮上させやすい機構とした。前輪の最大浮上高さは、安全のため 60 mm とした。

走行路は日常的な屋外歩行のために必要な 5 つの条件（直線、段差、左右の方向転換）を設定した。条件 1：直進 5 m 走行、条件 2：5 m 区間に 2 個のコーンを置きスラローム走行、条件 3：5 m 区間に高さ 2 cm と 4 cm の 2 種類の段差（高さ 20 mm、40 mm）を含めた走行、条件 4：走行中間に右回りの方向転換走行、条件 5：走行中間に左回りの方向転換走行の 5 条件とした（**図 3**）。どの走行路とも全体の走行路は 11 m に統一し、前後 3 m（最低 2 m）は助走路を確保した。

【実験 1】

2 つの開発した歩行器のモデル（図 1）を実際に見て、5 つの条件の試走を行ったあとにアンケートへの協力を求めた。各機器とも開発のコンセプトに則り、機器 1 に関しては歩行器の大きさ、重さ、価格、操作性、小回り、幅調整、収納方法、機器 2 に関しては大きさ、重さ、価格、デザイン、機構（歩行器の収納を含めた機構）、自立（歩行器が自立して安定しているか）についての質問とした。アンケートは歩行器性能の課題である大きさ、重さ、方向転換操作、小回り性、幅調整、収納など 5 件法を用いて作成した。アンケートの結果を記述統計にてまとめ、歩行器の実用性に関してまとめた。なお、歩行器の使用は理学療法士と対象となった脳性麻痺児者が行い、保護者はその様子や

表 1　機器 1 のアンケート結果と自由意見

属性		大きさ	重さ	価格	操作性	小回り	幅調整	収納方法
理学療法士（n ＝ 4）	中央値	4	4	3	4	4	3.5	3
	最大値	4	4	3	5	5	4	4
	最小値	3	2	3	4	4	2	3
脳性麻痺者（n ＝ 13）	中央値	4	4	3	5	5	4	4
	最大値	5	5	4	5	5	5	5
	最小値	2	3	2	3	3	2	2
保護者（n ＝ 13）	中央値	4	3.5	3	5	5	4	4
	最大値	5	5	4	5	5	5	5
	最小値	3	2	2	2	2	3	2

・前輪のサイズが大きい、慣れればスムースからもしれないが、試運転のときはあまり上手に見えなかった（保護者）
・ストッパーの操作が手元できると良い。ちょっと座る（腰掛）があると良い。体重をかけたときにフレーム強度は大丈夫だろうか、ちょっとした荷物をかけられるフックが欲しい（PT）
・持ち手の上側の横棒があるといいのではないか。小回り性が良い（PT）
・フレームの色が選べると良い（保護者）

表 2　機器 2 のアンケート結果と自由意見

属性		大きさ	重さ	価格	デザイン	機構	自立
理学療法士（n ＝ 4）	中央値	3.5	3	4	4	4	4
	最大値	4	4	4	4	5	4
	最小値	3	3	3	3	3	3
脳性麻痺者（n ＝ 13）	中央値	4	4	3	3	4	4
	最大値	5	5	4	5	5	5
	最小値	2	2	3	2	2	3
保護者（n ＝ 13）	中央値	4	4	3	4	4.5	5
	最大値	5	5	4	5	5	5
	最小値	3	2	4	1	3	3

・転倒防止（保護者）
・成長に対応できるか、シールを貼れるのはよい（保護者）
・機器 1 と同様に 6 輪の方が回転しやすいと思う（PT）

歩行器をみてアンケートに回答した。

【実験 2】

今回開発した機器 1、もう 1 つは PCW（W1B-SX）を使用し、PCW の前輪は標準品とは異なる直径 228 mm の屋外用タイヤを装着した。両歩行器を用いて各条件において快適速度で 2 回歩行し、その時間をストップウォッチで測定して両方の値を採用した。かつ、両歩行器による走行に関して 2 名の理学療法士が観察的に歩行状態の確認を行った。数値データに関する統計分析は SPSS ver. 24（IBM 社製）を用いて、対応のある t 検定にて、有意水準を 5% で検討した。

3.　結果

【実験 1】

今回アンケート調査を行った全対象者で大変良い・良いと回答した割合を示し、最大値と最小値、中央値について**表 1**、**2** にまとめた。機器 1 は大きさ 73%、重さ 56%、方向転換 93%、小回り性 90%、幅調整 66%、収納方法 60% であった。機器 2 は大きさ 67%、重さ 57%、デザイン 55%、折り畳み機構 69%、折り畳み時の自立 76% であった。どの項目も理学療法士よりも脳性麻痺児者、保護者の回答で今回製作した歩行器への評価が高い傾向にあった。

【実験 2】

条件 1 ～ 5 における歩行器における走行時間を**表 3** に示した。条件 1 では PCW：6.4 ± 1.7 秒、機器 1：6.4 ± 1.6 秒となり、直線走行で有意差はなかった。条件 2 では PCW：11.5 ± 5.3 秒、機器 1：12.3 ± 5.4 秒、条件 3 では PCW：14.3 ± 7.7 秒、機器 1：12.8 ± 7.1 秒、条件 4 では

表 3　機器 1 と PCW の走行比較

	条件 1 基本歩行路	条件 2 スラローム	条件 3 段差乗り越え歩行	条件 4 方向転換歩行 （右→左）	条件 5 方向転換歩行 （左→右）
PCW（sec）	6.4 ± 1.7	11.5 ± 5.3	14.3 ± 7.7	11.4 ± 8.3	11.1 ± 5.4
機器 1（sec）	6.4 ± 1.6	12.3 ± 5.4	12.8 ± 7.1	10.9 ± 5.1	10.0 ± 4.8
P 値	0.996	0.301	0.029*	0.384	0.782

＊　平均値 ± 標準偏差　$p < 0.05$

PCW：11.4 ± 8.3 秒、機器 1：10.9 ± 5.1 秒、条件 5 では PCW：11.1 ± 5.4 秒、機器 1：10.0 ± 4.8 秒であった。条件 3 において有意に機器 1 で歩行時間が短く、条件 2 と 4 では機器 1 が PCW より歩行時間が短い傾向があった。また、変化率として（機器 1/PCW）× 100 で求めると条件 1：106.2 ± 39.7、条件 2：110.3 ± 30.6、条件 3：92.9 ± 22.9、条件 4：113.2 ± 52.7、条件 5：97.5 ± 26.0、条件 2 と 5 で機器 1 において歩行速度の増加率が大きかった。

歩行状態の確認した結果、方向転換時、従来型では歩行器全体を挙上するのに対し、機器 1 では前部輪（2 個）を挙上、この時後部車輪（2 個）と中央車輪（2 個）の 4 輪で姿勢を支えることが可能であった。

4.　考察

脳性麻痺児の歩行器の開発にあたり屋外でも活動しやすい歩行器の開発を主眼として、歩行器の機構を検討してきた。屋外でも移動しやすい歩行器の開発は子どもの活動性向上のために重要となる。

現在使用されている後方支持型歩行器（PCW）を屋外移動やスポーツ活動を実践するために、改良した小児用の歩行器を 2 種類開発した。現在の歩行器の問題である①方向転換操作、②小回り性、③幅調整について改善した歩行器の開発を行った[8,10]。開発コンセプトに沿って歩行器を製作してアンケート調査を行った結果、機器 1 と 2 ともに開発コンセプトに対して、エンドユーザーや保護者から機器 1 に関しては方向転換・小回り性、機器 2 に対して折り畳みの機構など良好な反応が得られた。特に機器 1 に関して屋外移動やスポーツでも活用できるような方向転換、小回り性を備えた歩行器の開発につながったと考えられる。これまで調査してきた歩行器に必要な性能を検討し、その性能を付与して最大限目的とする屋外移動やスポーツ活動に活かせる歩行器の開発に参考となる結果が得られた。歩行器を対象者に導入するにあたって、身体機能と構造、歩行耐久力、環境因子、居住区域周辺の物理環境を考慮すべきとされ[11]、その影響を考慮しながらも目的別に必要な歩行器の性能を考慮すべきと考えられる。理学療法士だけでなく、エンドユーザーや保護者の意見を取り入れることで、エンドユーザーが日常的に使用する可能性を広げる福祉機器の開発につながるものと考えられる。

機器 1 を用いて実験 2 を行い、開発した歩行器（機器 1）は従来型の PCW と同様で後方型歩行器に分類さるが、前輪、中央輪、後輪の 6 輪で構成されている[10]。従来型（PCW）と比較し、特に段差走行路において所要時間が短縮し、方向回転も一部速度の向上がみられた。今回の機器 1 の構造が、段差昇降と回転しやすさにつながったと思われる。従来型の歩行器は屋内や歩行練習用として用いられてきたが、屋外移動やスポーツの使用を想定した歩行器の性能には、今回開発した段差昇降を容易にする性能が必要不可欠となる。屋外を想定した場合に考えうる走行に適合した歩行器の性能に合致したため、条件によって歩行速度が向上したものと考えられる。しかし、今回は段差乗り越えのみで有意な差があり、方向転換などで有意差がなく、十分にスポーツにおける方向転換能力を備えた歩行器とはまだ明確となっていない。今回の対象者の多くは従来の歩行器使用経験者であり、その使用方法を学習しており、今回開発された歩行器を十分に活用できていたとは言い切れない。そのため、今度スポーツの場面での研究や、

長期使用における変化も調査しなければならない。

本研究の限界として、今回の結果から対象者も少なく歩行レベルにも差があったため分散が大きいことや、いつも使い慣れている歩行器との違いで、慣れていないため機器1で取り回し過ぎてしまい歩行速度の違いも生じた可能性があり、機器1に対して適応する歩行能力のレベルの検討は必要である。また、GMFCSのレベルの違いや歩行能力の違いによって差が生じるか、実際の屋外歩行の場面で、歩行効率に差が生じるかについて検討していきたい。さらに実験1に関しては子どものために作製した歩行器だが、使用経験や被験者の募集で18歳以上の歩行困難者も含まれた結果であり、子どもにおける検証を進めていく必要がある。

5. 結論

屋外やスポーツで使用できる子ども用の歩行器を考えたときの問題点を抽出し、2つの歩行器を開発し、その歩行器に関して開発の意図に合致したアンケート結果が得られた。そこで機器1で歩行性能を従来の歩行器と比較した結果、段差走行路において所要時間が短縮していた。特に従来の歩行器の屋外やスポーツで使用する際の問題点として挙げた性能の改善がみられ、開発した歩行器がこれらの目的に合致して使用できることが考えられる。

謝辞:本研究は地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター 障害者スポーツ研究開発推進事業 基礎研究「子供用歩行(走行)支援機器の開発」の一環として行われた。

文献

1) 東京都長期ビジョン：https://www.seisakukikaku.metro.tokyo.lg.jp/tokyo_vision/vision_index/pdf/honbun2_3.pdf(2021年11月22日閲覧).

2) 澤田享：オリンピアンと健康. 日健教誌, 28(2)：101−106, 2020.

3) Goh HT, Thompson M, Huang WB, et al.: Relationships among measures of knee musculoskeletal impairments, gross motor function, and walking efficiency in children with cerebral palsy. Pediatr Phys Ther, 18: 253−261, 2006.

4) Begnoche DM, Chiarello LA, Palisano RJ, et al. : Predictors of Independent Walking in Young Children With Cerebral Palsy. Phys Ther, 96(2): 183−192, 2016.

5) Kimoto M, Okada K, Sakamoto H, et al. : Relationship between walking efficiency and muscular strength of the lower limbs in children with cerebral palsy. Journal of Physical Therapy Science, 31(3): 232−235, 2019.

6) Selph SS, Skelly AC, Wasson N,et al. : Physical Activity and the Health of Wheelchair Users: A Systematic Review in Multiple Sclerosis, Cerebral Palsy, and Spinal Cord Injury. Arch Phys Med Rehabil, S0003−9993, (21), 01484−2, 2021.

7) Palisano R, Tieman B, et al. : Effect of environmental setting on mobility methods of children with cerebral palsy. Developmental Medicine＆Child Neurology, 45(2): 113−120, 2003.

8) 大島浩幸, 西川康博, 新田收：日本における小児用歩行器の利用実態調査. 人間工学, 55(5)：180−188, 2019.

9) 高橋秀寿, 廣田俊之：歩く. 総合リハ, 32(11)：1103, 2004.

10) 西川康博, 大島浩幸, 新田收：脳性麻痺児を対象とした歩行器の開発. 人間工学, 57(1)：1−10, 2021.

11) 厚生労働省　移動支援機器：https://www.mhlw.go.jp/sinsei/chotatu/chotatu/kikaku/2016/07/dl/kk0707-03_07.pdf (2021年11月30日閲覧).

Abstract :
[Purpose] The aim was to develop an improved walking device for sports and outdoor activities for use by children with disabilities.
[Participants and Methods] A. Four physiotherapists, and one parent or guardian of each of 13 children with cerebral palsy, completed a questionnaire on performance with walkers. B. Five measures of performance by six children with cerebral palsy were compared among walker type—an existing conventional posture control walker vs. a newly developed walker.
[Results] Measures of directional change, turning ability, and pace were higher in the newly developed than PCW model walker, with step elevation being significantly better.
[Conclusion] It was judged that the newly developed walker is an improvement on the conventional walker for outdoors use and sports by children with CP.
Key words : Children, walker, gait, posture maintenance, questionnaire

◎原著

理学療法士の経験年数が回復期脳卒中患者の装具作製時期に与える影響

The years of physical therapist experience influence the prescription time for orthosis in patients with post stroke: A retrospective observational study in a rehabilitation setting

須江慶太[1]，宮坂翔太[2]，関塚祐[3]，宮川大地[2]，塚原貴彦[2]，
斎藤文樹[4]，森泉秀太郎[5]，百瀬公人[6]

要　旨

本研究は、回復期リハビリテーション病棟に入院する脳卒中患者の下肢装具作製時期に担当する理学療法士（PT）の経験年数が影響を及ぼすかを検討することを目的とした。研究デザインは後方視的観察研究として、61 名の脳卒中片麻痺患者を対象にした。入院日から下肢装具作製までの要した日数を従属変数として、入院時 Functional Independence Measure（FIM）の運動項目ならびに認知項目、年齢、下肢麻痺の重症度（12 段階式片麻痺 grade）、そして担当 PT の経験年数を独立変数とした重回帰分析を実施した。その結果、下肢装具作製時期に影響を与える要因として入院時 FIM 運動項目と担当 PT の経験年数が抽出された。本研究の結果から、経験年数が浅い担当者に対する下肢装具作製判断を促す教育支援体制の構築や経験に依存しない客観的指標を開発する必要性が示唆された。

【キーワード】脳卒中、下肢装具、作製時期、理学療法士、経験年数

1.　緒言

脳卒中治療ガイドライン 2021 では急性期脳卒中患者に対する下肢装具を用いた早期歩行練習[1)]や亜急性期以後の内反尖足を有する脳卒中患者に対する短下肢装具の使用[2)]を推奨している。また下肢装具作製までに要する期間は脳卒中患者の移動能力の決定要因の一つとして報告[3)]されており、下肢装具の早期作製の重要性は高まっている。2001 年以降、病院の機能分化を背景に脳卒中患者の急性期病院における在院日数は減少したが[4,5)]、下肢装具適応者の数は減少していない[5)]。そのため現代の医療システムにおいて多くの患者は回復

1　JA 長野厚生連鹿教湯三才山リハビリテーションセンター鹿教湯病院 リハビリテーション部 理学療法科
信州大学大学院総合医理工学研究科医学系専攻保健学分野
2　JA 長野厚生連鹿教湯三才山リハビリテーションセンター鹿教湯病院 リハビリテーション部 理学療法科
3　JA 長野厚生連鹿教湯三才山リハビリテーションセンター三才山病院 リハビリテーション部 理学療法科
4　JA 長野厚生連鹿教湯三才山リハビリテーションセンター鹿教湯病院 リハビリテーション部 義肢装具科 義肢装具士
5　JA 長野厚生連鹿教湯三才山リハビリテーションセンター鹿教湯病院 リハビリテーション部 医師
6　信州大学医学部保健学科理学療法学専攻

投稿日：2021 年 11 月 22 日　　採択決定日：2021 年 12 月 13 日　　公開日：2022 年 3 月 31 日

期リハビリテーション病院へ転院後に可及的早急に下肢装具の作製を行い歩行の獲得を目指す必要がある。回復期リハビリテーション病棟に入院する脳卒中患者はその身体機能の改善が発展途上にある一方で、生活期への移行期にもある。回復期リハビリテーション病院で作製された下肢装具の多くはその後の生活期においても使用されるが[6]、作製時点ではその後の歩行自立の可否や退院後の生活について予測困難な場合も多い。特に装具作製の経験が乏しい理学療法士(Physical Therapist：以下、PT)において難しい判断が要求されることは容易に想像できる。一人で判断が難しい場合は、装具検討会を開催し他職種や同僚PTの意見を聞く方法がある[7]。しかし、鹿児島県内のリハビリテーション医療を提供する病院に対し装具検討会の有無を調査した報告では、回答があった施設のうち装具検討会(ブレースクリニック)を開催してる割合は21％に留まることが報告[7]されている。そのため、このような検討会は診療システム上、十分に普及しておらず装具作製時期は担当者の判断に依存せざるを得ない状況にあることが推察される。

適応装具の判断が難しい場合は病院の備品装具を貸出し、生活での使用状況をみながら適応を判断するという方法もある。しかし、貸出し用装具は本人用装具に比べ、医療関連機器圧迫創傷を発生しやすいとの報告もあり[8]、積極的に推奨できる方法とは言い難い。特に経験の浅いPTは業務中のアクシデントの多さも報告[9]されていることから注意が必要となる。また臨床経験年数が少ないPTは、専門家として装具処方を判断する能力の必要性は自覚しているが、自分自身に装具処方の判断能力が無いと考えるものが多いとの報告もある[10]。以上から、経験が浅いPTは臨床思考能力が発展途上の状態[11]において難しい判断が求められる上に，患者に創傷を負わす危険な状態にあるといえる。しかし、PTの経験年数は実際に装具処方時期に影響を及ぼすかについて検討した報告はない。

本研究では回復期リハビリテーション病棟に入院した脳卒中患者を対象に、下肢装具作製時期にPTの臨床経験年数が影響するかについて、脳卒中患者の歩行自立に関連する要因を含めて後方視的に検討した。

2. 対象および方法

2-1 研究デザイン

本研究の研究デザインは後方視的観察研究とした。研究実施にあたってはヘルシンキ宣言に基づき鹿教湯病院倫理審査委員会で承認(承認番号：20190004)を得た。

2-2 対象

対象は2016.4.1-2018.3.31までに鹿教湯病院(以下、当院)の回復期リハビリテーション病棟に入院し、下肢装具処方がされた脳卒中片麻痺患者64名のうち、データ欠損があった3名を除外した61名とした。

2-3 調査内容

電子カルテより、患者の年齢、性別、病型(出血、梗塞)、下肢運動麻痺の重症度(12段階式片麻痺grade、以下、下肢12 grade)、入院時、装具処方時ならびに退院時のFunctional Independence Measure(以下、FIM)の得点(総得点、運動項目、認知項目)、処方された装具の種類と担当PTの経験年数の情報を収集した。加えて当院入院から装具処方までに要した日数、歩行が自立した患者においては下肢装具作製日を基準とした歩行が自立するまでの日数の情報収集も行った。なお歩行自立の定義はFIMの移動項目が歩行で6点以上とした。

2-4 統計解析方法

得られたデータの正規性はShapilo-wilks検定で確認した。下肢装具処方までの期間に影響する要因を明らかにする目的で、入院から下肢装具処方までの日数を従属変数にした強制投入法を用いた重回帰分析[12]を行った。独立変数には担当PTの臨床経験年数に加え、脳卒中患者の歩行自立に影響を及ぼすことが報告されている要因[13-15]やその指標ある，入院時の下肢12 grade、年齢、入院時FIM運動項目、そして入院時FIM認知項目を加えた。なお、今回の重回帰分析は予測式の構

築が目的ではなく、独立変数の影響度を調べることを目的に適応した。

さらに下肢装具作製前後に歩行が自立した患者、もしくはしなかった患者においてPTの経験年数がどのような影響を及ぼしているかを明らかにするために歩行が自立した患者と自立しなかった患者それぞれで群間比較を行った。担当PTの臨床経験を臨床実習指導者が可能となる5年目未満(以下、若年PT担当群)と5年目以上(以下、熟練PT担当群)に2群化し、入院時下肢12 grade、入院時FIM総得点、下肢装具処方時のFIM総得点、退院時FIM総得点の比較をT検定もしくはWilcoxon順位符号和検定にて行った。歩行が自立したものにおいては、下肢装具作製から歩行自立まで要した期間の比較も行った。なお下肢装具作製前に病院備品を使って歩行が自立していた患者も存在することから、歩行の自立日は装具作製日よりさかのぼって計算し解析を行った。

すべての統計解析はSPSS ver 25 for Windowsを用い実施し有意水準は5%未満とした。

3. 結果

対象期間内に下肢装具の作製を行った脳卒中患者61名(平均年齢64.5 ± 13.6歳)の基本属性ならびに作製した装具の内訳を**表1**に示す。

重回帰分析の結果、下肢装具作製までの期間に及ぼす影響として、入院時FIM運動項目(標準偏回帰係数$\beta = -0.395$、$P = 0.033$)と担当PTの経験年数(標準偏回帰係数$\beta = -0.276$、$P = 0.037$)が有意に抽出された(**表2**)。一方で、患者の年齢、下肢12 gradeならびに入院時FIM認知項目については有意差が認められなかった。

歩行が自立した患者と自立しなかった患者はそれぞれ、若年PT担当群と熟練PT担当群に群分けし、比較を行った(**表3**、**表4**)。歩行が自立した患者においては入院時FIM総得点や下肢12 gradeにおける群間差は認めなかったが、熟練PT担当群では下肢装具処方時のFIM総得点は有意に低く、入院から装具作製までの期間は有意に短かった。また下肢装具作製を基準にした歩行自立までの日数は有意に長かった。退院時のFIM総得点に群間差は認めなかった(表3)。

表1　対象者の基本属性(n = 61)

年齢（歳）			64.5 ± 13.6
性別（女性：男性）		（人数）	（21：40）
病型（出血：梗塞）		（人数）	（31：40）
麻痺側（右：左）		（人数）	（26：35）
入院時下肢12段階式片麻痺grade			6（4−7）
入院時	FIM総得点	（点）	57.4 ± 20.4
	運動項目	（点）	36.4 ± 15.4
	認知項目	（点）	22.8 ± 7.3
装具処方時	FIM総得点	（点）	78.1 ± 24.1
	運動項目	（点）	52.3 ± 18.9
	認知項目	（点）	25.8 ± 6.8
退院時	FIM総得点	（点）	95.7 ± 24.0
	運動項目	（点）	67.9 ± 18.9
	認知項目	（点）	27.9 ± 6.4
入院から装具作製までの期間（日）			36（20−79）
担当理学療法士の経験年数（年）			6（3−8.5）
作製された下肢装具の種類（処方数）	1. 短下肢装具		48
	（内訳）		
	金属支柱付きAFO		31
	Gait Solution Design		7
	オルトップAFO		4
	プラスチックAFO		6
	2. 長下肢装具		13

Mean ± SDまたはMedian（quartile）
FIM: Functional Independence Measure
AFO: Ankle Foot Orthosis

表2　重回帰分析の結果

	β	P Value	95 % Confidence Interval	
			下限	上限
年齢	−0.188	0.147	−1.258	0.193
入院時下肢12段階式片麻痺grade	0.307	0.060	−0.201	9.069
入院時FIM運動項目	−0.395	0.033	−1.887	−0.081
入院時FIM認知項目	−0.068	0.650	−1.927	1.213
担当理学療法士の経験年数	−0.276	0.037	−3.817	−0.128

FIM: Functional Independence Measure

表 3　歩行が自立した患者の担当 PT による群間比較

	若年 PT 担当群（n ＝ 13）	熟練 PT 担当群（n ＝ 24）	P value
年齢（歳）	69.1 ± 12.0	58.8 ± 13.8	0.031
入院時下肢 12 段階式片麻痺 grade	5.7 ± 3.5	6.0 ± 2.3	0.779
入院時の FIM（点）	69.0 ± 17.2	65.3 ± 18.8	0.559
装具処方時の FIM（点）	98.8 ± 13.9	85.3 ± 17.6	0.022
退院時の FIM（点）	112.2 ± 9.0	108.0 ± 10.9	0.239
入院から装具作製までの期間（日）	44（36−79）	28（18.3−39.8）	0.009
装具作製日を基準とした歩行自立までに要した日数（日）	6.7 ± 36.3	33.0 ± 35.3	0.042

Mean ± SD または Median（quartile）
FIM: Functional Independence Measure

表 4　歩行非自立患者における担当 PT 経験年数別の比較

	若年 PT 担当群（n ＝ 9）	熟練 PT 担当群（n ＝ 15）	P Value
年齢（歳）	74.1 ± 9.7	64.0 ± 12.7	0.053
入院時下肢 12 段階式片麻痺 grade	3.1 ± 2.1	3.9 ± 1.8	0.323
入院時の FIM（点）	39.3 ± 16.1	45.6 ± 14.5	0.336
装具処方時の FIM（点）	57.2 ± 22.8	61.4 ± 21.6	0.657
退院時の FIM（点）	66.6 ± 23.0	79.3 ± 23.7	0.308
入院から装具作製まで期間（日）	79.0（17.5−102.5）	42.0（26−103）	0.815

Mean ± SD または Median（quartile）
FIM: Functional Independence Measure

歩行が自立しなかった患者では若年 PT 担当群、熟練 PT 担当群で年齢、入院時、装具作製時、退院時それぞれの FIM 総得点ならびに、入院から下肢装具作製までの日数に有意な差は認めなかった（表 4）。

4.　考察

本研究では、回復期リハビリテーション病棟へ入院した脳卒中患者の下肢装具作製までの期間に与える影響について担当 PT の経験年数を含んだ要因で検討を行った。加えて歩行が自立した患者と自立しなかった患者それぞれを若年 PT 担当群と熟練 PT 担当群に 2 群化し、歩行自立までの期間やその特徴を明らかにした。重回帰分析の結果、下肢装具作製時期には入院時 FIM 運動項目に加え、PT の経験年数が影響を与えていたことが明らかとなった。また、歩行が自立した患者においては、熟練 PT 担当者群は若年 PT 担当者群に比較し、FIM 総得点が低い段階で、早期に本人用の下肢装具が作製していたことが明らかになった。

本研究の結果、下肢装具作製までの期間に最も影響を与える要因は入院時 FIM 運動項目であった。近年の脳卒中患者の歩行自立に関して検討した systematic review では脳卒中後 3 カ月時点の歩行獲得に影響する要因として、年齢、入院時の日常生活動作能力、認知機能障害や排泄障害の有無が報告されている [15]。入院時 FIM 運動項目は日常生活動作や排泄に関する項目を内包する指標であり、下肢装具作製にも影響する指標であると考えられる。本研究で強調すべきは、担当 PT の経験年数も装具作製時期に影響を与えていた点である。療法士の知識や臨床思考能力は経年変化で発展するものの [11]、実際の臨床場面ではトレーニング量 [16] の少なさに関連することも報告されている。本研究では経験年数の影響は下肢装具作製時期にも影響を及ぶことが示唆された。また、歩行が自立した患者においては、若年 PT 担当群に比べ、熟練 PT 担当群で、FIM 総得点が有意に低い段階で、かつ早期に下肢装具の作製がなされることも明らかになった。つまり熟練 PT は歩行の自立を見越して早めに下肢装具作製を行っていることを示唆しているといえる。若年 PT 担当者群では、下肢装具作製時期を基準とした歩行自立までの期間は、熟練 PT 担当者群に比べ有意に短

かった。これは若年 PT が下肢装具作製時期の段階ではすでに病院備品を利用して患者に歩行を自立させるものが多く、歩行獲得の見通しが立ったのちに下肢装具作製の判断を行っていることを意味する結果と考えられる。平成 29 年度に日本理学療法士協会は在会 PT を対象に「福祉用具・義肢・装具支援に関する啓発と実態調査」[10]を実施している。このなかで、装具の必要性を判断する能力を持っているかを問う質問に対して、「大いに持っている」あるいは「ある程度持っている」と答えた経験年数が 10 年以上の PT は 86.8% であるのに対し、経験 3 年未満の PT は 35.3% と低値であった。本研究で明らかとなった PT 経験年数と下肢装具処方時期の関連は、若手 PT 本人たちが感じている主観能力が実務においてもそのまま反映されている結果といえる。

歩行が自立しなかった患者においては若年 PT 担当者群が熟練 PT 担当者群と比較して下肢装具処方時期が遅れる傾向にはあったが、有意な差は認めなかった。装具処方は必ずしも歩行の自立を目指すものではなく、変形予防や入院中や退院後の立位・歩行練習の機会の確保という目的においても処方される。そのため熟練 PT においてもその費用対効果を吟味して下肢装具作製の判断を行っていること示唆する結果であると言える。

本研究結果は PT 担当者の経験年数によらず、装具処方の判断や手続きを促す効果的なシステム作りの重要性を示す結果といえる。遠藤ら[17]は、回復期病棟に入院した患者全例に対して装具回診への参加を義務付けることで、装具処方時期を早められることを報告している。そのため支援体制を構築することで経験年数の影響を除すことができる可能性がある。また、装具作製の必要性を誰でも判断できる客観的な指標の必要性を示唆している結果である。

本研究の限界として、単一病院の装具処方に関するデータを用いた研究であり、装具処方システムなど異なる他院などには当てはめることができないことが挙げられる。そのため、他施設も含め PT の経験年数の影響を検討していく必要がある。また、後方視的研究であるため、患者やその家族の下肢装具作製の受け入れや想い、そして実際に処方を行う主治医の判断の影響があった可能性がある。今回の研究結果の先には、装具を早期に作製した場合、自立度や身体機能のアウトカムに有意な改善が生じるかという疑問が生じる。今回の研究デザインではそれらについて十分に検討できなかったが、今後は装具作製時期と治療効果についても明らかにしていく必要がある。

5. 結論

本研究では回復期リハビリテーション病棟に入院する脳卒中患者の下肢装具作製時期に担当する PT の経験年数が影響を及ぼすことが明らかとなった。本研究結果から、経験年数に依存しない院内教育システムの構築や装具作製が必要な患者を識別する客観的指標を開発する必要性が示唆された。

6. 利益相反

開示すべき利益相反はない。

文献

1) 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, 第1版：48−49, 協和企画, 東京, 2021.

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2021, 第1版：265, 協和企画，東京, 2021.

3) 今岡信介, 佐藤浩二：発症から長下肢装具作製までの期間が身体機能およびADL能力に与える影響. 義装会誌, 32 : 270−273, 2016.

4) 高木聖, 石田典子, 平野裕滋, 他：脳卒中片麻痺患者の下肢装具作製時期に影響を与える要因についての検討. Jpn J Rehabil Med, 47 : 120−128, 2010.

5) 高木聖, 石田典子, 平野裕滋：急性期病院における脳卒中片麻痺患者のおける下肢装具作製状況―10年間の年次推移からの検討―. 義装会誌, 24 : 107−113, 2008.

6) 日本理学療法士学会，http://jspt.japanpt.or.jp/upload/jspt/obj/files/kenkyujosei/05%E3%80%8019%EF%BD%B0B03%E3%80%80%E7%90%86%E5%AD%A6%E5%8A%A9%E6%88%90%E5%A0%B1%E5%91%8A%E6%9B%B8%E3%80%80%E9%98%BF%E9%83%A8%E7%B4%80%E4%B9%8B%E5%85%88%E7%94%9F%E4%BB%96.pdf（2021.10.25 確認）

7） 廣川琢也, 松本秀次, 上間智博, 他：鹿児島県の理学療法士が所属するリハビリテーション施設における下肢装具処方のアンケート調査. 義装会誌, 31：173−179, 2015.
8） 小川秀幸, 西尾尚倫, 牧野諒平, 他：下肢装具による医療関連機器圧迫創傷に関連する要因. Jpn J Rehabil Med, 58：828−836, 2021.
9） 竹内伸行: 当院における理学療法士および作業療法士の経験年数とアクシデント発生頻度の関連性. 北関東医学, 61：405−409, 2011.
10）日本理学療法士学会, 日本支援工学理学療法学会：福祉用具・義肢・装具支援に関する啓発と実態 調査〜装具編〜. 日本支援工学理学療法学会. 2018.
11）芳野純：理学療法士の臨床能力の難易度と経験年数間の差に関する縦断研究. 理学療法学, 44：154−155, 2017.
12）Sun GW, Shook TL, Kay GL：Inappropriate use of bivariable analysis to screen risk factors for use in multivariable analysis. J Clin Epidemiol, 49：907−916, 1996.
13）菅原憲一, 内田成男, 石原勉, 他：片麻痺患者の歩行能力と麻痺側機能の関係. 理学療法学, 20：289−293, 1993.
14）Kwah LK, Harvey LA, Diong J, et al：Models containing age and NIHSS predict recovery of ambulation and upper limb function six months after stroke: an observational study. J Physiother, 59：189−197, 2013.
15）Preston E, Ada L, Stanton R, et al：Prediction of independent walking in people who are nonambulatory early after stroke: a systematic review. Stroke, 52：3217−3224, 2021.
16）Lang CE, Macdonald JR, Reisman DS, et al：Observation of amounts of movement practice provided during stroke rehabilitation, Arch Phys Med Rehabil, 90：1692−1698, 2009.
17）遠藤正英, 東世智, 橋本将志：装具回診の重要性―装具回診を全例に実施した効果―. 義装会誌, 33：179−181, 2015.

Abstract :
The purpose of this retrospective observational study was to demonstrate the influence of years of Physical Therapist (PT) experience in charge on the time to prescribe the orthosis for post stroke patients in rehabilitation setting. Sixty-one patients who were admitted at a rehabilitation hospital were included in this study. The multi regression analysis was performed to reveal the influences on prescription time by using age, motor and cognition of Functional Independence Measure (FIM) at admission, severity of motor function in affected lower limb and the years of PT experience in charge as the dependent variables. Each of post stroke patients with dependent and independent of walking were divided into two groups based on the PT experience of <5 and ≥5 years in charge and compared the FIM total score at the time of admission, at the time of prescription of orthosis and at the time of discharge. The prescription time was also compared. For patients who got independent walking, the time to independent walking based on the prescription time was additionally compared. The results of multi regression analysis revealed that motor FIM score at admission and the year of PT experience in charge were significantly influenced the orthosis prescription time from admission at rehabilitation hospital. In patients who got independent of walking, patients whose PT in charge experienced ≥5 years were significantly prescribed earlier and significantly lower the FIM total score at the time of prescription, although the FIM total score at admission and discharge were not significantly different. Our results indicated the years of PT experience in charge of stroke rehabilitation influence the time to prescribe the orthosis. This results may indicate that educational system is necessary for inexperienced PT to decide to prescribe orthosis without difficulties.
Key words : Stroke, Orthosis, Prescription, Physical Therapist, Experience

Journal of Assistive Technology in Physical Therapy　p.46~54

◎原著

生活期の短下肢装具ユーザーに関する装具フォローアップの実態調査
～訪問・通所リハビリテーションサービスの非利用者に関する意識調査を含めて～

A survey on the current status of orthotic follow-up for the users of ankle-foot orthotics in their daily lives and the attitudes of nonusers of home-visit and outpatient rehabilitation services

春名弘一[1]，田中亮人[2]，佐藤健斗[3]，三富菜々[3]，昆恵介[3]，阿部由依[1]，田中勇治[1]

要　旨

近年、生活期の下肢装具ユーザーに関するフォローアップ体制の不備が指摘されていている。しかし、装具フォローアップの実態や、装具ユーザーの意識については不明な点が多い。そこで、①居宅サービスを受けている要介護者の短下肢装具ユーザーの割合、②装具フォローアップの実態、③リハ系サービスの非利用者の意識を調査した。結果は居宅サービスを受けている要介護者の短下肢装具ユーザーの割合は2.8％であった。在宅生活中の装具ユーザーの装具に関するフォローアップは、介護保険分野の療法士が積極的に関わっていた。在宅生活中の装具ユーザーのうちリハ系サービスの非利用者率は9％存在し、装具の必要性は認識しているが定期的なメンテナンスは不要と考えていた。生活期の短下肢装具ユーザーに対する訪問リハ・通所リハといったリハ系サービスの利用は、装具の適切なフォローアップに寄与すると考えられた。

【キーワード】装具フォローアップ、短下肢装具、調査研究

1.　はじめに

脳卒中片麻痺患者に対する理学療法において、下肢装具は重要なツールとなっている。片麻痺患者に対する装具療法は、脳卒中治療ガイドライン2021[1)]および理学療法ガイドライン第2版[2)]においても推奨され広く普及している。

下肢装具は、医療保険制度に基づき医療機関で処方され、生活期に移行した後は障害者総合支援法に基づく補装具費支給制度を活用し、装具の再製作や修理サービスを受けることができる。このように、装具の製作および修理に掛かる費用は公費で賄われ、装具の種類に応じて耐用年数が設定されている。装具製作後（引き渡し後）は、ユーザーの歩行状態や体形の変化に合わせて理学療法士や義肢装具士などの専門家による定期的なフォローアップ（装具の適合チェックおよびメンテナンス）が必要となる。しかし、実際には適切なフォローアップが実施されずに下肢装具が不適合状態と

1　北海道科学大学保健医療学部理学療法学科
2　医療法人社団朗愛会こが病院
3　北海道科学大学保健医療学部義肢装具学科
投稿日：2021年11月30日　　採択決定日：2021年12月25日　　公開日：2022年3月31日

なっても本人や関係者が異常に気付かずに装具を使い続ける、また、耐用年数が過ぎて装具の見直しが必要な状態になっても放置されるなどで、反張膝などの二次障害や歩行機能低下を起こす事例が多発している。近年、このような生活期の下肢装具ユーザーに関するフォローアップ体制の不備[3,4]が指摘され、装具難民問題と呼ばれている。装具難民[5]とは、「適切な装具療法が行われていない」、「装具処方時、患者に装具そのものの情報が伝わっていない」、「装具処方後定期的なフォローアップがなされていない」、「かかわるスタッフの知識不足」など下肢装具に関する治療・情報・システム・教育の問題であると定義している。このように、近年では生活期の下肢装具ユーザーに関するフォローアップの問題が注目されていているが、在宅生活中の装具ユーザー(以下、在宅装具ユーザー)の装具フォローアップの実態や、装具ユーザーのフォローアップに関する意識については不明な点が多い。

また、大西ら[6]は維持期における下肢装具のフォローアップの問題について、個々の症状に対して二次的機能障害を早期に発見、対処することが重要であるにも関らず、装具利用者が装具に関する専門職種と接点を持つことが制度上困難であることを指摘している。具体的には、医療保険にて装具が処方される場合は、義肢装具士、医師、療法士の連携が可能であるが、介護保険に移行してしまうと、この3職種が揃って提供できるサービスがない。このため、我々は介護保険を利用可能な下肢装具ユーザーには、理学療法士(または作業療法士)が直接関わり、装具のフォローアップを実施可能となる利点を活かし、訪問リハビリテーションまたは通所リハビリテーション(以下、リハ系サービス)の利用が有効と考えている。しかし、在宅装具ユーザーのリハ系サービス利用率およびリハ系サービスに対する意識については報告がない。

以上の背景から、本研究の目的は①居宅サービスを受けている要介護者のうち、短下肢装具ユーザーの割合を調査する。②在宅装具ユーザーの装具フォローアップの実態を調査する。③在宅装具ユーザーのうち、リハ系サービスの非利用者の意識調査を行うこととした。

2. 対象と方法

2-1 研究デザイン

量的研究と質的研究を併用したミックスメソッド法[7]による調査研究を実施した。研究実施にあたっては、北海道科学大学保健医療学倫理委員会の承認(承認番号:555号)を得てから実施した。

2-2 調査地域(北海道網走市)の概要

北海道東部(道東地方)にある市で面積は471 km^2、オホーツク総合振興局の振興局所在地である。人口は2015年国勢調査によると、総人口39,077人(18,035世帯)、65歳以上人口は10,691人で高齢化率(65歳以上)は27.4%を記録し、2015年国勢調査における全国平均26.7%を0.7ポイント上回っていた。要介護認定者数(2019年、網走市介護福祉課資料)[8]は、1,865人となっている。

網走市内の居宅介護支援事業所は2021年11月現在で8事業所、地域包括支援センターは2か所設置されている。

2-3 ケアマネジャーを対象とした調査

2021年8月12日時点で網走市内の居宅サービスを提供している全てのケアマネジャー(37名)を対象にアンケートを実施した。アンケートは無記名式とし、事業所ごとに配布し返送は郵送とした。アンケートの回答・返送の期間を到着後2カ月とした。

アンケート調査の内容は年齢、性別、勤務年数、基礎資格、ケアプラン担当者数、ケアプラン担当者のうちの短下肢装具ユーザー数、装具ユーザーのうち訪問リハ、通所リハの利用者数、装具の不具合の確認状況とした。得られたデータは単純集計を実施した。

2-4 在宅装具ユーザーを対象とした調査

網走市内で在宅生活をされている短下肢装具ユーザーを対象にアンケートを実施した。対象者を公募するために、網走市内の地域包括支援センター、居宅介護支援事業、訪問リハビリテーショ

ンおよび通所リハビリテーションにフライヤーを配布し、アンケート調査に協力頂ける装具ユーザーを募った。アンケートは無記名式とし、事業所ごとに配布し返送は郵送とした。アンケートの回答・返送の期間を到着後2カ月とした。

アンケート調査の内容は年齢、性別、罹患年数、要介護度、身体障害者手帳の有無および等級、これまでの装具製作数、現在使用している装具の使用年数、リハ系サービスの利用有無、装具の相談者について、歩容の確認について、装具のメンテナンスについて、耐用年数の知識、義肢装具製作所の連絡先についての情報についてとした。得られたデータは単純集計を実施した。

2-5　リハ系サービスを活用していない在宅装具ユーザーのインタビュー（質的調査）

網走市ケアマネジャー連絡協議会の協力を得て、リハ系サービスを活用していない在宅装具ユーザーを紹介頂き、インタビューガイド(**表1**)に沿って、半構造化面接を実施した。対象者の意見を遺漏なく聞き取りつつ議論の飽和までインタビューを継続し、全ての発言はICレコーダーに録音した。分析は客観性を担保する目的で、2名の研究者で協議しながらSteps for Coding and Theorization(以下、SCAT)の手順[9,10]に基づき行った。SCATは、テクスト化した音声データを発言ごとに区切った後に4つのステップのコーディング(ステップ①：テクスト中の注目すべき語句の抽出、ステップ②：抽出された語句の言いかえ、ステップ③：言い換えた語句を説明できるようなテクスト外の概念の提示、ステップ④：ステップ①～③や前後の会話の文脈を考慮したテーマ・構成概念の記述)を行い、ステップ④で記述されたテーマ・構成概念を元に一連の文章としてまとめたストーリーラインを書き出し、断片化することで理論記述(分析データから言えること)を出力する質的分析手法である。

表1　インタビューガイド

□・入院中のことは覚えていますか？
□　―入院中のリハビリテーションは効果的であったか
□　―リハビリテーションの中で装具は使用したか？
□　―自身の装具はいつ作ったか
□　―装具について効果や使用期間など、どのような説明を受けたか
□　―装具を使うことについてご自身どう思いましたか
□　―装具について期待していたことはどのようなことがあるか
□　―装具は効果的であったか（期待に対して十分であったか不十分であったか）？
□・退院してからの生活について
□　―家の中での生活は、どの程度のことを自身でやっているか
□　―外出する機会はあるか
□　―どのようなところに行くか
□　―外出するときに装具を隠したいか見せたいか
□　―生活しているうえで困っていることはあるか
□　―装具を使い始めて周囲の方から言われたことはありますか
□・退院してから日常的に装具は使っていますか？
□　―どのくらいの時間使用してるか
□　―屋内外での使用状況
□　―これまでの修理の回数
□　―これまでの作り変えの回数
□・日常生活で装具は効果的か（役に立っているか）
□　―今使っている装具に満足しているか
□　―装具を使う上で困ることは？
□　―装着はスムーズか
□　―装着に要する時間は
□　―靴の脱ぎはき
□　―装具について、もっとこうなればよいという点は
□　―装具がなくても生活できるか
□・装具について点検してくれる人はいるか
□　―装具に不具合が出た時はどう対処しているか
□　―装具の不具合を自分で直そうとしたことはあるか
□　―義肢装具製作所に連絡できるか
□　―装具の公的制度について知っているか
□　―装具を使うことや制度の説明を十分受けたか
□　―定期的な装具のメンテナンスが必要であるという認識があるか
□　―納品してもらってからのフォローアップは十分か
□　―納品後のフォローとしてどのようなことをしてほしいか
□　―今の装具が使えなくなったら、代わりに使える装具はあるか
□・退院してから体の機能に変化はあったか
□　―体の変化がないか見てくれる人や相談できる人はいるか
□　―病院を出てから今まで、行うことが難しくなった動作はあるか
□　―リハビリなど体を動かす機会はあるか
□　―リハ系サービスを使っていない理由

3.　結果

3-1　ケアマネジャーを対象とした調査結果

回答数は36/37通でアンケート回収率は97.3%となった。ケアマネジャーの基本情報とし

て年齢、性別、経験年数、在宅生活者のケアプラン担当件数、基礎資格を**表 2** にまとめた。

在宅生活者のケアプラン担当件数は合計 1,024 件で、そのうち短下肢装具使用者総数は 29 名、短下肢装具使用率は 2.8% であった(**表 3**)。短下肢装具使用者(29 名)のうち、リハ系サービスの非利用者率は 7%(2 名)であった(**図 1**)。

装具ユーザーのケアプランを 1 人以上担当しているケアマネジャー 15/36 名に対して、装具の不具合の確認を定期的に行っているかの問いについては、行っているが 60%、行っていないが 40% であった(**図 2**)。

3-2　在宅装具ユーザーを対象とした調査結果

回答数は 23 通であった。在宅装具ユーザーの基本情報として年齢、性別、罹患年数、要介護度、身体障害者手帳の有無および等級を**表 4** にまとめた。また、装具製作に関する情報では、現在使用中の装具の使用年数は 2.9 ± 2.4 年で、これまでに製作した装具数は 2.6 ± 1.9 個であった(**表 5**)。リハ系サービスの使用状況(**図 3**)は訪問リハ 35%、通所リハ 26%、訪問リハ・通所リハ併用 30%、利用なし 9% となった。

定期的に歩行の変化を確認してくれる方(**図 4**)については、理学療法士・作業療法士(以下、療法士)87%、デイサービス職員 4%、いない 9% であり、定期的に装具の状態を確認してくれる方(**図 5**)は、療法士 6%、義肢装具士 4%、デイサービス職員 4%、いない 30% であった。装具について困ったときの相談相手(**図 6**)は療法士 78%、ケアマネジャー 4%、デイサービス職員 9%、いない 9% となった。

装具の耐用年数を知っているか(**図 7**)の問いには、知らない 70%、知っている 30% であり、ご自身の装具を製作した義肢装具製作所の連絡先を知っているか(**図 8**)の問いには、知らない 70%、知っている 30% の結果であった。

3-3　リハ系サービスを活用していない在宅装具ユーザーのインタビュー（質的調査の結果）

在宅装具ユーザーを対象とした調査(23 名)の

表 2　ケアマネジャー の基本情報(n = 36)

アンケート回収率（%）	97.3
年齢（歳）	49.1 ± 7.7（33−64）
性別（名）	男性：9 名　女性：27 名
経験年数（年）	9.1 ± 7.0（1−26）
在宅生活者のケアプラン担当件数（件）	30.1 ± 13.3（1−62）
基礎資格†1（名）	23 ／ 10 ／ 8

年齢，経験年数，担当件数は平均値 ± 標準偏差(最小値 − 最大値)
†1　介護福祉士／看護師／社会福祉士(5 名重複あり)

表 3　在宅生活者の短下肢装具使用率

在宅生活者のケアプラン担当総数（件）	1024
短下肢装具使用者総数（名）	29
短下肢装具使用率（%）	2.8

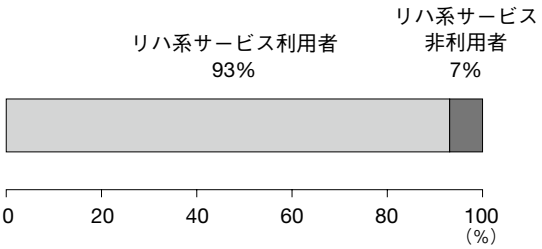


図 1　装具ユーザーのリハ系サービス利用状況(n = 29)

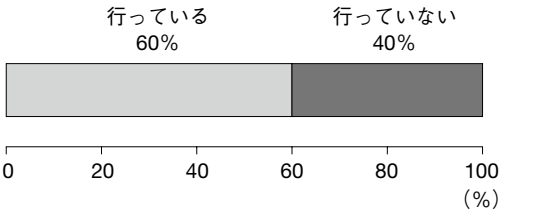


図 2　装具ユーザーの装具を定期的に確認しているか(n = 15)

表 4　装具ユーザーの基本情報(n = 23)

年齢（歳）	67.9 ± 8.7（52−84）
性別（名）	男性：12 名　女性（11 名）
罹患年数（年）	8.3 ± 8.5（1−40）
要介護度†1（名）	5/1/7/5/10/1
身体障害者障害程度等級†2（名）	3/1/1/11/6/2

年齢、罹患年数は平均値 ± 標準偏差(最小値 − 最大値)
†1　支援/介護 1/介護 2/介護 3/介護 4/介護 5
†2　なし/6 級/3 級/2 級/1 級/不明

表 5　装具製作に関する情報（n ＝ 23）

現在使用中の装具の使用年数‡1（年）	2.9 ± 2.4（1−10）
これまでに制作した装具数（個）	2.6 ± 1.9（1−10）

平均値 ± 標準偏差（最小値 − 最大値）
‡1　不明 2 名

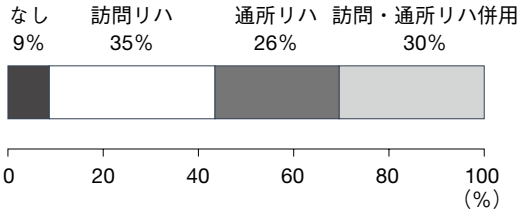


図 3　リハ系サービス利用状況（n ＝ 23）

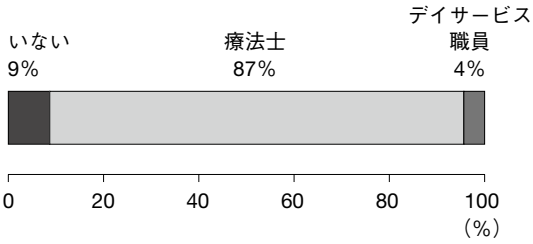


図 4　定期的に歩行の変化を確認してくれる方（n ＝ 23）

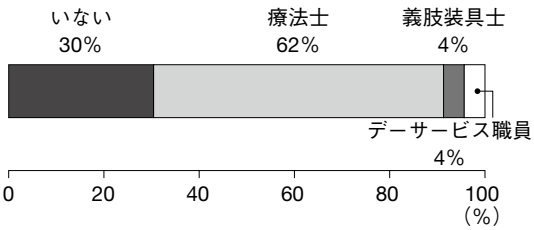


図 5　定期的に装具を確認してくれる方（n ＝ 23）

うち、リハ系サービスを活用していない在宅装具ユーザーは 2 名であった。

装具ユーザー A 氏は、70 歳代の女性、罹患年数は 40 年、通所介護サービスを利用していた。装具ユーザー B 氏は 80 歳代の女性、罹患年数は 12 年、通所介護サービスを利用していた。2 名の対象者にインタビューを行い SCAT にて分析した理論記述を**表 6** に示す。さらに理論記述から捉えた対象者の身体機能の変化の認識、リハ系サービスの活用についての意識、装具の必要性およびメンテナンスに関する意識について以下にまとめ

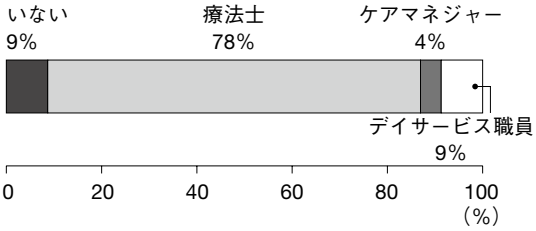


図 6　装具について困った時の相談相手（n ＝ 23）

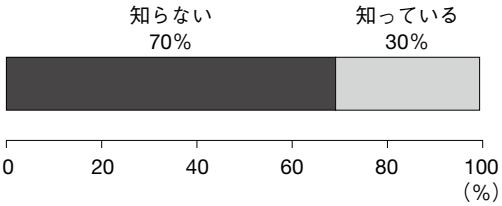


図 7　装具の耐用年数の情報を知っているか（n ＝ 23）

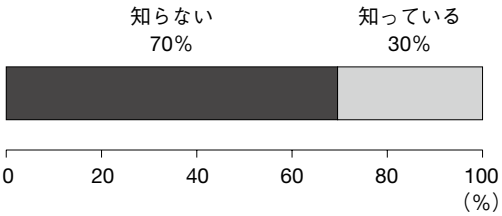


図 8　義肢装具製作の連絡先を知っているか（n ＝ 23）

た。

〈身体機能の変化の認識〉については、在宅生活の経過のなかで、身体機能の低下を自覚し、問題に感じていた。

〈リハ系サービスの活用に対する認識〉については、リハ系サービスを活用すると疲れてしまうと認識していて、身体機能低下に対する問題解決に役立つとは認識していない。また、リハ系サービスの活用が問題解決に役立つと認識していても、必要以上にサービスを活用する負い目を感じ、サービスの活用に後ろ向きになっていた。

〈装具の必要性に関する意識〉については、装具の効果には満足していて、生活に欠かせない道具であると認識している（ポジティブな意識）。一方で、重たい。自己装着ができない。履物の選択が自由にならないというネガティブな意識も存在していた。

表 6　SCAT による理論記述

装具ユーザー A 氏	装具ユーザー B 氏
・「当事者感」の薄い装具使用の開始は、効力感を装着の動機としない「受け身」な装具使用につながる。 ・装具を特別視しない周囲の環境は、装具は特別な道具ではなく「靴」であると認識させ、靴として認識している装具を家の中で使うことの抵抗感を生む。 ・ユーザーは外出時の装具の有用性を感じ、装具への満足感を持つ。 ・ユーザーは加齢でできていたことができなくなる変化によって、できないことが増えることの無力感を感じる。 ・手伝いが必要な場面の増加は、装具装着の自立性の悪さにもつながる。 ・ユーザーは装具装着に対する自立性改善の希望を持つ。 ・ユーザーは装具の重量が重い事による扱いにくさを感じる。 ・ユーザーの装具に関する公的制度や事務処理への「当事者感」の無さが義肢装具士への連絡手段が不確かな状態につながる。 ・装具の不調や不具合の自覚が困難なことと不具合があっても代えがきかない装具の所有状況は、修正が必要な状態での装具使用につながる。 ・ユーザーは装具に関する義肢装具士とのかかわり方に対して装具に明らかな問題がある状態での連絡の希望を持つが、頻回なやり取りは不要と考える。 ・老化による歩行困難は、屋内移動の困難、限られた家庭内の行動パターンの形成につながる。 ・介護サービスによる効果的な環境調整は、ユーザーの介護サービスを受ける以前の屋内移動の困難と危険を減らし、屋内移動の安定化の実感を与える。 ・外出に様々な助けが必要な状態は外出機会の限定につながり、気軽な外出機会の喪失につながる。 ・ユーザーは、サービスとその費用を把握したい。 ・ユーザーは思いのほか高価である装具費用への驚きの思いを持つ。 ・経済的負担への懸念は安価な介護保険サービスによる受益の希望につながる。 ・ユーザーはデイサービスを楽しくゆっくり過ごせる場として認識する。 ・ユーザーは疲労を想像することによる運動のへの抵抗感を持つ。	・脳血管障害で発症直後からの専門病院での治療を受けると、オーダーメイドの装具製作と装具を用いたリハビリテーションを行うこととなる。 ・ユーザーは最初に使用したプラスチック製の装具には足首の過剰な拘束感と装具に対する「障害の象徴」としての認識を持つ。 ・義肢装具士・療法士による装具の必要性の説明の薄さは装具使用への否定的な感情を抱かせる。 ・装具使用の受け入れを促す療法士と対話や療法士による前向きな声かけ、装具使用に否定的な感情を覆すだけの効力感、本人が意識するほど装具を特別視しない周囲の環境は装具使用の受け入れにつながる。 ・上肢機能の障害による「今までできていたこと」の喪失は思うように体が動かない残念さを生む。 ・立位保持・歩行の安定が得られることでユーザーは装具を、障害を負っての生活に欠かせない道具と感じる。 ・装具の自己装着の自立と、装具装着具合の自己管理が可能なことは手間取り感の無い装具使用につながる。 ・装具を比較する機会の無さは、装具へのこんなもんだろうという期待感の無さを生む。 ・装具使用を周囲に気づかれたくない意識は、装具を隠すのに困らない衣服の選択につながる。 ・装具を隠すのに困らない衣服の選択をすることによってファッションへの影響が及ぶ不満が生じる。 ・ユーザーは履物の選択が自由にならない不満を持っている。 ・装具の大きな破損経験の無さや、万一のためのスペア装具を保持する状況は希薄なメンテナンス意識につながる。 ・頻回なチェックは煩わしいという感覚や装具に関するチェックだけでなく声掛けも不要という考えは装具の耐用年数の超過を生じさせる。 ・家族による装具に関する気づきが期待できない状態では、専門家によるメンテナンスの要否の判断が必要となる。 ・ユーザーの装具支給関連制度の理解は、義肢装具士による装具支給関連制度の説明の不足により十分でない状態となる。 ・義肢装具士による装具支給関連制度の説明の不足はケアマネジャーを通じた義肢装具士への連絡が必要な状態を作る。 ・ケアマネジャーを通じた義肢装具士への連絡は、自身では義肢装具士へ連絡しない状況を作る。 ・屋内での装具装着は、スムーズな屋内歩行につながる。 ・ちょっとしたことでの手助けの必要性が生じていることや周囲の人の手を借りる負い目を感じるようになる。 ・以前より疲れやすくなった感覚や、長距離を歩いたときの疲労の感じやすさは老化による身体能力の変化の自覚につながる。 ・デイケアに行かなくなったことによる運動機会の減少は歩行による疲労を感じやすくなる原因となる。 ・「必要以上に多く介護保険サービスを利用する負い目」はサービス利用への消極的な姿勢につながる。

〈装具のメンテナンスに関する意識〉については、装具の頻回なチェックや声かけは不要であると考えていた。

4.　考察

4−1　居宅サービスを受けている要介護者の短下肢装具ユーザーの割合について

居宅サービスを受けている要介護者のうち、短下肢装具ユーザーの割合を調査する目的で、網走市内で勤務するケアマネジャーを対象にアンケート調査を実施し、回収率は 97.3% と信頼性の高い

調査となった。2021 年 11 月現在、網走市内の要介護(要支援)者のうち在宅生活を送られている者が 1,024 名、そのうち短下肢装具のユーザー数が 29 名、短下肢装具使用率は 2.8% であった。

政府統計の総合窓口(e-Stat)による 2019 年度の統計[11]によると、要介護(要支援)認定者数は全国で約 668 万人に及んでいる。また、厚生労働省の「介護保険事業状況報告(月報・暫定)」令和 3 年 8 月分[12]によると、要介護者のうち施設に入所してサービスを受けた人は約 96 万人となっている。このように、全国平均では要介護(要支援)認定者のうち約 15% 程度が入所サービスを受けている。しかし、医療機関への入院などにより、入所サービスを提供されている要介護(要支援)認定者以外の全てが在宅で生活されているとは限らないため、要介護(要支援)認定者の在宅生活者数は明確にはなっていない。また、本研究では、短下肢装具ユーザーの疾患内訳は調査していない。短下肢装具の適用は脳卒中のみならず、一部の神経筋疾患なども導入されることがあるが、神経筋疾患は希少な疾患[13]であるため、ここでは短下肢装具ユーザーの多くは脳卒中患者と想定し考察する。

網走市の統計[8]によると、2019 年度要介護(要支援)認定者数は 1,865 名であった。2019 年度国民生活基礎調査[14]によると、介護が必要になった主な原因疾患は脳血管疾患が約 16% であることから、概算として網走市内の脳血管疾患による要介護(要支援)認定者数は約 300 名程度と見込まれ、そのうち全国平均と同様に 15% が入所サービスを受けている[12]と仮定すると、脳血管疾患により要介護(要支援)認定を受けた在宅生活者と、何らかの理由で在宅生活も入所サービスも受けていない者とを合わせて 45 名程度になる見込みである。あくまでも公的統計調査からの推計になるが、網走市内における脳血管疾患による要介護(要支援)者が 45 名程度と仮定すると、短下肢装具ユーザー数 29 名は決して少ない数字ではない。

本調査において、在宅の装具ユーザーを担当しているケアマネジャーは 15/36 名(41.7%)であった。2018 年に報告された千葉県豊津市在住のケアマネジャー 61 名を対象とした阿部ら[15]の調査研究でも、下肢装具を使用している利用者を担当しているケアマネジャーは 52% であったと報告している。しかし、本研究の結果で明らかになったように、居宅サービスを受けている要介護者全体からの短下肢装具ユーザーの割合は 2.8% と僅かな数値であり、ケアマネジャーの視点から想像すると、頻繁に遭遇する事例ではないことが伺える。ケアマネジャー 1 人当たりのケアプラン担当者数が平均 30 名を超える業務のなかで、装具の定期的な適合チェックや点検・整備などをケアマネジャーが実務的に関わることは難しいため、介護保険を利用可能な下肢装具ユーザーに対しては、訪問リハ・通所リハといったリハ系サービスの利用が装具の適切なフォローアップに寄与すると考えられた。

4-2　装具の製作歴について

網走市の在宅装具ユーザーの現在使用中の装具の使用年数は平均 2.9 年、これまでに製作した装具数は平均 2.6 個であった。2010 年に兵庫、大阪、奈良、岡山、京都、広島にて調査した大西らの調査研究[6]によると、プラスチック短下肢装具の平均使用期間が 3 年 0 カ月であったと報告されている。本研究においても同程度の使用期間であったが、本調査では使用している短下肢装具種類(支柱あり、なし)を聴取していないため、使用している短下肢装具が対応年数を超えているか否かは不明である。一方で、データのばらつきは大きいが、平均罹患年数 8.3 ± 8.5 年に対して、これまでに製作した装具数は平均 2.6 ± 1.9 個であり、単純計算で約 3.2 年ごとに装具を再製作している計算になる。支柱付き短下肢装具の耐用年数が 3 年であることから、耐用年数に合わせて再製作を実施していると推察される。

4-3　装具ユーザーの装具フォローアップに関する意識

本調査では、在宅装具ユーザーに関してリハ系サービスの利用率は 93% と高値を示し、在宅装具ユーザーを対象とした意識調査の結果(図 4-6)からも、療法士が装具のフォローアップの役割を担っていると認識されている結果となった。一

方で、装具の耐用年数の情報と義肢装具製作所の連絡先を知っている装具ユーザーは30％となっており、装具ユーザー自らが主体的にフォローアップの必要性を感じているかは疑わしく、介護保険分野の療法士が積極的に装具のフォローアップに関わっている結果であると推察された。大西ら[6]の報告においては、装具の耐用年数の情報を知っている装具ユーザーは12％であったと報告され、先行研究においても同様に装具ユーザーのフォローアップに関する意識の低さが伺える。

4-4　リハ系サービスを利用していない在宅装具ユーザーの意識

リハ系サービスを利用していない在宅装具ユーザーは、自身の装具の効果に満足し、装具の必要性は認識しているが定期的なメンテナンスは不要であると考えていた。また、在宅生活の経過のなかで、身体機能の低下を自覚し問題に感じている一方で、リハ系サービスの利用は希望していなかった。これは、装具に関する情報や患者教育の不足やリハ系サービスを受けることへの被援助志向性[16]なども要因と考えられる。

対策としては、入院中における装具処方時や、退院時の患者・家族へのセルフマネジメント指導などの退院支援サービスにおいて、下肢装具の定期的なメンテナンスの必要性についての十分な患者教育が重要と考える。また、テクノロジーを活用した問題解決手法としては、AIやICT技術を利用して装具ユーザー自身が装具の不適合状態を検出するような技術開発が効果的であると考えている。

4-5　下肢装具に関わる網走市の地域連携について

今回の網走市での調査では、装具ユーザー自身のフォローアップの関する意識の低さが伺えた一方で、下肢装具の耐用年数に合わせて再製作を実施していると推察されたこと、また、装具ユーザーが装具について困ったときの相談相手が91％存在する（図6）ことなど、丁寧なフォローアップがされていた。この背景には、網走市の人口4万人弱という規模からも、医療・介護スタッフ間の顔の見える良好な他職種連携ができているためと考えられる。また、下肢装具の処方や考え方に地域性が存在する[17]ことからも、今後は都市部などの人口集中地区の調査を行い、今回の結果と比較する必要性がある。

5.　結論

居宅サービスを受けている要介護者のうち、短下肢装具ユーザーの割合は2.8％であった。在宅装具ユーザーの装具に関するフォローアップは、介護保険分野の療法士が積極的に関わっていた。在宅装具ユーザーのうちリハ系サービスの非利用者率は9％存在し、装具の必要性は認識しているが定期的なメンテナンスは不要と考えていた。生活期の下肢装具ユーザーに対しては、訪問リハ・通所リハといったリハ系サービスの利用が装具の適切なフォローアップに寄与すると考えられた。

6.　利益相反

本研究に関して開示すべき利益相反はない。

謝辞：本研究の調査に協力頂いた北海道網走市の装具ユーザー様、ご家族様、網走市ケアマネジャー連絡協議会会長の佐川様をはじめ、ご協力頂いた全てのケアマネジャー様に深く感謝致します。

文献

1）　日本脳卒中学会 脳卒中ガイドライン委員会編集：脳卒中治療ガイドライン2021：48-49, p265, 協和企画, 東京, 2021.
2）　日本理学療法士協会：理学療法ガイドライン第2版：26-27, 医学書院, 東京, 2021.
3）　細矢貴宏, 阿部紀之：地域における装具への理学療法士のかかわりの重要性.理学療法ジャーナル. 53（12）：1181-1188, 2019.
4）　大串幹：生活期におけるリハビリテーション・装具療法―急性期・回復期での装具処方の観点から. The Japanese Journal of Rehabilitation Medicine, 54（7）：494-499, 2017.
5）　勝谷将史, 道免和久：回復期リハビリテーション病棟における歩行再建. The Japanese Journal of Rehabilitation Medicine, 58（5）：497-504, 2021.

6） 大西忠輔, 中山昇平, 勝谷将史, 他：維持期における下肢装具に関する職種間連携の重要性―維持期脳卒中患者に対する下肢装具の実態調査―. POアカデミージャーナル, 24（1）：30−35, 2016.
7） John W.Creswell（著）, 操華子, 他（訳）：研究デザイン 質的・量的・そしてミックス法：日本看護協会出版会, 東京, 2007.
8） 網走市役所, https://www.city.abashiri.hokkaido.jp/030shisei/020toukei/（2021.11.4確認）.
9） 大谷尚：4ステップコーディングによる質的データ分析手法SCATの提案―着手しやすく小規模データにも適用可能な理論化の手続き―. 名古屋大学大学院教育発達科学研究科紀要（教育科学）, 54：27−44, 2008.
10） 大谷尚：SCAT: Steps for Coding and Theorization―明示的手続きで着手しやすく小規模データに適用可能な質的データ分析手法―, 感性工学, 10（3）：155−160, 2011.
11） 総務省統計局, https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00450351&tstat=000001031648&cycle=8&tclass1=000001157291&tclass2val=0（2021.11.11確認）.
12） 厚生労働省, https://www.mhlw.go.jp/topics/0103/tp0329-1.html（2021.11.11確認）.
13） 小林庸子：神経筋疾患の装具療法について, 日本義肢装具学会誌, 30（1）, 6−10, 2014.
14） 厚生労働省, https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/k-tyosa/k-tyosa19/index.html（2021.11.11確認）.
15） 阿部紀之, 細矢貴宏, 松田雅弘：生活期における下肢装具への相談内容や地域連携の実態―ケアマネジャーを対象とした横断研究―, 理学療法科学, 33（6）：941−954, 2018.
16） 高橋知也, 小池高史, 安藤孝敏：高齢期の被援助志向性に影響を与えるライフイベントは何か―SCATによる内容分析を用いた検討から―, 技術マネジメント研究, 17：20−30, 2018.
17） 春名弘一, 昆恵介, 野坂利也：脳卒中片麻痺患者に対する下肢装具の最近の動向. 理学療法, 34（4）：344−353, 2017.

Abstract :

Recent studies have highlighted the inadequacy of the follow-up system for the users of ankle-foot orthotics in their daily lives. However, the current status of orthotic follow-up and attitudes of orthotic users remain obscure. Therefore, the present study investigated the 1) percentage of ankle-foot orthotic users requiring long-term care who receive at-home care services, 2) current status of orthotic follow-up, and 3) attitudes of the nonusers of rehabilitation services. The results revealed that the percentage of ankle-foot orthotic users requiring long-term care who receive at-home care services was only 2.8％ . Therapists in the long-term care insurance field were actively involved in orthotic follow-up for the at-home orthotic users. Among these users, 9％ did not avail the rehabilitation services. Although nonusers were aware of the need for orthotic devices, they believed that regular orthotic maintenance was unnecessary. Therefore, this survey corroborates the benefits of followup rehabilitation services such as home-visit and outpatient rehabilitation, availed by the lower-limb orthotic users in their daily lives.

Key words : Follow up with orthotics, Ankle foot orthosis, Scientific research

◎原著

生活期脳卒中後遺症者の装具管理状況と装具処方時に受けた指導内容に関する実態調査

A survey of the status of orthotic device 5 management and the content of guidance received at the time of orthotic device prescription for people with post-stroke survivor

阿部紀之[1]，細矢貴宏[2]，松田雅弘[3]

要　旨

【目的】脳卒中後遺症者の装具フォローアップの不十分さが指摘されている中、入院中の患者指導内容や長期的な装具管理状況に関する知見は乏しい。本研究の目的は、入院中に受けた指導内容や生活期の装具管理状況を明らかにすることとした。**【方法】**要介護認定を受けた生活期脳卒中後遺症者92名に対し、装具を作製した医療機関で受けた装具に関する指導内容、下肢装具の状態を調査した。**【結果】**下肢装具の状態で最も多かったのが装具装着時の足の痛み（29.7％）、次にベルクロの摩耗（22.8％）、足のキズや発赤（16.5％）の順であった。医療機関で受けた指導内容に対して「指導を受けていない」または「覚えていない」と回答した者は装具の耐用年数で最も多く72.8％であった。**【結論】**本調査対象の約3割に装具が不適合である可能性が示唆され、装具の耐用年数に関する医療機関での説明や方法を工夫する必要があることが明らかとなった。

【キーワード】脳卒中、装具、患者指導

1. はじめに

昨今の下肢装具を取り巻く現状として、装具フォローアップの不十分さが指摘されている[1-3]。脳卒中後遺症者に対する下肢装具の多くは急性期病院または回復期病院で処方されるが、退院後の在宅生活では、体型の変化などにより装具の不具合が生じることがある[4,5]。しかし、装具作製後は使用上の問題に関する当事者からの訴えがない限り、装具が処方された後のフォローアップを受ける機会がなく[6]、結果的に装具難民[7]と呼ばれるような、装具は処方されているものの機能変化により不適合な状態にある者を生み出してしまう。したがって、脳卒中後遺症者の経過とともに変化する身体状況に合わせて装具も検討されるべきであり[8]、装具を処方するだけでなく、その後のフォローアップ体制も整備されることが重要である。

フォローアップ体制の整備には病期を超えた連携体制（多職種連携・同職種連携）の構築が必要と

1　千葉大学予防医学センター
2　袖ケ浦さつき台病院リハビリテーション部
3　順天堂大学保健医療学部

投稿日：2021年11月11日　　採択決定日：2021年12月21日　　公開日：2022年3月31日

言われている[2,3]。連携体制を構築するためにはまず、理学療法士(PT)自身が装具の知識や技術を適切に有していることが必要である。しかし、2018年に日本支援工学理学療法学会が行ったPTに必要とされる装具の知識・能力に関する実態調査では、半数以上のPTがこれらの知識・能力に対して「大いに持つべき」と回答している一方で、実際に有している知識・能力に対して「大いに持っている」と回答した者は3割未満に留まっていた[9]。これらの背景の1つに、病床の機能分化に伴い、装具処方の多くがなされる急性期・回復期に所属するPTが、退院後の脳卒中患者の生活状況を知る機会が少なく、そのために装具の状態に関する長期的経過を把握する手段や機会がないことが考えられる。連携体制の整備のためには、多職種に向けて装具に関する啓発活動が必要である一方で、PTは入院中に処方された装具が在宅生活でどのように活用され、生活の一部として機能しているかを把握することもさらに重要である。

生活期の装具使用実態の調査研究には、在宅脳卒中者の下肢装具の使用状況について[10]、装具使用状況や装具に関する認識について[1]、日常生活動作(Activities of Daily Living：ADL)における回復期PTと装具使用者の認識の違いについて[11]がある。しかし、装具を適切に使用できているかを聴取している報告のなかで、装具の破損を生じやすいベルクロの摩耗やプラスチックの破損など、装具の詳細な状態を調査している報告は見当たらない。さらに、装具が処方された際、PTや医師、義肢装具士(PO)からどのような指導を受けたかについては明らかにされていない。これらの実態を明らかにすることで、生活期脳卒中患者の長期的な装具使用状況に関する知見を得ることができ、さらに入院中における装具に関する患者教育を行う上での示唆が得られる。したがって本研究の目的は、生活期における装具の管理状況や処方時に受けた指導内容を明らかにすることとした。

2. 対象および方法

2-1 研究デザインと対象

本研究は独自作成した下肢装具に関する質問調査票を用いた調査研究である。対象は1都2県(13市区)在住の要介護認定を受けた生活期脳卒中後遺症者とし、本研究の同意を得た109名に調査票を送付し、回収可能であった92名(回収率84.4%)を解析対象とした。

2-2 方法

調査協力者は1都2県在職の訪問または通所リハビリテーション施設でアンケートの協力を得られる施設を共同研究者で選択した。その後、各施設の代表者に本研究の趣旨を説明し、同意を得た施設に在籍するケアマネジャー(CM)29名と、訪問リハビリテーションまたは通所リハビリテーションに従事するPT9名の計38名の協力を得た。その後、施設代表者に質問調査票を郵送し、施設代表者から協力者(CM、PT)へ調査票を配布した。アンケート調査は、下肢装具を使用または所有している脳卒中後遺症者のうち、CMは担当利用者に、PTは訪問または通所リハビリテーション利用者に対し留置法にて実施した。調査期間は2019年10月から2020年3月とした。

2-3 調査項目（表1）

調査項目は、①下肢装具に関する基本情報(使用または所有している装具の種類、作製場所、使用期間、修理歴、再作製歴)、②ADL場面における下肢装具の使用状況や装具に対する愛着の有無、③装具を作製した医療機関で受けた装具に関する説明や指導内容、④下肢装具の状態(ベルクロの摩耗、部品破損・紛失、装具着用時の足の痛みや発赤の有無)とした。詳細の質問項目と選択肢を表1に示す。その他、装具全般に対する意見や悩みに関する自由記載欄を設けた。

2-4 統計解析

まず、調査項目から得られた回答をもとに対象者の記述統計を行った。次に、下肢装具の修理歴や再作製歴ごとに装具の状態(ベルクロの摩耗、部品破損・紛失、装具着用時の足の痛みや発赤の有無)に該当するか否かをクロス集計にてまとめ、カイ二乗検定を行った。また、装具処方時に医療機関で受けた指導内容が実際の生活場面で活用でき

表 1　質問項目と選択肢

質問項目	選択肢
①下肢装具に関する質問	
「あなたが現在使っている、または持っている装具はどれですか」	金属支柱付き・プラスチック製（足部が動くもの）・プラスチック製（足部が固定されているもの）・オルトップ・その他
「装具はどこで作りましたか」	急性期病院・回復期病院・その他・分からない
「装具を作ってからどのくらいの期間が経ちましたか」	半年以内・1 年以内・1 年半以内・3 年以内・3 年以上
「装具の修理をしてもらったことはありますか」	はい・いいえ
「装具の作り直しをしたことはありますか」	はい・いいえ
② ADL 場面における装具の使用状況に関する質問	
「あなたは普段の生活のなかで下肢装具を使用していますか」	使っている・ときどき使っている・使っていない
「あなたが装具を使用する目的はどれですか（複数回答可）」	足が硬くならないように・歩くため・転ばないため 医者に言われたから・リハビリの人に言われたから・家族に言われたから よく分からない・その他
「あなたが現在使っている装具に愛着はありますか」	はい・いいえ
③装具を作製した医療機関で受けた装具に関する説明や指導内容に関する質問	
「あなたが装具を作製した医療機関で、リハビリスタッフ（理学療法士）から装具に関して説明や指導を受けましたか」	①装具を使用する目的、②装具の装着方法、③装具を装着する際の注意点、④装具の耐用年数、⑤装具が壊れた際の相談場所（各項目に対し、はい・いいえ・覚えていない、の 3 択）
「あなたが医療機関で受けた説明や指導は、今でもご自宅での生活で活かせていますか」	はい・いいえ
④下肢装具の状態に関する質問	
「装具のベルトがはがれやすくなっていますか」	はい・いいえ
「プラスチックが割れている、またはヒビが入っている所はありますか」§	はい・いいえ
「ネジなどの部品はすべてそろっていますか」†	はい・いいえ
「装具を履くと足が痛くなることはありますか」	はい・いいえ
「装具を履いている方の足にキズや赤みはありますか」	はい・いいえ

§：プラスチック製短下肢装具を使用している者のみ回答
†：金属支柱付き短下肢装具を使用している者のみ回答

ているかをまとめた。有意水準は 5% とし、統計ソフトは Stata MP 16.0（Stata 社）を用いた。

2−5　倫理的配慮

本調査は袖ケ浦さつき台病院倫理委員会の承認を得て、ヘルシンキ宣言ならびに個人情報保護に留意して実施した。アンケート配布・回収者ならびに調査対象者には口頭または書面にて本調査の目的、結果の公表について説明を行った。なお、本研究に対する同意は調査票の回答および返送をもってみなすこととした。

3. 結果

3−1　対象者の基本属性（表 2）

調査対象者の基本情報を表 2 に示す。平均年齢は 70.5 ± 10.6 歳であり、介護度は要介護 1・2 が 44.0%、要介護 3・4 が 41.8% を占めていた。介護保険サービス利用割合は、訪問リハ 42.4%、通所リハ 45.7%、通所介護 55.4% であった。身体機能の特徴として、転倒歴の有無はそれぞれ 50.0% ずつであったが、転倒不安ありと回答した者は 77.2% であった。また、外出頻度が週 1 回以上である者は 84.8%、歩行時間が 1 日 30 分以上である者は 41.3% であった。

3−2　下肢装具情報と ADL 場面の使用状況（表 3）

下肢装具に関する基本情報を表 3 に示す。使用または所有している装具は、金属支柱付き短下肢装具（金属支柱付き AFO）が 45.7% と最も多く、次いでシューホーンブレース（SHB）が 22.8%、オルトップ AFO が 15.2%、継手付きプラスチック製短下肢装具（継手付き PAFO）が 10.9%、その他が 5.4% であった。装具を作製した医療機関は回

表 2　対象者基本情報

項目		n	%
年齢	65 歳未満	21	23.1
	65−74 歳	33	36.3
	75 歳以上	37	40.7
性別	男性	50	54.4
	女性	42	45.6
過去 1 年以内の入院歴	あり	18	19.6
	なし	74	80.4
介護度	要支援 1・2	8	8.8
	要介護 1・2	40	44.0
	要介護 3・4	38	41.8
	要介護 5	5	5.5
介護保険サービス	訪問リハ	39	42.4
	通所リハ	42	45.7
	通所介護	51	55.4
居住形態	独居	4	4.3
	同居	85	92.4
	その他	3	3.3
外出頻度	週 1 回以上	78	84.8
	週 1 回未満	14	15.2
歩行時間	30 分以上 / 日	38	41.3
	30 分未満 / 日	54	58.7
転倒歴	あり	46	50.0
	なし	46	50.0
転倒不安感	あり	71	77.2
	なし	21	22.8

各項目に対し該当者数(n)と割合(%)を示している
未回答は表に含めていない

復期病院が 66.3% と最も多かったが、急性期病院で装具を作製した者も 18.5% 存在していた。装具の使用期間に関しては、下肢装具を 3 年以上使用している者が 45.6% であった。一般的な装具の耐用年数を超えていると推測される者の割合を見てみると、金属支柱付き AFO で 3 年以上使用者が 47.5 %、継手付き PAFO・SHB・オルトップ AFO で 1.5 年以上使用者がそれぞれ 50.0 %、45.0%、85.7% 存在していた。ADL 場面での装具使用は 93.4% が「使っている」または「ときどき使っている」に対し、6.6%(6 名)が使っていないと回答した。ADL 場面で装具を「使用していない」と回答した 6 名の使用装具の内訳として、金属支柱付き AFO 4 名、オルトップ AFO 2 名であった。下肢装具の使用目的は歩行が 84.7% で最も多く、2 番目に転倒予防(60.0%)、3 番目に療法士からの提案(40.0%)であった。

3−3　下肢装具の状態（表 4）

下肢装具の管理状況として、装具の部品や適合状況に関する 5 項目を、修理歴や再作製歴の有無ごとに 4 群に分けて分析した(表 4)。その結果、全体では装具装着時の足の痛みが最も多く 29.7% が該当していた。続いてベルクロ摩耗 22.8%、足のキズ・発赤 16.5% となっていた。プラスチックの割れ・ヒビや部品紛失に該当するものは、それぞれ 2.1%、7.0% とわずかであった。修理歴・再作製歴ごとにみると、ベルクロ摩耗の該当・非該当割合に有意差を認めた($p < 0.05$)。とくに修理・再作製歴ともにない群でベルクロ摩耗の該当者割合が 40.7% と最も多かった。プラスチックの割れやヒビ、部品紛失、装具装着の足の痛みやキズ、発赤に関しては、修理・再作製歴との連関関係を認めなかった。

3−4　医療機関で受けた指導内容とその活用状況（表 5、6）

装具を作製した医療機関で受けた指導内容を表 5 に示す。各指導内容に対して「指導を受けた」と回答した者の割合は、それぞれ①装具の使用目的 79.4%、②装着方法 85.9%、③装着時の注意点 67.4%、④耐用年数 26.1%、⑤相談場所 56.5% であった。装具の耐用年数に関して「指導を受けていない」または「覚えていない」と回答した者は 72.8% であった。また、これらの指導内容が日常生活で活かせていると回答した者は 84.7% であった一方で、活かせていないと回答した者が 15.3% 存在した。実際に指導を受けたと回答した者に限定して、その指導内容が生活場面で活用できているか否かを表 6 にまとめた。結果、指導を受けた項目は、その後の生活場面でも活用できていると回答したものが大半であり、最も低い「装着方法」で 90.9%、最も高い「注意点」で 95.1% が指導内容を活用できていた。

3−5　装具に関する意見や要望（表 7）

装具に関する意見や要望を表 7 に示す。92 名中 20 名より回答を得た(回答率 21.7%)。装具が破損している場合、CM や PO、装具外来などの相談先が明確になっている者もいれば、相談先が分

表 3　装具関連情報

項　目		全体 (n = 92)		金属支柱付き AFO (n = 42)		継手付き PAFO (n = 10)		SHB (n = 21)		オルトップ (n = 14)		その他 (n = 5)	
		n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
作製元	急性期病院	17	18.5	9	22.5	2	20.0	3	15.0	3	21.4	0	0.0
	回復期病院	61	66.3	28	70.0	6	60.0	14	70.0	8	57.1	4	80.0
	その他	14	15.2	3	7.5	2	20.0	3	15.0	3	21.4	1	20.0
使用期間	0.5 年未満	7	7.8	2	5.0	1	10.0	3	15.0	0	0.0	1	20.0
	1 年未満	11	12.2	5	12.5	2	20.0	5	25.0	1	7.14	0	0.0
	1.5 年未満	13	14.4	6	15.0	2	20.0	3	15.0	1	7.14	0	0.0
	3 年未満	18	20.0	8	20.0	4	40.0	4	20.0	3	21.4	0	0.0
	3 年以上	41	45.6	19	47.5	1	10.0	5	25.0	9	64.3	4	80.0
修理歴	あり	50	57.5	26	66.7	4	44.4	11	55.0	7	50.0	2	40.0
	なし	37	42.5	13	33.3	5	55.6	9	45.0	7	50.0	3	60.0
再作製歴	あり	41	45.6	17	42.5	5	50.0	10	47.6	5	35.7	4	80.0
	なし	49	54.4	23	57.5	5	50.0	11	52.4	9	64.3	1	20.0
ADL 上の使用	使っている	72	79.1	31	77.5	9	90.0	15	75.0	10	71.4	5	100.0
	ときどき使っている	13	14.3	5	12.5	1	10.0	5	25.0	2	14.3	0	0.0
	使っていない	6	6.6	4	10.0	0	0.0	0	0.0	2	14.3	0	0.0
使用目的*	拘縮予防	19	22.4	13	−	1	−	3	−	2	−	0	−
	歩行	72	84.7	33	−	10	−	15	−	12	−	4	−
	転倒予防	51	60.0	26	−	6	−	11	−	9	−	2	−
	医師からの提案	18	21.2	13	−	0	−	4	−	0	−	1	−
	療法士からの提案	34	40.0	17	−	3	−	12	−	4	−	0	−
	家族からの提案	6	7.1	2	−	0	−	4	−	0	−	0	−
	よく分からない	2	2.4	1	−	0	−	1	−	0	−	0	−
	その他	7	8.2	2	−	1	−	1	−	0	−	2	−
装具への愛着	あり	71	79.8	31	77.5	9	90.0	15	75.0	11	78.6	5	100.0
	なし	18	20.2	9	22.5	1	10.0	5	25.0	3	21.4	0	0.0

各項目に対し該当者数(n)と割合(%)を示している
未回答データは表に含めていない
＊：下肢装具を ADL 上「使っている」または「ときどき使っている」と回答した者のみを対象とした(複数回答可のため、該当者数のみ示した)
PAFO：プラスチック製短下肢装具、SHB：シューホーンブレース

からず悩んでいる者も散見された。また、破損による再作製や修理対応の際、装具作製業者との対応に時間がかかるとの意見もあった。その他、外観に関する意見や、使用用途に応じて複数所有したい、いつまで装具をつける必要があるかなどの意見を得た。

4. 考察

本研究の主な所見は、①一般的な装具の耐用年数を超えて使用している者が 45.6%−85.7% 存在していること、②装具装着時の足の痛みやベルクロの摩耗など、装具が不適合である可能性のある者が 16.5%−29.7% 存在すること、③医療機関で受けた指導内容 5 項目のうち、「指導を受けていない」または「覚えていない」と回答した者が最も多かったのは「装具の耐用年数について」であったことである。これらの所見から言えることは、入院中に装具の耐用年数に関する説明を十分に受けていないことが、その後の生活期で耐用年数を超えて使用し、装具が不適合であるまま使用し続けている状況を生み出している可能性があることである。

装具は作製時の採型・採寸を行い、仮合わせ、受取と一連の流れを経て使用者のもとに届くが、退院後の身体機能の変化(身体活動量の低下、浮腫の増大など)が生じれば、装具が徐々に不適合になることが推測される [4,5]。使用者自身が装具の管理を行うことが困難であっても、家族や CM による

表 4　修理・再作製歴ごとの装具チェックポイント該当割合

項　目		修理＋再作製歴なし (n = 27)		修理歴のみあり (n = 22)		再作製歴のみあり (n = 12)		修理＋再作製歴あり (n = 27)		p-value*
		n	%	n	%	n	%	n	%	
ベルクロ摩耗	該当あり	11	40.7	2	9.1	2	16.7	5	18.5	0.049
	該当なし	16	59.3	20	90.9	10	83.3	22	81.5	
プラスチックの割れ・ヒビ§	該当あり	1	6.3	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.577
	該当なし	15	93.8	9	100.0	7	100.0	15	100.0	
部品紛失†	該当あり	1	9.1	0	0.0	1	20.0	0	0.0	0.244
	該当なし	10	90.9	13	100.0	4	80.0	12	100.0	
装具装着時の足の痛み	該当あり	7	26.9	8	36.4	2	16.7	8	29.6	0.675
	該当なし	19	73.1	14	63.6	10	83.3	19	70.4	
足のキズ・発赤	該当あり	3	11.5	4	18.2	1	8.3	6	22.2	0.624
	該当なし	23	88.5	18	81.8	11	91.7	21	77.8	

各項目に対し該当者数(n)と割合(%)を示している
§：プラスチック製下肢装具のみ　†：金属製短下肢装具のみ　＊：カイ二乗検定
未回答データは表に含めていない

表 5　医療機関で受けた指導内容

項　目	回　答	n	%
使用目的	受けた	73	79.4
	受けていない	7	7.6
	覚えていない	12	13.0
装着方法	受けた	79	85.9
	受けていない	9	9.8
	覚えていない	4	4.4
注意点	受けた	62	67.4
	受けていない	16	17.4
	覚えていない	13	14.1
耐用年数	受けた	24	26.1
	受けていない	37	40.2
	覚えていない	30	32.6
相談場所	受けた	52	56.5
	受けていない	24	26.1
	覚えていない	13	14.1

各項目に対し該当者数(n)と割合(%)を示している
未回答は表に含めていない

表 6　指導を受けた項目別にみた指導内容の活用状況

指導項目	活用できている		活用できていない	
	n	%	n	%
使用目的	66	91.7	6	8.3
装着方法	70	90.9	7	9.1
注意点	58	95.1	3	4.9
耐用年数	21	91.3	2	8.7
相談場所	48	94.1	3	5.9

フォローや、訪問リハビリテーションや通所リハビリテーションを利用していれば、PT のチェックも受けることが可能である。しかし原[12]は、急性期から亜急性期、維持期にかけた下肢装具に関するフォローアップの問題点を指摘している。装具のフォローアップ体制を強固なものにしていくためには、生活期に従事する CM や PT の介入が必須となる。

装具の耐用年数を超えて使用している要因に、装具に関する相談場所が不明であることも考えられる。CM を対象としたアンケート調査において、「問い合わせ先が不明」であると回答した者が多数存在することが明らかとなっている[3]。耐用年数に関する認知度は、装具使用者の 88% が耐用年数について「知らない」と回答しており[1]、CM は認知度 0% であったとの報告もある[13]。装具が不適合な状態になって気づくのではなく、装具を定期的にチェックできるよう多職種連携を行うことは重要である。そのためには装具使用者のみでなく、CM や PT も耐用年数に関する認識を持つことが必要である。

フォローアップ体制の構築を考えるうえで、装具を作製した急性期病院や回復期病院などの医療機関が担う役割も重要である。医療機関においては装具を治療用装具として用いることが多いが、下肢装具の長期使用の可能性を踏まえた説明や指導を行うことが必要である。また本研究の対象者のように、下肢装具使用者の大半が高齢者であり、入院中に受けた説明や指導を十分記憶できるかは疑問が残る。本結果においても、入院中に受けた

表 7　装具に関するコメント

〈要望に関するコメント〉
・装具をつけたときに合うオシャレな靴がない！【60 代女性、オルトップ AFO 使用】
・装具の用途に応じて複数持ちたい（大きいものと小さいもの）。【70 代男性、SHB 使用】
・もっと短い物の方がつかってみたい。【70 代女性、SHB 使用】
・ベルトがへたりやすい。業者にすぐみてもらえたら良いと思う。以前頼んだら日にちがかかった。【80 代男性、継手付き PAFO 使用】
・新しく開発され、より歩きやすいものがあれば情報をほしい。業者によって教えてくれる情報が違うが、外出のときなどに見え方（目立たせたくない）が気になるので、色などのバリエーションをしっかり提示してほしい。色などによって履くこと、歩くことを楽しくも感じられるので。【70 代女性、継手付き PAFO 使用】
・金具や支柱付きの装具を使用しているため、見た目に少し違和感を覚える。
・機能はそのままに、もう少しファッショナブルで有機的なデザインであればより良いと思う。【80 代女性、金属支柱付き AFO 使用】
・前回は在宅に訪問してもらい、装具を作成してもらったが、最近、訪問してもらえないようになってきている（会社の都合か制度上か分からないが）。そろそろ装具を作り直したいが、そのような状況なので、二の足を踏んでいる。作り直したい、もしくは修理したいときに訪問してすぐに対応してくれる、そのような体制を希望する。【70 代女性、金属支柱付き AFO 使用】
・装具をつけないようにしたい。じゃま。普通に歩きたい。【60 代男性、金属支柱付き AFO 使用】
〈疑問点に関するコメント〉
・ベルトの直しをどこでしていいのか分からない。オルトップのままでいいのか（身体機能的に）最適なものが知りたい。 装具診断ができる病院はあるのか知りたい。【40 代女性、オルトップ AFO 使用】
・足のために装具はつけた方がいいのですか？はずした方がいいですか？【70 代女性、オルトップ AFO 使用】
・こわれた場合どうしよう。【70 代女性、SHB 使用】
・いつまで装具をつける必要があるのか【70 代女性、金属支柱付き AFO 使用】
・今後の調整の相談をどこにしたらいいのか？【60 代女性、金属支柱付き AFO 使用】
〈その他感想などのコメント〉
・履いていてむくみが出ることはある。【70 代女性、SHB 使用】
・ラバー、特に足指あたりがはがれやすい。このために比較的頻回に修理が必要。【70 代男性、金属支柱付き AFO 使用】
・オルトップを使って、10 年になります。マジックテープがこわれて直しながら使っています。 今度、新しいものに替えようと思いましたので、ケアマネに相談します。【70 代男性、オルトップ AFO 使用】
・マジックテープが弱くなっていることと、ベルトの長さを長くしてもらいたいので、また装具外来に連絡しようと思う。【60 代女性、金属支柱付き AFO 使用】
・今後、メンテナンスを○○病院でお願いしたい。【60 代男性、金属支柱付き AFO 使用】
・満足している。【60 代女性、金属支柱付き AFO 使用】
・プラスチック装具にしたかったですが、体の状態からダメなようでした。【50 代女性、金属支柱付き AFO 使用】

固有名詞は伏せて表記してある

指導内容について「指導を受けていない」または「覚えていない」と回答した者が 14.2％（装着方法）−72.8％（耐用年数）存在している。とくに耐用年数を知らないまま装具を使用していると、破損や修理に関する相談のタイミングも分からず、結果的に不適合のまま使用し、あるいは自己流で修理して対応するなどの危険な状態を招く可能性があり、注意が必要である。口頭での説明や指導のみではなく、書面などの媒体を用いた説明や指導を行うなどの工夫が必要であることが示唆された。現在まで、各地で装具ノート[9,14]やチラシ[15]による案内を実施している医療機関が増えつつある。

本研究は生活期の装具使用者を対象とした調査において、下肢装具の管理状況や指導内容などを検証できた。しかし本研究にもいくつかの限界点がある。1 つ目は調査フィールドが 1 都 2 県（13 市区）と限定的であることや、金属支柱付き AFO 使用者が全体の約半数存在していたことにより、完全にサンプリングバイアスを除去することが困難であったことである。2 つ目は調査対象者によっては 3 年以上の長期間装具を使用している者も含まれており、装具処方時の指導内容に関する質問はリコールバイアスを除去しきれていないことである。3 つ目は装具の使用目的に関する設問の選択肢に、使用する理由（医者/リハビリの人/家族に言われたから）と使用する目的（足が硬くならないように/歩くため/転ばないため）が混在しており、回答者の意図を十分反映しきれていない可能性があることである。転ばないで歩くことは

装具の1つの目的であるが、転倒または歩くことの重きがあるかを判断するため選択肢を「転倒予防」と「歩行」と分けた。しかしその両方の重みづけを回答者が十分理解して選択できたかどうかは不明な点がある。

5. 結論

生活期における装具の管理状況や処方時に受けた指導内容を明らかにすることを目的に、生活期脳卒中後遺症者にアンケート調査を行った。装具が不適合である者が約3割存在する一方で、入院期間中の装具に関する説明の内容や方法が不十分である可能性があることが明らかとなった。今後は、全国横断的なサンプリングによる大規模調査が必要であり、装具の処方、装具を用いた運動療法、装具のフォローアップに関する標準化に向けて取り組む必要がある。

6. 利益相反

本研究に際し、開示すべきCOIはない。

謝辞:本研究は、日本理学療法士協会2019年度理学療法にかかわる研究助成(19-B03)の助成を受けて実施しました。記して感謝いたします。

文献

1) 大西忠輔, 中山昇平, 勝谷将史、他：維持期における下肢装具に関する職種間連携の重要性. POアカデミージャーナル, 24：30-35, 2016.
2) 大垣昌之, 横川雄樹, 佐川明, 他：在宅装具利用者への取り組み―理学療法士の視点・装具ノートの活用―. POアカデミージャーナル, 25：314-320, 2016.
3) 阿部紀之, 細矢貴宏, 松田雅弘：生活期における下肢装具への相談内容や地域連携の実態―ケアマネジャーを対象とした横断研究―. 理学療法科学, 33：941-945, 2018.
4) 吉尾雅春：理学療法と下肢装具. 理学療法ジャーナル, 51：281-289, 2017.
5) 青木主税, 飯田修平：脳卒中片麻痺に対する装具療法と今後の展望. 日本義肢装具学会誌, 35：92-97, 2019.
6) 中筋祐輔, 河原茂：生活期における下肢装具. 地域リハビリテーション, 11：321-327, 2016.
7) 勝谷将史：装具療法概論. 阿部浩明, 大畑光司(編), 脳卒中片麻痺に対する歩行リハビリテーション：42-48, メジカルビュー社, 東京, 2016.
8) 大垣昌之：装具療法の連携(回復期から生活期へ). 阿部浩明, 大畑光司(編), 脳卒中片麻痺に対する歩行リハビリテーション：172-183, メジカルビュー社, 東京, 2016.
9) 日本理学療法士学会, 日本支援工学理学療法学会：福祉用具・義肢・装具支援に関する啓発と実態調査～装具編～. 日本支援工学理学療法学会：8-103, 2018.
10) 原洋史：自宅内歩行における下肢装具使用状況の影響要因―慢性期脳卒中者を対象とした検討―. 理学療法研究・長野, 35：24-26, 2006.
11) 尼子雅美, 隆島研吾, 高木峰子, 他：日常生活動作における在宅脳卒中者の短下肢装具の役割の検討―装具使用者と理学療法士の認識の違いに着目した比較. 日本義肢装具学会誌, 35：128-135, 2019.
12) 原寛美：脳卒中リハビリテーションにおける下肢装具の展開―臨床的知見から―. Jpn J Rehabil Med, 47：347-368, 2010.
13) 田中幸平, 石野泰央, 清水香澄：多職種による下肢装具療法地域連携を進めていくための実態調査　理学療法士とケアマネジャーに対する質問紙調査. 静岡理学療法ジャーナル, 37：33-37, 2018.
14) 中村学, 遠藤聡, 佐藤恵, 他：装具外来における生活期脳卒中患者の装具療法と運動療法. Jpn J Rehabil Med, 56: 272-276, 2019.
15) 細矢貴宏, 阿部紀之：地域における装具への理学療法士のかかわりの重要性. 理学療法ジャーナル, 53：1181-1188, 2019.

Abstract :

The purpose of this study was to clarify the content of guidance received during hospitalization and the status of orthotic device management during daily life. We surveyed 92 post-stroke survivors who were certified as needing nursing care about the guidance they received at the medical institution where their orthoses were made and the status of their lower limb orthoses. The most common condition of the lower limb orthoses was foot pain when wearing the orthoses (29.7%), followed by Velcro wear (22.8%), and scratches and redness of the feet (16.5%). The highest percentage of respondents (72.8%) answered that they "did not receive any instruction" or "do not remember" about the instruction they received at medical institutions during the service life of orthotics. About 30% of the subjects in this study may have ill-fitting orthoses, indicating the need to devise methods and explanations at medical institutions regarding the service life of orthoses.

Key words : Stroke, Orthosis, Patient management

Journal of Assistive Technology in Physical Therapy　p.64~72

◎総論

歩行運動方程式の導出過程−Simplest walking model−

Derivation process of the equation of walking; Simplest walking model

倉山太一[1]，小宮全[2]

要　旨

本稿はGarcia等が提唱した歩行についての数理モデル「Simplest walking model」の解説である。主な読者として、物理や数学に興味のある理学療法士・作業療法士を想定した。また普段数学になじみのない方でも、その導出の概略を理解できるように、式変換などについて逐次説明するよう心掛けた。解説中に出てくる数学的用語や解法を元に、適宜、専門書などを参照頂ければ、最短経路で歩行の数理を理解できる内容となっているので、意欲のある方は、ぜひ紙とペンを使って式の導出を追って頂きたい。もし、大学の物理に興味のある高校生や、教員がお読み下さったならば、本稿を解析力学の簡単な例題としてお使い頂ければ幸いである。

【キーワード】 受動歩行、逆振り子、解析力学、オイラー・ラグランジュ方程式

1.　はじめに

歩行運動の定式化は1980年のMochonとMcMahonの論文[1)]が最初と言われており、その後1990年にMITのMcGeerが現在知られている歩行モデルの基礎を確立した[2)]。本稿では歩行運動方程式のなかで最も単純化されたモデルである「Simplest walking model」(Garcia等、1998年)[3)]について、その方程式導出過程の解説を行う。

なお、この解説では式の導出過程のみを扱い、歩行の数理学的研究の概要や、その歴史については触れないので、これらに興味のある方は、池俣・佐野の総説[4)]をまずはお読みになることをお勧めする。また、本稿を読まれた後に、この分野をより深く学びたいと感じられた場合は、日本語で書かれた最も詳しい解説として、池俣の論文[5)]をお勧めする。さらに解析力学と非線形モデルについての一般向け書籍としては、書籍[6-8)]を推薦しておく。

2.　方程式導出過程の概要

Garcia等の提唱したsimplest walking modelは、「二重振り子」の運動方程式であり、解析力学[6-7)]の手法を用いて解くのが一般的である。本稿ではその導出過程を以下の4つに分けて解説する。

1) 歩行ロボットの座標を設定し、拘束条件式を記述する
2) 歩行ロボットの全運動エネルギーと全ポテンシャルエネルギーからラグランジアンを求める
3) 求めたラグランジアンをオイラー・ラグラン

1　植草学園大学保健医療学部博士（医学）
2　東京交通短期大学運輸科博士（理学）
投稿日：2021年12月23日　　採択決定日：2021年12月25日　　公開日：2022年3月31日

ジュ方程式へ代入し、運動方程式を導出する

4) 方程式の無次元化を行い、simplest walking model を導出する

以上の手順で順次解説を進める。

3. 方程式導出過程の詳細

手順 1：歩行ロボットの座標を設定し、拘束条件式を記述する

拘束条件式を立式するにはまず、座標の“原点”をどこに取るか、また“座標系”として何を採用するかを決める必要がある。今回の場合、歩行ロボットの着地足が二重振り子の支点であり、不動であるから、ここを座標の原点とするのが良さそうである（**図 2** B）。次に座標系については、一般的には x 軸と y 軸が直角に交わった直行座標系（**図 1** 左）を思い浮かべる方が多いと思うが、今回の振り子のような、回転運動を伴う力学系では、極座標系を採用すると導出過程が簡単になることが知られている。よって座標系には、各質点の位置を長さと角度で表現する極座標系を採用する（図 1 右および式（1））。

$$x_{(r,\theta)} = r\cos\theta, y_{(r,\theta)} = r\sin\theta \qquad (1)$$

Garcia 等[3]のモデルは図 2A のように定義されており、長さが l の二つの振り子を連結した「二足歩行ロボット」を再現している。連結点を股関節に見立て、上体の体重を質点 M として置き、また両方の振り子の先端を足先として質点 m を置いている（単純化のため棒に重さは無い）。また股関節から歩行路面に下ろした垂線と立脚足の角度を θ、立脚足と遊脚足の間の角度を φ、歩行路面の傾きを γ、重力加速度を g としている。ロボットが歩く際の条件として、遊脚側の下肢は立脚足および路面と衝突することなく前方に振り出され、着地時の衝撃によるエネルギー損失がない、という設定である。

まず股関節の質点 M および足先の質点 m（着地側の足先は支点なので無視して遊脚側のみを考えれば良い）の座標を直交座標系にてそれぞれ (x_M, y_M)、(x_m, y_m) とする。同様に、質点 M および質点 m の速度をそれぞれ (v_{x_M}, v_{y_M})、(v_{x_m}, v_{y_m}) と定義しておく。二つの質点 M、m の動きは、ともに長さ l の振り子で拘束されているから、以下の条件が成り立つ。

原点Oから質点Mまでの距離 $-l=0$

質点Mから質点mまでの距離 $-l=0$

したがって、一方の足部が離地したところから、再び着地するまでの質点 m、M の拘束条件式は、式（1）より、振り子の拘束点（着地足）を原点とした極座標系で、以下の通り定義できる。

$$x_M = -l\sin\theta_{(t)} \qquad (2)$$

$$y_M = l\cos\theta_{(t)} \qquad (3)$$

$$x_m = -l\sin\theta_{(t)} - l\sin(\varphi_{(t)} - \theta_{(t)}) \qquad (4)$$

$$y_m = l\cos\theta_{(t)} - l\cos(\varphi_{(t)} - \theta_{(t)}) \qquad (5)$$

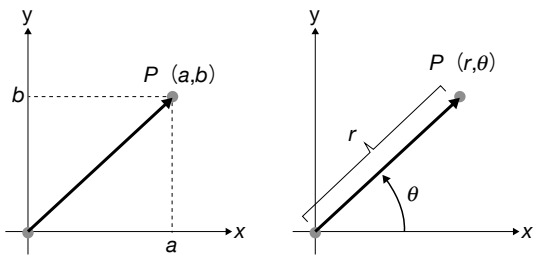


図 1　直交座標系（左）と極座標系（右）

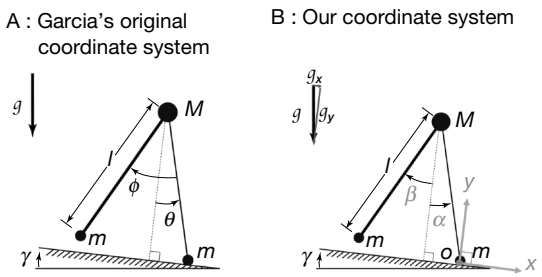


図 2　図 2A は Garcia[1] 等のオリジナル。図 2B は Garcia のモデルにて着地足を原点（O）として座標系を表記し、立脚角度を $\alpha_{(t)} = \theta_{(t)}$、股角度を $\beta_{(t)} = \varphi_{(t)} - \theta_{(t)}$ として改変したもの。また、g_x、g_y は重力加速度を示す。

（文献 3）より転載：©The American Society of Mechanical Engineers）

ここで、$\theta_{(t)}$ や $\varphi_{(t)}$ に付いている添え字(t)は、それが付された変数が時間 t の関数という意味である。なお、この後の計算を簡単にするために、図 2B のように $\theta_{(t)} = \alpha_{(t)}$、$\varphi_{(t)} - \theta_{(t)} = \beta_{(t)}$ と一旦、以下の通り変数変換しておく。

$$x_M = -l\sin\alpha_{(t)} \tag{6}$$

$$y_M = l\cos\alpha_{(t)} \tag{7}$$

$$x_m = -l\sin\alpha_{(t)} - l\sin\beta_{(t)} \tag{8}$$

$$y_m = l\cos\alpha_{(t)} - l\cos\beta_{(t)} \tag{9}$$

（※これ以降、式を見やすくするため、添え字$_{(t)}$を省略する。）

手順 2：歩行ロボットの全運動エネルギーと全ポテンシャルエネルギーからラグランジアンを求める

今回のモデルでは、解法が既に分かっているものとして、天下り的にラグランジアン(L)を $L = T - U$（T：運動エネルギー、U：ポテンシャルエネルギー）と定義し、オイラー・ラグランジュ方程式を利用するための準備としてこれを求める。ラグランジアンを求めるためには、系の全運動エネルギーと全ポテンシャルエネルギーが必要なため、続いてその計算を実施する。

3.1　運動エネルギーの計算

座標の x 軸をあらかじめ路面方向と合わせたため（図 2B）、歩行ロボットの進行方向と水平方向を x 軸、垂直な方向を y 軸として運動エネルギーを計算できる。すなわち運動エネルギーの式には路面の傾き γ、重力定数 g が現れない点で楽である。運動エネルギーは「1/2 ×質量×速度の二乗」で定義されるので、ロボットの各質点の速度がわかれば運動エネルギーが求まる。速度は座標の時間微分であるから、まずは股関節部の質点 M の速度 v_{x_M}、v_{y_M} については、式(6)および式(7)を時間 t で一階微分すれば良く、

$$v_{x_M} = \dot{x}_M = \frac{d}{dt}(-l\sin\alpha) = -\dot{\alpha}l\cos\alpha \tag{10}$$

$$v_{y_M} = \dot{y}_M = \frac{d}{dt}(l\cos\alpha) = -\dot{\alpha}l\sin\alpha \tag{11}$$

である。なお、各変数の上にドット$(\dot{})$が一つあるのは時間 t による一階微分を意味し、その変数を「一度だけ時間 t で微分すること」である。またドットが二つ$(\ddot{})$あるのは二階微分を意味し、その変数を「2 回連続で時間 t で微分すること」を意味する（「階」はミスプリではなく、このように書く）。さらに、

$$\frac{d}{dt}(\ ),\ \frac{d^2}{dt^2}(\ ) \tag{12}$$

という表記は、（　）のなかの全ての変数を、時間 t で微分することを意味し、その乗数は微分の階数と同じ意味である（$\dot{}$、$\ddot{}$ と同じ）。

続けて、質点 M の速度は v_{x_M} と v_{y_M} を合成することで求まるから、

$$\begin{aligned} v_M &= \sqrt{v^2{}_{x_M} + v^2{}_{y_M}} = \sqrt{(-\dot{\alpha}l\cos\alpha)^2 + (-\dot{\alpha}l\sin\alpha)^2} \\ &= \sqrt{\dot{\alpha}^2 l^2\left(\cos^2\alpha + \sin^2\alpha\right)} = \dot{\alpha}l \end{aligned} \tag{13}$$

（※三角関数の公式「$\sin^2 A + \cos^2 A = 1$」を利用している。）

である。続いて足先の質点 m の速度 v_{x_m}、v_{y_m} については式(8)、(9)を微分して、

$$\begin{aligned} v_{x_m} &= \dot{x}_m = \frac{d}{dt}(-l\sin\alpha - l\sin\beta) \\ &= -\dot{\alpha}l\cos\alpha - \dot{\beta}l\cos\beta \end{aligned} \tag{14}$$

$$\begin{aligned} v_{y_m} &= \dot{y}_m = \frac{d}{dt}(l\cos\alpha - l\cos\beta) \\ &= -\dot{\alpha}l\sin\alpha + \dot{\beta}l\sin\beta \end{aligned} \tag{15}$$

これらを合成して、質点 m の速度 v_m は

$$
\begin{aligned}
v_m &= \sqrt{{v_{x_m}}^2 + {v_{y_m}}^2} \\
&= \sqrt{\left(-\dot{\alpha} l \cos\alpha - \dot{\beta} l \cos\beta\right)^2 + \left(-\dot{\alpha} l \sin\alpha + \dot{\beta} l \sin\beta\right)^2} \\
&= \{\dot{\alpha}^2 l^2 \left(\sin^2\alpha + \cos^2\alpha\right) + \dot{\beta}^2 l^2 \left(\sin^2\beta + \cos^2\beta\right) \\
&\quad + 2\dot{\alpha}\dot{\beta} l^2 (\cos\alpha\cos\beta - \sin\alpha\sin\beta)\}^{\frac{1}{2}}
\end{aligned}
\tag{16}
$$

（※$\{\ \ \}^{\frac{1}{2}}$は$\sqrt{\{\ \}}$と同じ意味。改行のために利用。）

である。さて、式(16)がまとまらないように見えるが、大変便利なことに、高校数学で習う三角関数の公式、

$$
\cos A \cos B \mp \sin \mathrm{A} \sin B = \cos(A \pm B) \tag{17}
$$

が使えることに気が付けば、式(16)は、

$$
v_m = \sqrt{\dot{\alpha}^2 l^2 + \dot{\beta}^2 l^2 + 2\dot{\alpha}\dot{\beta} l^2 \cos(\alpha + \beta)} \tag{18}
$$

と大変簡単に書けてしまう。これが極座標の効用である。最後に、角度の変数を、オリジナルの定義($\alpha = \theta$、$\beta = \varphi - \theta$)に戻すと、股関節部の速度は

$$
v_M = \dot{\theta} l \tag{19}
$$

であり、足部の速度は

$$
\begin{aligned}
&v_m \\
&= \sqrt{\dot{\theta}^2 l^2 + \left(\dot{\varphi}^2 + \dot{\theta}^2 - 2\dot{\varphi}\dot{\theta}\right) l^2 + 2\dot{\theta}\left(\dot{\varphi} - \dot{\theta}\right) l^2 \cos(\theta + \varphi - \theta)} \\
&= \sqrt{2\dot{\theta}^2 l^2 + \dot{\varphi}^2 l^2 - 2\dot{\varphi}\dot{\theta} l^2 + 2\dot{\theta}\dot{\varphi} l^2 \cos\varphi - 2\dot{\theta}^2 l^2 \cos\varphi}
\end{aligned}
\tag{20}
$$

である。さて、速度が求まったので、次に質点Mおよび質点mの運動エネルギーをそれぞれT_M、T_mとし、「運動エネルギー＝1/2×質量×速度の二乗」にあてはめて計算すると、それぞれ、

$$
T_M = \frac{1}{2} M v_M^2 = \frac{1}{2} M l^2 \dot{\theta}^2 \tag{21}
$$

$$
\begin{aligned}
T_m &= \frac{1}{2} m v_m^2 \\
&= \frac{1}{2} m \left(\sqrt{2\dot{\theta}^2 l^2 + \dot{\varphi}^2 l^2 - 2\dot{\varphi}\dot{\theta} l^2 + 2\dot{\theta}\dot{\varphi} l^2 \cos\varphi - 2\dot{\theta}^2 l^2 \cos\varphi}\right)^2 \\
&= \frac{1}{2} m l^2 \left\{2\dot{\theta}^2 (1 - \cos\varphi) + \dot{\varphi}^2 - 2\dot{\theta}\dot{\varphi}(1 - \cos\varphi)\right\}
\end{aligned}
\tag{22}
$$

となる。求めたいのは系の全運動エネルギーであるから、T_MとT_mを合計し、

$$
\begin{aligned}
T &= T_M + T_m \\
&= \frac{1}{2}\left[M l^2 \dot{\theta}^2 + m l^2 \left\{2\dot{\theta}^2 (1 - \cos\varphi) + \dot{\varphi}^2 - 2\dot{\theta}\dot{\varphi}(1 - \cos\varphi)\right\}\right]
\end{aligned}
\tag{23}
$$

となる。

3.2　ポテンシャルエネルギーの計算

次に、系の全ポテンシャルエネルギー(U)を導出する。ここで扱うポテンシャルエネルギーは、高校物理で学習する「位置エネルギー」と同じもので、「$U = mgh$(質量m×重力定数g×高さh)」で定義される。今回、重力方向に対して歩行路面が傾いているため、重力による影響は路面に垂直な方向(g_y)だけでなく、水平方向(g_x)でも考える必要がある。すなわち、図2Bにおいて、質点M、mにおけるx、y方向のポテンシャルエネルギーをU_{M_x}、U_{M_y}、U_{m_x}、U_{m_y}とすると、それぞれ

$$
\begin{aligned}
U_{M_x} &= M g_x h_x = M \cdot g \ \sin\gamma \cdot l \sin\alpha \\
&= M g l \ \sin\alpha \sin\gamma
\end{aligned}
\tag{24}
$$

$$
\begin{aligned}
U_{M_y} &= M g_y h_y = M \cdot g \ \cos\gamma \cdot l \cos\alpha \\
&= M g \ l \cos\alpha \cos\gamma
\end{aligned}
\tag{25}
$$

$$
\begin{aligned}
U_{m_x} &= m g_x h_x = m \cdot g \sin\gamma \cdot \left\{l \sin\alpha + l \sin\beta\right\} \\
&= m g l \left\{\sin\alpha \ \sin\gamma + \sin\beta \sin\gamma\right\}
\end{aligned}
\tag{26}
$$

$$U_{m_y}=mg_yh_y=m\cdot g\cos\gamma\cdot\{l\cos\alpha-l\cos\beta\}$$
$$=mgl\{\cos\alpha\cos\gamma-\cos\beta\cos\gamma\} \quad (27)$$

となる。全体のポテンシャルエネルギーは、α、βをオリジナルの座標表記であるθ、φに戻してからこれらを足し合わせれば、

$$\begin{aligned}U&=Mgl(\sin\theta\sin\gamma+\cos\theta\cos\gamma)\\&\quad+mgl\{\sin\theta\sin\gamma+\sin(\varphi-\theta)\sin\gamma\\&\quad+\cos\theta\cos\gamma-\cos(\varphi-\theta)\cos\gamma\}\\&=Mgl\cos(\theta-\gamma)\\&\quad+mgl\{\cos(\theta-\gamma)-\cos(\varphi-\theta+\gamma)\}\end{aligned} \quad (28)$$

となる。なお、ここでは式(17)を利用して式をまとめている。また、末尾の項は、$\cos A=\cos(-A)$の性質を使って、これ以降、$-\cos(\theta-\gamma-\varphi)$とする(この変換は、最終的な方程式導出過程で効いてくる)。

さて、①と②で、系の全運動エネルギーと、ポテンシャルエネルギーがもとまったので、ラグランジアンは

$$\begin{aligned}L=T-U=\tfrac{1}{2}\Big[Ml^2\dot\theta^2+ml^2\big\{2\dot\theta^2(1-\cos\varphi)\\+\dot\varphi^2-2\dot\theta\dot\varphi(1-\cos\varphi)\big\}\Big]-\big[Mgl\\\cos(\theta-\gamma)+mgl\{\cos(\theta-\gamma)-\cos(\theta-\gamma-\varphi)\}\big]\end{aligned} \quad (29)$$

となった。

手順3)：求めたラグランジアンをオイラー・ラグランジュ方程式へ代入し、運動方程式を導出する

さて、この系のラグランジアンが定義できたので、いよいよオイラー・ラグランジュ方程式を適用して、運動方程式を導く。今回のモデルにおけるオイラー・ラグランジュ方程式は、変数が二つなので

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial\dot\theta}\right)-\frac{\partial L}{\partial\theta}=0 \quad (30)$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial\dot\varphi}\right)-\frac{\partial L}{\partial\varphi}=0 \quad (31)$$

と表される。なお式(30)、(31)について、例えば$\partial L/\partial\dot\theta$、$\partial L/\partial\theta$といった項は、$L$を角速度$\dot\theta$および角度$\theta$で微分するという意味である。今まで出てきた微分は全て時間tによるものなので、注意されたい。ところで、なぜラグランジアンなどというものを考えないといけないのか？なぜ時間ではなく「速度」である$\dot\theta$や$\dot\varphi$で微分するのだろうか？といったことについては、参考図書[6-7]をご参照頂きたい。ごく簡単に説明しておくと、高校までの力学では運動方程式を$F=ma$のように、外力と運動という、現象として直感的に理解しやすい方法で導出するが、大学ではより複雑な力学の問題を扱う必要があるため、運動量や、エネルギーから運動方程式を導く方法を採用することがあり、それらは実際に量子力学などの高度な物理学で必要となる、という理解で次へ進んで頂きたい。

それでは、手順2で導出したラグランジアンをオイラー・ラグランジュ方程式へ代入して、方程式を導出する過程について記述する。計算過程を見やすくするため、最初に式(30)の左辺第一項の$\dot\theta$によるLの微分

$$\frac{\partial L}{\partial\dot\theta} \quad (32)$$

この部分だけを計算する。この項にラグランジアンLを代入すると以下の通りとなる。

$$\begin{aligned}\frac{\partial L}{\partial\dot\theta}=\frac{\partial}{\partial\dot\theta}\Big\langle\frac{1}{2}\Big[Ml^2\dot\theta^2+ml^2\big\{2\dot\theta^2(1-\cos\varphi)+\dot\varphi^2-\\2\dot\theta\dot\varphi(1-\cos\varphi)\big\}\Big]-[Mgl\cos(\theta-\gamma)+mgl\\\{\cos(\theta-\gamma)-\cos(\theta-\gamma-\varphi)\}]\Big\rangle\end{aligned} \quad (33)$$

今は、式全体を「$\dot\theta$」で偏微分するので、「$\dot\theta$」の含まれる項以外は全て定数扱いとなり、微分すると「0」になるので、最初からそれらの項を消去して、

計算を進めると

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} = \frac{\partial}{\partial \dot{\theta}}\left\langle \frac{1}{2}\left[Ml^2\dot{\theta}^2 + ml^2\left\{2\dot{\theta}^2(1-\cos\varphi) \cancel{+\dot{\varphi}^2} -2\dot{\theta}\dot{\varphi}(1-\cos\varphi)\right\}\right] \cancel{=[Mgl\cos(\theta-\gamma)+mgl\{\cos(\theta-\gamma)-\cos(\theta-\gamma-\varphi)\}]}\right\rangle$$

$$= \frac{\partial}{\partial \dot{\theta}}\left\langle \frac{1}{2}\left[Ml^2\dot{\theta}^2 + ml^2\left\{2\dot{\theta}^2(1-\cos\varphi) - 2\dot{\theta}\dot{\varphi}(1-\cos\varphi)\right\}\right]\right\rangle$$

$$= Ml^2\dot{\theta} + 2ml^2\dot{\theta}(1-\cos\varphi) - ml^2\dot{\varphi}(1-\cos\varphi) \tag{34}$$

が得られる。続いて、左辺第一項はもともと

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}}\right) \tag{35}$$

であるので、今計算した式(34)を引き続き時間 t で微分する。(※合成関数の微分箇所に注意。)

$$\frac{d}{dt}\left\{Ml^2\dot{\theta} + 2ml^2\dot{\theta}(1-\cos\varphi) - ml^2\dot{\varphi}(1-\cos\varphi)\right\}$$
$$= Ml^2\ddot{\theta} + 2ml^2\ddot{\theta}(1-\cos\varphi) - ml^2\ddot{\varphi}(1-\cos\varphi) - ml^2\left(\dot{\varphi}^2 - 2\dot{\theta}\dot{\varphi}\right)\sin\varphi \tag{36}$$

これで、式(30)のオイラー・ラグランジュ方程式の第一項が導出された。続いて第二項

$$-\frac{\partial L}{\partial \theta} \tag{37}$$

について計算する。次は θ による微分であるので、先程と同様にラグランジアンを代入し、θ の含まれない項を消去すると、

$$-\frac{\partial L}{\partial \theta} = -\frac{\partial}{\partial \theta}\left\langle \cancel{\frac{1}{2}\left[Ml^2\dot{\theta}^2 + ml^2\left\{2\dot{\theta}^2(1-\cos\varphi) + \dot{\varphi}^2 - 2\dot{\theta}\dot{\varphi}(1-\cos\varphi)\right\}\right]} - [Mgl\cos(\theta-\gamma) + mgl\{\cos(\theta-\gamma) - \cos(\theta-\gamma-\varphi)\}]\right\rangle \tag{38}$$

であるので、これを計算すると、

$$-\frac{\partial L}{\partial \theta} = \frac{\partial}{\partial \theta}\left[Mgl\cos(\theta-\gamma) + mgl\{\cos(\theta-\gamma) - \cos(\theta-\gamma-\varphi)\}\right]$$
$$= gl\left[m\{\sin(\theta-\gamma-\varphi) - \sin(\theta-\gamma)\} - M\sin(\theta-\gamma)\right] \tag{39}$$

となる。以上で、運動方程式の一つ目は、

$$Ml^2\ddot{\theta} + 2ml^2\ddot{\theta}(1-\cos\varphi) - ml^2\ddot{\varphi}(1-\cos\varphi) - ml^2\left(\dot{\varphi}^2 - 2\dot{\theta}\dot{\varphi}\right)\sin\varphi + gl\left[m\{\sin(\theta-\gamma-\varphi) - \sin(\theta-\gamma)\} - M\sin(\theta-\gamma)\right] = 0 \tag{40}$$

と求まった。引き続き、もう一つのオイラー・ラグランジュ方程式、

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\varphi}}\right) - \frac{\partial L}{\partial \varphi} = 0 \tag{41}$$

についても同様にラグランジアン L を代入して運動方程式を導出すると、

$$ml^2\ddot{\theta}(1-\cos\varphi) - ml^2\ddot{\varphi} + ml^2\dot{\theta}^2\sin\varphi + mgl\sin(\theta-\gamma-\varphi) = 0 \tag{42}$$

が得られる。従って Garcia のモデル(図 2A)における運動方程式は式(40)および(42)の連立方程式となった。

ここで補足として、この連立方程式を、角加速度($\ddot{\theta}$,$\ddot{\varphi}$)の項、角度(θ,φ)および角速度($\dot{\theta}$,$\dot{\varphi}$)の項、重力加速度(g)の項で分けて、式(43)として行列式で表現しておく。理工系の論文でこれらの形式の方程式を見ても、「何か違うことをやっているのか？」と身構える必要は全くない。単に計算しやすいように実用的な形に整理されているだけである。

$$\begin{bmatrix} Ml^2 + 2ml^2(1-\cos\varphi) & -ml^2(1-\cos\varphi) \\ ml^2(1-\cos\varphi) & -ml^2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \ddot{\theta} \\ \ddot{\varphi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -ml^2(\dot{\varphi}^2 - 2\dot{\theta}\dot{\varphi})\sin\varphi \\ ml^2\dot{\theta}^2\sin\varphi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} gl[m\{\sin(\theta-\gamma-\varphi)-\sin(\theta-\gamma)\}-M\sin(\theta-\gamma)] \\ mgl\sin(\theta-\gamma-\varphi) \end{bmatrix} = 0 \tag{43}$$

手順 4)：simplest walking model の導出

ここまでで、Garcia 等と同じ条件で受動歩行モデルの運動方程式が導出された。しかしながら、Garcia 等の論文では、同じ歩行ロボットについて解いているはずなのに、最終的な方程式が

$$\ddot{\theta} - \sin(\theta-\gamma) = 0 \tag{44}$$

$$\ddot{\theta} - \ddot{\phi} + \dot{\theta}^2\sin\phi - \cos(\theta-\gamma)\sin\varphi = 0 \tag{45}$$

というまるで異なった式で書いてある。そこで、最後の過程としてこの方程式を導出してみたい。

まず、我々の導出した式(40)の両辺を M で割ると、以下のようになる。

$$\frac{M}{M}l^2\ddot{\theta} + 2\frac{ml^2}{M}\ddot{\theta}(1-\cos\varphi) - \frac{ml^2}{M}\ddot{\varphi}(1-\cos\varphi) - \frac{ml^2}{M}(\dot{\varphi}^2 - 2\dot{\theta}\dot{\varphi})\sin\varphi + \frac{mgl}{M}(46)$$
$$\{\sin(\theta-\gamma-\varphi)-\sin(\theta-\gamma)\} - \frac{Mgl}{M}\sin(\theta-\gamma) = 0$$

ここで、腰の重量 M が足部の質量 m に比べて非常に大きいとし、$m/M \fallingdotseq 0$ を条件として式(46)を整理すると、ほとんどの項が「0」となり、

$$l^2\ddot{\theta} - gl\sin(\theta-\gamma) = 0 \tag{47}$$

と書くことができる。しかし、まだ「l」と「g」が残っているので、ここからは方程式の「無次元化」という操作を行う。無次元化とは、方程式を簡単化(for simplicity)し、その後の計算(コンピュータで解を求めるための数値計算)をスムーズにする目的で行われる。今回の場合、時間 t[sec]を、

$$t = \sqrt{\frac{l}{g}} \cdot \tau \tag{48}$$

として単位のない変数(時間)に変換し、式(47)に導入する(τ は「タウ」と読む。t と文字が似ているので注意。)。つまり、これまで式(47)は時間 t の微分方程式($d\theta/dt$)であったものを、新たに無次元時間 τ で微分された方程式($d\theta/d\tau$)というふうに変換する。すると、

$$l^2\frac{d^2\theta}{dt^2} - gl\sin(\theta-\gamma) = \frac{l^2}{\sqrt{\frac{l}{g}}^2}\frac{d^2\theta}{d\tau^2} - gl\sin(\theta-\gamma)$$
$$= gl\left\{\frac{d^2\theta}{d\tau^2} - \sin(\theta-\gamma)\right\} \tag{49}$$
$$= gl\left\{\ddot{\theta} - \sin(\theta-\gamma)\right\} = 0$$
$$\left(\because \ddot{\theta} = \frac{d^2\theta}{d\tau^2},\ \dot{\theta} = \frac{d\theta}{d\tau}\right)$$

になるので、式(49)の両辺を引き続き gl で割れば、$\ddot{\theta} - \sin(\theta-\gamma) = 0$ となって Garcia 等の式(44)にたどり着くことがわかる。

もうひとつの式(45)については両辺を m で割った後、先ほどと同様の手順で無次元化してから、括弧を展開すると

$$\ddot{\theta} - \ddot{\theta}\cos\varphi - \ddot{\varphi} + \dot{\theta}^2\sin\varphi + \sin(\theta-\gamma-\varphi) = 0 \tag{50}$$

となる。式を簡単にするために、まず式(50)左辺第 2 項に式(44)より $\ddot{\theta} = \sin(\theta-\gamma)$ を代入すると

$$\ddot{\theta} - \sin(\theta-\gamma)\cos\varphi + \ddot{\varphi} + \dot{\theta}^2\sin\varphi + \sin(\theta-\gamma-\varphi) = 0 \tag{51}$$

となるので、続いてこの式の左辺第 2 項および 5 項だけを抜き出して、$\theta-\gamma = A$、$\varphi = B$ として書き直してみると $-\sin A\cos B + \sin(A-B)$ とできるから、加法定理：$\sin(A-B) = \sin A\cos B - \cos A\sin B$ を適用することができて、結局、この部分は $-\sin A\cos B + \sin(A-B) = -\cos A\sin B$ と置き換えることができる。最終的にこれを元の式に代入し、且つ、$\theta-\gamma = \mathrm{A}$、$\varphi = \mathrm{B}$ を元に戻すと

$$\ddot{\theta}-\ddot{\varphi}+\dot{\theta}^2\sin\varphi-\cos(\theta-\gamma)\sin\varphi=0 \qquad (52)$$

と整理され、Garcia 論文の式(45)と一致する。

4. 結語

これで、Garcia 等の歩行運動方程式を導出できたが、実際にこのロボットをシミュレーションする(歩かせる)ためには、方程式を満たす θ や $\dot{\theta}$ といった変数を解く必要がある。高校までの方程式は、解析的に(手計算で)解が求まるものがほとんどだが、今回扱った方程式(44、45)は、三角関数の項や、二次以上の項($\dot{\theta}^2$)を含んだ、「非線形微分方程式」と呼ばれるものであるため、人間がペンで計算して求解するのは困難である。解を求めるには、数値計算プログラムにより PC で計算させる必要があり、これについては本誌のもう一つの論文(小宮・倉山)にて解説している。興味のある方はご一読願いたい。

歩行の物理学は、歩行の最も根本的な原理を説明している。しかし、本邦において我々理学療法士・作業療法士が学校教育や卒後教育でこのことに触れる機会はほとんど無く、理系の研究者・大学院生の間で扱われるのみである。本稿の内容は、理工系の専門の方から見れば単なる演習問題程度であるが、歩行の数理を高校生でも理解できる難易度で説明しているという点で、歩行に携わる医療従事者向けの解説論文として意義があると考えている。本稿を通じて、歩行の基本原理がリハビリテーション分野をはじめとする、ヒトの歩行に携わる方々にとって、少しでも身近なものになれば幸いである。

※歩行運動方程式サポートページ
(誤植の指摘、また質問を頂ければ幸いです。)
https://aobanomori.net/simplestwalking/

文献

1) Mochon S, McMahon TA. Ballistic walking. J Biomech. 13(1): 49–57, 1980.
2) McGeer, T. Passive dynamic walking. Int. J. Robot. Res. 9(2): 62–82. 1990.
3) Garcia M, Chatterjee A, Ruina A, et al. The simplest walking model: stability, complexity, and scaling. J Biomech Eng, 120(2): 281–8, 1998.
4) 池俣吉人, 佐野明人：受動歩行の現象, 原理, そして応用. 日本ロボット学会誌, 30 (4) 350–355, 2012.
5) 池俣吉人：受動歩行の原理およびその工学的応用. 名古屋工業大学博士論文, 2006.
6) 橋元淳一郎：単位が取れる解析力学ノート, 第五版, 講談社, 2019.
7) 前野昌弘：よくわかる解析力学, 第一刷, 東京図書, 2013.
8) Steven H. Strogatz(著), 田中久陽(翻訳), 中尾裕也(翻訳)：非線形ダイナミクスとカオス, 第1版, 丸善出版, 2015.

Abstract :

The article describes about "Simplest Walking Model" proposed by Garcia and colleagues expected for physical and occupational therapists interested in physics and mathematics. The authors intend to explain in detail of the equation transformations and other aspects of the mathematical model; therefore, it could help to understand outline of the derivation deeply. If readers are motivated, please follow the derivation of the equations by hand with a pen and papers. The article would establish the basic knowledge of physics and mathematics to understand mathematical model of walking in the shortest way and could have you to develop your interest further. The authors hope you refer to technical books and other sources as appropriate, based on the mathematical terms and solutions given in the explanations. If readers are a teacher or high school student who is interested in college physics, we hope you will use this paper as a simple example of analytical mechanics.

Key words : passive walking, inverted pendulum, analytical mechanics, Euler — Lagrange equation

◎総論

歩行運動方程式の数値計算方法−Simplest walking model−

Numerical method for calculating the equation of walking; Simplest walking model

小宮全[1]，倉山太一[2]

要　旨

本稿はGarcia等が提唱した歩行についての数理モデル「Simplest walking model」を題材にした微分方程式の数値計算の解説である。モデルから導出された微分方程式を数値計算が可能な形まで変形する過程を詳しく示した。主な読者として、ウェブサイトなどの情報をもとに自身でプログラムを動かすことはできるが、その原理に精通しているわけではなく、プログラムを自分で改良することや、応用的な問題解決能力をこれから身につけたいと考えている段階の方を想定した。具体的なプログラムコードは、付録として文末に示したウェブサイトより配布するので興味を持たれた方は是非ご自身で実際にプログラムを実行していただきたい。もし、数値計算に興味のある高校生や大学生、および大学院生や、その指導教員がお読み下さったならば、本稿を数値計算の導入的な例題として参考にして頂ければ幸いである。

【キーワード】 数値計算、微分方程式、受動歩行、歩行運動方程式

1.　はじめに

本稿では「歩行運動方程式の導出過程」[1]（以下倉山・小宮）で解説をした歩行運動方程式のなかで最も単純化されたモデルである「Simplest walking model」[2]を例に、微分方程式の数値計算に関する解説を行う。

ウェブ検索をするとすぐに分かるが、「Simplest walking model」を解くための数値計算プログラムのソースコードはすでに複数配布されている[3]。では、本稿の意味はなにか。それは2つある。1つ目は、より数値計算に適した形式に式変形をすること、2つ目は、こちらが本稿の主目的であるが、微分方程式を数値的に解くための基礎を解説することである。微分方程式の数値解法には様々な手法があり、手法の違いによって、数値解そのものの正しさ、数値解の精度や数値解が出るまでの計算時間が大きく異なる。再導出した基礎方程式はモデルを正しく表現しており、それ自身は当然正しい。しかし、それらの式が数値計算に適しているか、すなわち数値解の精度が十分出るか、数値解を得るまでにある程度の時間で収まるのかは別問題である。そこで本稿では、読者が、自分で作った微分方程式をコンピュータを使って数値計算をすることができるように、その流れを解説したい。当然だが、微分方程式を数値的に解くためにはプログラムを記述する必要があるが本

1　東京交通短期大学運輸科博士（理学）
2　植草学園大学保健医療学部博士（医学）
投稿日：2021年12月23日　　採択決定日：2021年12月25日　　公開日：2022年3月31日

稿ではプログラムの書き方については触れず、その考え方を解説する。実際のプログラムは筆者らのウェブサイト[4]を参照していただきたい。手で解くことができない微分方程式をコンピュータを使って解き、その振る舞いを調べることは、非常に興味深いことであり、この機会にぜひみなさんも取り組んでいただければと思う。

本解説に関する分野をより深く学習する方法としては、まずはウェブで検索をしてごく簡単にキーワードを理解した上で書籍[5-6]などを参考にすることをお薦めする。

2. 数値計算方法の概要

具体的な数値計算を作成するために必要な流れについて、以下の3段階に分けて解説をする。

1. 解くべき微分方程式(運動方程式)の再確認
2. 数値計算をするための最低限の式変形について
3. 数値計算の精度を高めるための方法等

以上の手順で順次解説を進める。

3. 解くべき微分方程式（運動方程式）

本稿で使用する運動方程式は、すでに導出の再確認をした。解く対象となる方程式は以下の式(1)、(2)である。

$$\begin{aligned} &Ml^2\ddot{\theta}+2ml^2(1-\cos\phi)\ddot{\theta}-ml^2(1-\cos\phi)\ddot{\phi} \\ &\quad -ml^2\sin\phi\left(\dot{\phi}^2-2\dot{\theta}\dot{\phi}\right)-Mgl\sin(\theta-\gamma) \\ &\quad -mgl\sin(\theta-\gamma)+mgl\sin(\theta-\phi-\gamma)=0 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned} &ml^2(1-\cos\phi)\ddot{\theta}-ml^2\ddot{\phi}+ml^2\sin\phi\dot{\theta}^2+ \\ &\quad mgl\sin(\theta-\phi-\gamma)=0 \end{aligned} \tag{2}$$

式中に出てくる文字や記号の意味や定義は倉山・小宮と同様である。ただし違いが2つあり、1つ目は $M \gg m$ を仮定しないこと、2つ目は方程式の無次元化は実施していないことである。

これにより、解くべき方程式は、2階の非線形微分方程式の連立となることがわかった。倉山・小宮でも述べたように、非線形微分方程式を解析的に解く(手計算で解く)ことは難しい。そのため、これらの微分方程式を数値的に解く(コンピュータを使って解く)必要があり、そのための準備が必要となる。解析的に解く場合と数値的に解く場合の最大の違いは、数値解法には必ず誤差が含まれるということである。これはコンピュータそのものの性質から来る誤差(コンピュータは二進法であることや、表現できる桁が限定されていることからくる誤差)や数値解法のアルゴリズムの特性(優劣)に由来する誤差である。まず最初に考えるべきは式(1)と式(2)が解析的に解けるかどうかであり、もし解けない場合は数値的に解くという手段を考えるという流れになる。また、全ての工程を数値的に解く必要はなく、可能であるならば解析的に解けるか検討するとよい。本稿では、Garciaら[2]よりも、解析的に計算を進めてみたい。

4. 数値計算をするための最低限の式変形

今回のターゲットである運動方程式は、2階の微分方程式で、それが連立した形になっている。このような1階ではない(＝高階である)微分方程式を数値的に解く際の前準備として、以下の式(3)ように、新たな変数を導入して、1階の微分方程式の連立という形に変形させることが多い。1階の微分方程式の連立という形に変形させずに2階の微分方程式のままで計算することも可能ではあるが、より洗練されたアルゴリズムが多数開発されている1階の微分方程式の連立に変形するのが一般的である。

時間発展する連立微分方程式は以下のように書くことができる。ここで n は元(変数の数)を表している。

$$\frac{dy_i(t)}{dt}=f_i(y_1,y_2,\ldots,y_n) \qquad i=1,\ldots,n \tag{3}$$

式(3)を式(1)、式(2)に合わせて $y_1=\theta$、$y_2=\dot{\theta}$、$y_3=\phi$、$y_4=\dot{\phi}$ とおき、具体的に書き下すと以下となる。

$$\begin{aligned} &\frac{d\theta}{dt}=\dot{\theta}=f_1,\quad \frac{d\dot{\theta}}{dt}=\ddot{\theta}=f_2, \\ &\frac{d\phi}{dt}=\dot{\phi}=f_3,\quad \frac{d\dot{\phi}}{dt}=\ddot{\phi}=f_4 \end{aligned} \tag{4}$$

式(4)の右辺は、θ, $\dot{\theta}$, ϕ, $\dot{\phi}$を変数に持つので、式(4)の$\ddot{\theta}$と$\ddot{\phi}$をθ, $\dot{\theta}$, ϕ, $\dot{\phi}$で書き下す必要がある。そのためには、式(1)，式(2)を$\ddot{\theta}$，$\ddot{\phi}$の連立方程式とみなし、$\ddot{\theta}$，$\ddot{\phi}$を求める必要がある。これには解析的に解く方法と数値的に解く方法がある。式(1)、式(2)は$\ddot{\theta}$，$\ddot{\phi}$の連立一次方程式とみなすことができるので、以下の式(5)のように行列で書き表すこともできる。これは単に表現の違いであるが、コンピュータは行列の計算が非常に得意であるため、連立方程式を行列で表現することは多々ある。

$$\begin{pmatrix} Ml^2+2ml^2(1-\cos\phi) & -ml^2(1-\cos\phi) \\ ml^2(1-\cos\phi) & -ml^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \ddot{\theta} \\ \ddot{\phi} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -ml^2\left(\dot{\phi}^2-2\dot{\phi}\dot{\theta}\right)\sin\phi \\ ml^2\dot{\theta}^2\sin\phi \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} mgl\{\sin(\theta-\phi-\gamma)-\sin(\theta-\gamma)\}-Mgl\sin(\theta-\gamma) \\ mgl\sin(\theta-\phi-\gamma) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \tag{5}$$

このように行列で表すことができれば、クラメルの公式や逆行列を使って$\ddot{\theta}$と$\ddot{\phi}$を求めることができる。式(1)と式(2)を連立方程式として直接的に解くことも可能である。$\ddot{\theta}$と$\ddot{\phi}$を求め、式(4)に当てはめると以下の式(6)～(9)となる。

$$\frac{d\theta}{dt}=\dot{\theta} \tag{6}$$

$$\begin{aligned}\frac{d\dot{\theta}}{dt}=\ddot{\theta}=&\frac{1}{Ml+ml-ml\cos^2\phi}\\ &\times\Big[ml\sin\phi\left(\dot{\phi}^2-2\dot{\theta}\dot{\phi}\right)+Mg\sin(\theta-\gamma)\\ &+mg\sin(\theta-\gamma)+ml\dot{\theta}^2(1-\cos\phi)\sin\phi\\ &-mg\cos\phi\sin(\theta-\phi-\gamma)\Big]\end{aligned} \tag{7}$$

$$\frac{d\phi}{dt}=\dot{\phi} \tag{8}$$

$$\begin{aligned}\frac{d\dot{\phi}}{dt}=\ddot{\phi}=&\frac{1}{Ml+ml-ml\cos\phi}\\ &\times[ml\sin\phi(\dot{\phi}^2-2\dot{\theta}\dot{\phi})(1-\cos\phi)\\ &+Mg\sin(\theta-\gamma)(1-\cos\phi)+mg\sin(\theta-\gamma)\\ &(1-\cos\phi)+mgsin(\theta-\phi-\gamma)(1-\cos\phi)\\ &+\dot{\theta}^2\sin\phi\{Ml+2ml(1-\cos\phi)\}\\ &+Mgsin(\theta-\phi-\gamma)]\end{aligned} \tag{9}$$

これにより解くべき4本の1階の微分方程式群が揃った。よって、数値計算結果の精度や安定性を別にすれば、何らかの微分方程式を解くためのアルゴリズムを採用しプログラムを作成すれば、数値計算を実施することができる。具体的にはどのようなアルゴリズムを採用して微分方程式を解けばよいのか。大変乱暴ではあるが4段4次のルンゲ・クッタ法と呼ばれるアルゴリズムを使って微分方程式を解くと良い。このアルゴリズムを採用しても解が安定しない(解が安定しないとは、微分方程式を解く際に、時間の刻み幅を少し増減させただけで、結果が大きく変わってしまう)場合は、陰解法と呼ばれるアルゴリズムを採用すると良い。陰解法を採用するためには、さらに式の導出が必要になる場合があり、その準備を次節で行いたい。

5. さらに解きやすくするために考えること

4段4次のルンゲ・クッタ法を採用したが微分方程式が安定的に解けない場合を考える。安定的に解けない微分方程式のことを硬い(stiff：スティッフ)微分方程式と呼び、比較的安定的に解ける微分方程式のことを硬くない(non-stiff：ノンスティッフ)と呼ぶ。硬い方程式を解ける可能性のあるアルゴリズムの分類として陰解法(implicit methoed)と呼ばれるものがある。前節で紹介したルンゲ・クッタ法には、陽解法(explicit method)と陰解法があり、ただ単にルンゲ・クッタ法と言った場合は陽解法を意味する場合が多い。陽解法に比べて陰解法は解の安定性が増加し、計算時間が短縮される場合が多い。その様なメリットはあるが、陽解法に比べて陰解法の方がアルゴリズム的に複雑になり難易度は上がることになる。陽

解法・陰解法の詳しい解説は参考文献[5-6]を確認してほしい。

では、陽解法で微分方程式を解くことができないため、陰解法を用いて解くことを考えたとしよう。陰解法を用いるためには、多くの場合ヤコビ行列が必要になる。ヤコビ行列は以下で定義される。

$$J_{ij} = \frac{\partial f_i}{\partial y_j} \quad i,j = 1,2,3,4 \tag{10}$$

ヤコビ行列(Jacobian matrix)とヤコビ行列式(Jacobian determinant)は、当然別物であるが、ヤコビ行列・ヤコビ行列式ともに、単にヤコビアンと呼ぶこともある。ヤコビアンと言った場合は、ヤコビ行列式を指す場合が多いが、文脈で判断しなくてはいけない場合もある。ヤコビ行列を数値的に求めることも可能だが、本稿では解析的に導出した。

式(4)を参考に、式(10)ヤコビ行列を具体的に書き下すと以下となる。

$$J_{11} = \frac{\partial \dot{\theta}}{\partial \theta} = 0 \tag{11}$$

$$J_{12} = \frac{\partial \dot{\theta}}{\partial \dot{\theta}} = 1 \tag{12}$$

$$J_{13} = \frac{\partial \dot{\theta}}{\partial \phi} = 0 \tag{13}$$

$$J_{14} = \frac{\partial \dot{\theta}}{\partial \dot{\phi}} = 0 \tag{14}$$

(下図) (15)

$$J_{22} = \frac{\partial \ddot{\theta}}{\partial \dot{\theta}} = \frac{-2m\dot{\phi}\sin\phi + 2m\dot{\theta}(1-\cos\phi)\sin\phi}{M+m-m\cos^2\phi} \tag{16}$$

$$\begin{aligned} J_{23} = \frac{\partial \ddot{\theta}}{\partial \phi} &= \frac{1}{(Ml+ml-ml\cos^2\phi)^2} \\ &\times[\{mg\sin\phi\sin(\theta-\phi-\gamma)+mg\cos\phi\cos(\theta-\phi-\gamma)\} \\ &\times(Ml+ml-ml\cos^2\phi) - 2ml\cos\phi\sin\phi \\ &\times\{ml(\dot{\phi}^2-2\dot{\theta}\dot{\phi})\sin\phi + Mg\sin(\theta-\gamma) \\ &+mg\sin(\theta-\gamma)+ml\dot{\theta}^2(1-\cos\phi)\sin\phi \\ &-mg\cos\phi\sin(\theta-\phi-\gamma)\}] \end{aligned} \tag{17}$$

$$J_{24} = \frac{\partial \ddot{\theta}}{\partial \dot{\phi}} = \frac{2m\sin\phi(\dot{\phi}-\dot{\theta})}{M+m-m\cos^2\phi} \tag{18}$$

$$J_{31} = \frac{\partial \dot{\phi}}{\partial \theta} = 0 \tag{19}$$

$$J_{32} = \frac{\partial \dot{\phi}}{\partial \dot{\theta}} = 0 \tag{20}$$

$$J_{33} = \frac{\partial \dot{\phi}}{\partial \phi} = 0 \tag{21}$$

$$J_{34} = \frac{\partial \dot{\phi}}{\partial \dot{\phi}} = 1 \tag{22}$$

(下図) (23)

(次頁) (24)

(次頁) (25)

$$J_{44} = \frac{\partial \ddot{\phi}}{\partial \dot{\phi}} = \frac{2m\sin\phi(1-\cos\phi)(\dot{\phi}-\dot{\theta})}{M+m-m\cos\phi} \tag{26}$$

$$J_{21} = \frac{\partial \ddot{\theta}}{\partial \theta} = \frac{Mg\cos(\theta-\gamma)+mg\cos(\theta-\gamma)-mg\cos\phi\cos(\theta-\phi-\gamma)}{Ml+ml-ml\cos^2\phi} \tag{15}$$

$$J_{41} = \frac{\partial \ddot{\theta}}{\partial \theta} = \frac{Mg(1-\cos\phi)\cos(\theta-\gamma)+mg(1-\cos\phi)\{\cos(\theta-\gamma)+\cos(\theta-\phi-\gamma)\}+Mg\cos(\theta-\phi-\gamma)}{Ml+ml-ml\cos\phi} \tag{23}$$

これにより、式(1)と式(2)で表される連立微分方程式を陰解法で解くための定式化が終了した。あとは、自分で陰解法の実装を実施してもよいし、数値計算ライブラリーを利用してもよい。数値計算ライブラリーとは、様々なプログラム言語で様々なアルゴリズムを利用しやすいようにまとめたプログラム集のことである。筆者のウェブサイト[4]で、数値計算ライブラリーを利用したプログラム(C 言語、Python、MATLAB)とその実行方法を公開している。ぜひ、参考にしていただきたい。

6. 結語

今回は、倉山・小宮と本稿の 2 つを寄稿した。まず倉山・小宮で、Simplest Walking Model の導出に関して詳しく解説をした。改めて、解析的に解ける連立微分方程式ではないことを理解していただけたと思う。次に、本稿では、解析的に解くことができない連立微分方程式を数値的に解く際の流れと、安定的に解くために必要な定式化を行った。これらを組み込んだプログラムを公開しているので、興味のある方はぜひ、ウェブサイトにアクセスをしてプログラムをダウンロードし自分の PC で計算をしていただきたい。数値計算には興味があるが、敷居が高いと考えている方の意識が少しでも変われば幸甚である。

※本解説のサポートページ
(誤植の指摘、また質問を頂ければ幸いです。)
https://aobanomori.net/simplestwalking/

文献

1) 倉山太一, 小宮全：歩行運動方程式の導出過程, 支援工学理学療法学会誌, 2022.
2) Garcia M, Chatterjee A, Ruina A, et al. The simplest walking model: stability, complexity, and scaling. J Biomech Eng, 120 (2) 281−8, 1998.
3) 伊理正夫, 藤野和建：数値計算の常識, 共立出版, 1985.
4) William H. Press, その他：ニューメリカルレシピ・イン・シー 日本語版, 1993.
5) Simulation of the Simplest Walker, http://ruina.tam.cornell.edu/research/topics/locomotion_and_robotics/ranger/ranger_paper/Reports/Ranger_Robot/control/simulator/simplestwalker.html(2022/1/3確認).
6) 解説「歩行運動法令式の導出過程」ならびに「歩行運動方程式の数値計算方法」：サポートページ, https://aobanomori.net/simplestwalking/(2022/1/3確認).

$$J_{42}=\frac{\partial\dot{\phi}}{\partial\dot{\theta}}=\frac{-2m\dot{\phi}(1-\cos\phi)\sin\phi+2\dot{\theta}\sin\phi\{M+2m(1-\cos\phi)\}}{M+m-m\cos\phi} \tag{24}$$

$$\begin{aligned}J_{43}=\frac{\partial\ddot{\phi}}{\partial\phi}=&\frac{1}{(Ml+ml-ml\cos\phi)^2}\times[\{Mg\sin(\theta-\gamma)\sin\phi+mg\sin\phi\sin(\theta-\gamma)-mg\cos(\theta-\phi-\gamma)\\&(1-\cos\phi)+mg\sin\phi\sin(\theta-\phi-\gamma)+\dot{\theta}^2\cos\phi\{Ml+2ml(1-\cos\phi)\}+2ml\dot{\theta}^2\sin^2\phi-Mg\cos(\theta-\phi-\gamma)\}\\&\times(Ml+ml-ml\cos\phi)-\{ml\sin\phi\left(\dot{\phi}^2-2\dot{\theta}\dot{\phi}\right)(1-\cos\phi)+Mg\sin(\theta-\gamma)(1-\cos\phi)+mg\sin(\theta-\gamma)\\&(1-\cos\phi)+mg\sin(\theta-\phi-\gamma)(1-\cos\phi)+\dot{\theta}^2\sin\phi\{Ml+2ml(1-\cos\phi)\}+Mg\sin(\theta-\phi-\gamma)\}\times ml\sin\phi]\end{aligned} \tag{25}$$

Abstract :

This article describes the numerical computation of differential equations based on the "simplest walking model," a mathematical model of walking proposed by Garcia and colleagues. The process of transforming the differential equations derived from the model into a form that can be computed numerically is presented in detail. The main readers are assumed to be those who can run the program by themselves based on information from websites, but are not familiar with the principles, and would like to improve the program by themselves and acquire applied problem — solving skills in the future. The specific program code is distributed as an appendix from the website shown at the end of the text, so those who are interested are encouraged to run the program by themselves. We hope that high school, university, and graduate students who are interested in numerical computation, as well as their supervisors, will find this paper useful as an introductory example of numerical computation.

Key words : numerical calculation, differential equation passive walking, equation of walking motion

支援工学理学療法学会誌
投稿要領

1. 本誌の目的

①支援系理学療法学および関連する分野の研究を公表し、理学療法学を発展させる。

②理学療法士の卒後継続教育に資する教育的な論文を掲載する。

③支援系理学療法の発展に関する記録や資料を掲載する。

2. 記事の種類

①研究論文(原著)：新規性および独創性があり、明確な結論を示した論文。症例の臨床的問題や治療結果について科学的に研究を行い、考察を行った論文。

③短報：研究の速報・略報として簡潔に記載された短い研究論文。

④症例報告：症例として報告の意義がある、あるいは新技術として公開することに意義がある論文

⑤その他：システマティックレビュー、症例報告、実践報告、調査報告など編集委員会で掲載が適切と判断された論文および記事。(なお、症例報告とは症例の治療および経過などについて論理的に提示し､考察を行ったもの。実践報告とは、理学療法の研究・教育・臨床等の実践の中で、新たな工夫や介入、結果等について具体的かつ客観的に情報提示し、その内容が有益と判断されたもの)

3. 投稿者の資格

本誌への投稿資格は原則として、共著者のうちに日本支援工学理学療法学会会員がいること。ただし、会員が含まれない場合であっても編集委員会が、本学会への貢献が認められた場合は、採択することができる。

なお、依頼原稿についてはこの限りではない。投稿論文の共著者に学生会員を含むことができる。研究や調査の際に倫理上人権上の配慮がなされ、その旨が文中に明記されていること。人および動物を対象とする研究の場合は、必要な倫理審査を受けた旨を明記すること。

4. 投稿原稿の条件

投稿原稿は他誌に発表または投稿中の原稿でないこと。本規定および執筆規定にしたがい作成すること。

5. 投稿承諾書

著者の論文への責任および著作権譲渡の確認のため、別紙の投稿承諾書に自筆による署名をして提出すること。

6. 利益相反

利益相反の可能性がある事項(コンサルタント料、株式所有、寄付金、特許など)がある場合は本文中に記載すること。なお、利益相反に関しては日本理学療法士学会連合が定める｢利益相反の開示に関する基準｣を遵守すること。

投稿時に｢COI 自己申告書｣を提出しなければならない。申告時の内容については、謝辞等にその旨記載する。COI 状態がない場合も、謝辞等に｢開示すべき COI 状態はない｣などの文言を記載し、自己申請書を提出する。

7. 著作権

本誌に掲載された論文の著作権は、日本支援工学理学療法学会に属する。また、本誌に掲載された論文はオンライン公開される。

8. 研究倫理

ヘルシンキ宣言および厚生労働省の｢人を対象とする生命科学・医学系研究に関する倫理指針｣などの医学研究に関する指針に基づき対象者の保護には十分留意し、説明と同意などの倫理的な配慮に関する記述を必ず行うこと。また、研究にあたり、所属研究機関あるいは所属施設の倫理委員会ないしそれに準ずる機関の承認を得ることを必須とし、倫理審査委員会名および承認番号(または承認年月日)を必ず記載すること。なお、倫理審査委員会より承認の非該当となった場合には、その旨を記載する。

9. 原稿の採択

原稿の採否は複数の査読者の意見を参考に編集委員会において決定する。査読の結果、編集方針にしたがって原稿の修正を求めることがある。修正を求められた場合は 2 カ月以内に修正稿を再提出すること。提出期限を超過した場合は新規投

稿論文として扱われる。また、必要に応じて編集委員会の責任において字句の訂正を行うことがある。

10. 校正

著者校正は原則として1回とし、誤字脱字を除く文章および図表の変更は原則として認めない。

11. 掲載に関する費用

規定の分量の範囲内までは無料掲載するが、超過した場合は超過分に要した実費を徴収する場合がある。

12. 原稿送付方法および連絡先

1)原稿送付方法

本学会のメールアドレス(journal@jsatpt.jspt.or.jp)へ投稿すること。原稿書式など詳細は執筆規程に定める。

2)問合せ先

〒106-0032　東京都港区六本木7-11-10
一般社団法人　日本支援工学理学療法学会
「日本支援工学理学療法学会学会誌」編集室
TEL：03-6804-1626
E-mail：journal@jsatpt.jspt.or.jp

註1：国際医学雑誌編集者委員会：生物医学雑誌への投稿のための統一規定(http://www.icmje.org/recommendations/)

註2：厚生労働省：研究に関する指針について(http://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/hokabunya/kenkyujigyou/i-kenkyu/index.html)

《執筆規程》

1. 原稿の分量および形式

1)原稿はパソコンまたはワープロ(テキストファイル形式)を用い、A4版横書き縦40行・横40字の1,600字分を1枚とし、文献、図表、写真を含み、本文の合計が10枚(16,000字相当)以内を原則とする。1,600字用紙で3枚程度の短報も可能。

2)図表、写真は、それぞれ1枚につき原稿400字分と換算し、原則として合計5枚以内とする。図は製版できるよう作成し、表はタイプ又はワープロで作成する。写真は白黒を原則とし、カラー写真の場合には実費負担とする。

3)刷り上がり5ページ(8,000字相当)までの掲載は無料。6ページ以上の超過ページは実費徴収する場合がある。

2. 論文の構成

1)原稿の表紙に、①題名(和文および英文)、②キーワード(5語以内)、③希望する原稿カテゴリー(研究論文、研究報告、症例報告、臨床活動の報告)、④新規・再投稿の区別、⑤該当する分野、⑥前回投稿時のPaper ID(再投稿や再々投稿の場合のみ)。

2)原稿本文には、和文の要旨(400字以内)とキーワード(5語以内)、本文、文献、英語要旨(300語以内のAbstract)とKeywords(5語以内)の順に記載し、通し番号を付け、図表及び写真を添付する。また、原稿本文の各ページには行番号を付けること。

3)図、表及び写真は1枚ずつ別紙とし、図1、表1および写真1などの番号をつける。さらに図及び写真の標題や説明は、別紙1枚に番号順に記入する。

4)本文：本文は原則以下の項目に沿って本文を構成すること。ただし、研究論文(原著)以外の記事の種類の論文においては、著者の判断で項目名を変更してもよい。

①はじめに(序論、緒言)：研究の背景、臨床的意義、研究の目的、取り扱っている主題の範囲、先行研究との関連性の明示などを記述する。

②対象および方法

用いた研究方法について第3者が追試できるように記述する。倫理的配慮も記述すること。

③結果(成績)

研究で得られた結果を本文および図表を用いて記述する。データは、検証、追試を行いやすいように図(グラフ)よりも表にして数値で示す方が望ましい。

④考察(分析)

結果の分析・評価、今後の課題、などを記述する。

⑤結論

研究で得られた結論を 200 ～ 300 字で簡潔に記述する。

⑥利益相反

利益相反の有無について記載する。

⑦謝辞

著者資格には該当しない研究への貢献者については謝辞に記載する。

5）文献：引用文献のみとする

6）年号は原則として西暦を使用し、外国語、外国人名、地名は、原語もしくはカタカナ（最初は原綴りを併記）で書く。略語は本文中の最初に出たところでフルネームを入れる。

7）文献の記載方法

a）本文中の該当箇所の右肩に、順に 1）、2）…の通し番号を付し、文末に番号順に揚げる。

b）雑誌の場合

著者名：題名．雑誌名, 巻（号）：引用ページ, 発行年　の順に記載する。

（例）

井村恒郎：知覚抗争の現象について . 精神経誌 , 60 : 1239−1247, 1958.

Baxter, L R, Scwartz, J M, et al. : Reduction of prefrontal cortex metabolism common to three types of depression. Arch Gen Psychiatry, 46 : 243−250, 1989.

c）単行本の場合

著者名：題名．監修ないし編集者，書名，版数：引用ページ，発行社名，発行地名，西暦発行日　の順に記載する。

（例）

八木剛平 , 伊藤　斉 : 躁鬱病 . 保崎秀夫編著 , 新精神医学 : 282-306, 文光堂 , 東京 , 1990.

Gardnar, M B : Oncogenes and acute leukemia. Stass SA（ed）, The Acute Leukemias : 327−359, Marcel Dekker, New York, 1987.

d）著者名が 4 名以上の場合、3 名連記の上、○○○，他、あるいは○○○ , et al. とする。

3. 投稿は原則として以下のファイル（①表紙：上記 7 の（1）を参照のこと　②本文　③図表、④投稿関連電子ファイル：連絡先　査読候補者等の希望リスト　投稿承諾書　COI 自己申告書　ネイティブチェック）を pdf ファイルとし、以下学会アドレスに添付ファイルとして投稿してください。なおすべてのファイル名には氏名を先頭に記してください。例：「山田太郎表紙 .pdf」、山田太郎本文 .pdf」、他。

4. 学会アドレス：journal@jsatpt.jspt.or.jp

5. 著者校正は 1 回とする。校正の際の大幅な変更は認めない。

6. 採択した原稿及び電子媒体は、原則として返却しない。

7. 投稿承諾書・COI 自己申告書・ネイティブチェック証明書は PDF にして、日本支援工学理学療法学会事務局にメール（journal@jsatpt.jspt.or.jp）にて提出する。宛先は以下の通り。

〒 106-0032　東京都港区六本木 7-11-10
一般社団法人　日本支援工学理学療法学会
「日本支援工学理学療法学会学会誌」編集室
TEL：03-6804-1626
E-mail：journal@jsatpt.jspt.or.jp

8. 本誌に掲載された論文の著作権は日本支援工学理学療法学会に帰属する。

9. 査読候補者について

（1）査読者候補を 1 名以上指名すること。該当者の①氏名、②所属、③ e-mail アドレスを投稿の際に同時入力すること。なお、査読者の最終的な選定は編集委員会で行うため、必ずしも査読候補者が査読者に加わるとは限らない。

（2）投稿者の不利益が予想される場合、投稿者は該当者を指名して査読候補者から除外するよう希望することができる。指名する場合は、①投稿者に不利益が生じる理由、および該当者の②氏名、所属、e-mail アドレス等を明記した別紙（フォーマットは任意）を添付すること。なお、査読者の最終的な選定は編集委員会で行うため、該当者が査読者に加わる場合もある。

10. 英文で執筆する場合はネイティブチェックを受け、初回投稿時に証明書のコピーを添付する。

（2021 年 9 月 26 日）

編集後記

支援工学理学療法学会誌創刊号をお届けすることができることとなりました。本学会誌創刊に関わることができたことに感謝し、誇りに思います。学会誌の母体となる、日本支援工学理学療法学会は、2021 年 4 月に学会として独立した誕生間もない学術団体であり、1 年後に学会誌を創刊できたことは、異例の速さであり、学会員皆様の関心の高さを示すものと確信します。

日本支援工学理学療法学会は、理学療法に関わる支援工学に大きな関心を持っております。理学療法はもともと、義肢装具といった工学に根差した技術を、専門性として保持してきております。ロボット工学、AI 技術を背景に、支援工学の進歩は目覚ましく、理学療法においても、これらを最大限に生かす役割を持っております。最新の支援工学は、使用対象者機能を正確に評価し、フィティングすることなしには、効果を得られません。当分野での理学療法士の役割について、我々理学療法士自身へ、そして、支援工学を応用した理学療法効果の大きさを、広く社会へアピールすることが、本分科学会の目前の使命と考えております。

こうした本学会の使命を果たすために、機関紙発行は早急に進めなくてなくてはいかない課題でした。本誌が、我々学会員が直面する問題につての議論の場となり、また最新情報を共有する場となることを期待しています。

支援工学理学療法学会誌　編集員長　新田收

編集員会

編集員長　新田　收　東京都立大学

編 集 員　豊田　輝　帝京科学大学
大西忠輔　城西国際大学
小原謙一　川崎医療福祉大学
倉山太一　植草学園大学
石濱裕規　医療法人社団永生会研究開発センター
西山　徹　日本医療大学
春名弘一　北海道科学大学
廣島拓也　医療法人社団苑田会花はたリハビリテーション病院
西川裕一　金沢大学
信太奈美　東京都立大学

支援工学理学療法学会では，ホームページを開設しております。
http://jspt.japanpt.or.jp

支援工学理学療法学会誌

Journal of Assistive Technology in Physical Therapy
（略称：jatpt）

2022 年 3 月 25 日発行　第 1 巻第 1 号 ©

発行　日本支援工学理学療法学会
〒 106−0032　東京都港区六本木 7−11−10
一般社団法人　日本支援工学理学療法学会
「日本支援工学理学療法学会学会誌」編集室
TEL. 03−6804−1626

製作　株式会社 双文社印刷
〒 173−0025 東京都板橋区熊野町 13−11
TEL. 03（3973）6271　FAX. 03（3973）6228
ISSN 2436-6951

本書の内容を無断で複写・複製・転載すると，著作権・出版権の侵害となることがありますのでご注意下さい。

Journal of Assistive Technology in Physical Therapy