

# プラスチック製短下肢装具剛性簡易計測システムの開発

- 片麻痺者の足関節剛性と使用する短下肢装具剛性との関係 -

## A System Development to Measure Plastic Ankle-Foot Orthosis Joint Characteristics

- Relationship between AFO stiffness and ankle stiffness of twelve hemiplegic patients -

赤澤 康史 中川 昭夫 松原 裕幸 中村 俊哉

AKAZAWA Yasushi, NAKAGAWA Akio, MATSUBARA Hiroyuki, NAKAMURA Toshiya

野村 毅 田中 正夫 (大阪大学大学院)

NOMURA Tsuyoshi, TANAKA Masao

キーワード :

リハビリテーション、バイオメカニクス、継手剛性、片麻痺、底背屈角度 - モーメント関係

Keywords:

rehabilitation, biomechanics, orthotic joint stiffness, hemiplegia, plantar/dorsal flexion angle-moment relationship

Abstract:

Ankle-foot orthosis(AFO) is an important device for people with gait disorder such as of hemiplegia. Mechanical characteristics of AFO should be selected properly in accordance with the property of individual wearer's lower limb, since it is a key to guide the ankle motion. In this article, a portable instrument is prototyped to measure the plantar/dorsal flexional stiffness of plastic AFO and that of the AFO wearer's ankle joint. Using the instrument, ankle joint stiffness is examined for the passive dorsal flexion of twelve chronic hemiplegic patients after stroke, and examined as well is the plantar/dorsal flexional stiffness of their AFOs. The results showed a correlation between the dorsal ankle joint stiffness of individual patient and the stiffness of his/her AFO, although these values were scattered widely among patients. It was suggested that this kind of stiffness measurement of ankle joints and AFOs is useful to prescribe AFOs more rationally.

1 はじめに

脳卒中片麻痺等により歩行に障害を来した者にとって重要なツールに短下肢装具がある。慢性期における現状の短下肢装具は、形状については繊細な適合が図られるが、力学的特性については装着時の歩行の様子を見て試行錯誤的に行われるのが常であり、力学的観点から見て合理的に得られたものとは言い難い面もある。兵庫県立総合リハビリテーションセンターでは、短下肢装具の処方支援のため評価用短下肢装具を用意しているが、その剛性に関して定量的指標がなく、試用時の歩容などから試行錯誤的にタイプを決定しているのが現状である。プラスチック装具の要件として大切な形状の適合を満たしながら、力学的特性についても装着者関節の生体力学的特性に合わせて設計・製作することが重要であるが、それを実現するのは容易ではない。昨年度の本研究において、短下肢装具の力学的特性を臨床現場で簡便に調べられるシステムの必要性を指摘し、その試作機を用いた計測例を示した。本年度は、ヒト足関節の底背屈剛性をも計測できるよう、本システムに若干の変更を加える。また、これを用いて、脳卒中片麻痺者を対象に、生体側の関節の力学特性と、各人に処方された短下肢装具の力学的特性とを計測し、それら両者の間の定量的な関係について考察する。こうした計測評価装置を用いることで、多くの片麻痺者ら歩行障害者が生体力学的にも適切な短下肢装具を処方され、ひいては、より安全かつ歩きやすい短下肢装具を使用できるという波及効果が得られると考える。

## 2 短下肢装具および足関節剛性計測装置

### 2.1 剛性計測必要性と可搬形のねらい

現在脳卒中片麻痺者に使用されている慢性期用プラスチック製短下肢装具の剛性は、処方の際、また製作が終了し給付される際の適合判定においても定量的に確認されることは稀である。より良い処方が行われ、より適切な短下肢装具が製作されるためには、医師・理学療法士・義肢装具士らが短下肢装具の特性評価を必要とするとき、直ちにその場で計測・評価ができることが重要である。とくに、多数の評価用短下肢装具を用意し、適合評価を行っているような臨床現場においては、迅速な関節剛性評価は、装具処方における経験に基づく試行錯誤的プロセスに定量性を導入するとともに、評価用装具と処方により完成されてくる装具との同等性の試用前確認を可能とし、安全と適合の確保につながる。また、同じシステムを製作業者が活用することで、装具製作における修正の頻度を減じ、ひいてはコスト削減を図ることができると考えられる。さらには、このようなシステムで短下肢装具剛性に関するデータを蓄積することで、新しい装具設計に資することも期待できる。

### 2.2 装置の概要

剛性計測システムの全体像を図1に示す。これは端的に言えば1自由度モーメント・角度同時計測器であり、アタッチメントの変更により、測定対象を短下肢装具とするか、あるいは足関節とするかを簡単に切り替えられるよう工夫したものである。短下

肢装具の固定は、昨年度の報告のごとく、義足足部を用いて足底部を揺動台に、また、下腿部は短下肢装具自らのストラップを用いてナイロン製ストッキングネットを被せた石膏製下腿ダミーに装着することで行う。下腿ダミーは、装置への固定ジグを兼ねたT字形またはE字形のアルミ板を心材とし、既存の処方参照用シューホン形（靴べら式）短下肢装具を利用し大小2種類を製作した（図2）。足関節に関しては、シューホン形短下肢装具の踵部を切り出したヒールカップを取り付けた固定板を介して揺動台に固定する方式とした。足関節軸位置の調節は高さおよび前後それぞれの方向に、アルミ製スペーサ（1mmごとに5mm厚までを複数枚準備）により調節する。

### 2.3 データ収集・処理部

データ収集・処理部に変更は加えず次のとおりとした。

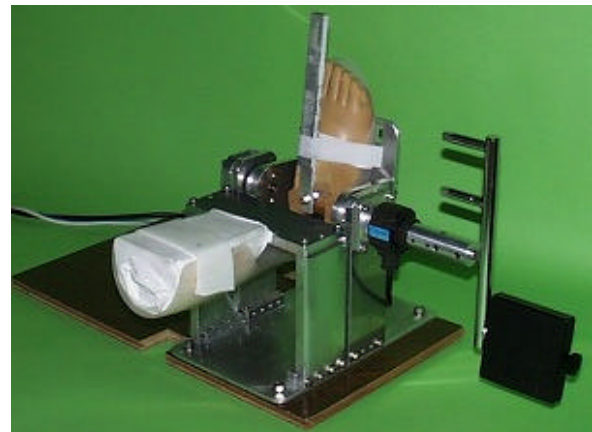


図1 剛性計測装置の全体像（足関節計測モード）と短下肢装具計測部（右上）

Fig.1 Total view of the measurement device

角度およびモーメントに応じた出力電圧を A/D 変換器(アドテック システム サイネス AXP-AD02@SP)を介してパソコン(東芝 DynabookSS、OS:Windows98SE)にサンプリング周波数 100Hz で取り込み、ほぼリアルタイムの表示および計測後のファイル保存を行うソフトウェアを Visual Basic で自製した。

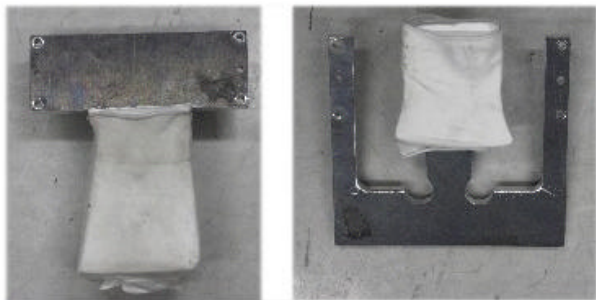


図2 下腿ダミーとその固定ジグ  
Fig.2 Shank dummies and jigs

### 3 足関節剛性および短下肢装具剛性の計測

#### 3.1 計測および評価項目

短下肢装具を常用している片麻痺者を対象に、前節の計測器を用いて、足関節背屈剛性(他動的に背屈もしくは一定角度に保持したときに発生する、単位角度あたりの底屈モーメント)と、各被験者が処方され使用している短下肢装具の底屈・背屈剛性とをそれぞれ計測する。これら個別の力学特性のほか、短下肢装具の底屈剛性と背屈剛性の比、および、足関節背屈剛性と短下肢装具底屈剛性の関係の評価も試みる。

#### 3.2 被験者

被験者は、脳卒中後遺症による片麻痺(慢性期)を呈するボランティア 12 名(表 1)であり、本研究の趣旨およびリスクを十分に説明し理解を得た。また担当 P T により計測にあたり問題のないことが確認された。いずれの被験者もシューホン形短下肢装具を使用し、要監視レベルを含め室内で単独歩行可能であった。

なお、被験者の平均年齢は  $50.0 \pm 8.7$  歳、発症後の平均経過月数は  $23.0 \pm 10.8$  であった。

#### 3.3 足関節剛性の計測

被験者には、高さ調節可能な寝台で、体幹直立、股・膝関節 90 度屈曲となる端座位をとらせ、必要に応じて体幹直立のための上肢による支持は許容した。なお、装置の揺動台が水平となる位置を初期

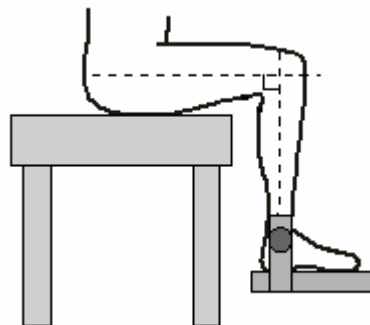


図3 足関節剛性計測時の姿勢  
Fig.3 Subject's posture



図4 足関節剛性計測の様子  
Fig.4 A scene of ankle stiffness measurement

表 1 被験者  
Table 1 Subjects

Subject	Age	Height (cm)	Weight (kg)	Sex	Hemi side	Br. stage	Months aft. onset
Hemi-1	58	160	55	F	Rt	3	41.2
Hemi-2	41	161	69	F	Rt	3	23.4
Hemi-3	44	163	62	M	Rt	3	20.0
Hemi-4	60	160	56	M	Rt	3	12.1
Hemi-5	65	147	48	F	Rt	3	37.7
Hemi-6	48	169	63	M	Lt	3	16.6
Hemi-7	47	162	55	F	Rt	3	6.2
Hemi-8	56	167	61	M	Rt	4	23.2
Hemi-9	47	165	68	M	Rt	4	37.4
Hemi-10	43	161	65	M	Rt	4	15.7
Hemi-11	35	161	57	M	Lt	4	17.6
Hemi-12	50	165	60	M	Rt	4	24.4

位置とし、健側には被験足と同じ高さになるよう足置台を設置した。

図4に足関節剛性計測の様子を示す。なお計測時の靴下の有無は、短下肢装具使用者の普段の状態に合わせたが、ほとんどのケースで靴下を装着し、その上から短下肢装具を装着していた。このようにして得られた角度 - モーメント関係から、底背屈0度から背屈5度にいる範囲における単位角度あたりの抵抗モーメントを足関節剛性と定義する。

### 3.4 短下肢装具剛性の計測

3.2節の被験者が常用している短下肢装具について、あらかじめ各被験者の装着静止立位時の足関節位置を、床面からの高さ・ならびに踵最凸部からの距離として記録しておき、短下肢装具を同装置に設置する際、その足関節位置と装置回転軸を合致させた。底屈約10度から背屈約10度まで繰り返し変形させ、初期角度から底屈側・背屈側それぞれ5度までの範囲における単位角度あたりの所要モーメントを短下肢装具剛性として算出した。

## 4 結果と考察

### 4.1 個別の足関節剛性および短下肢装具剛性

計測時間は、足関節軸位置の簡易計測およびアタッチメントの交換を含め1件あたり約15分であった。図5に被験者ごとの足関節背屈剛性を示す。また、図6に各被験者の短下肢装具の底屈剛性を、図7に短下肢装具背屈剛性ならびに各々の短下肢装具底屈剛性に対する比を各バーの上部に数値で示す。図5より、足関節剛性は0.1~0.6Nm/degに分布しておりバラツキも概して大きかった。図6および7より、短下肢装具底屈剛性は0.4~3.2Nm/degに、背屈剛性は0.9~3.7Nm/degにそれぞれ分布し

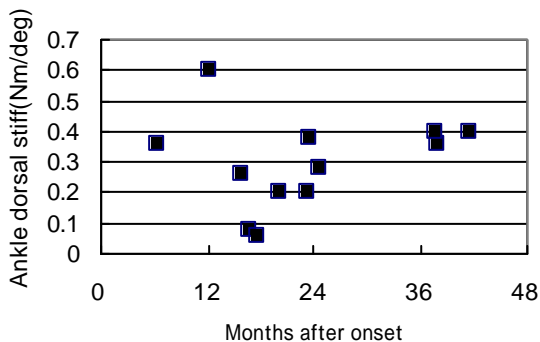


図8 発症後経過月数から見た背屈剛性  
Fig.8 Ankle stiffness vs. period after stroke

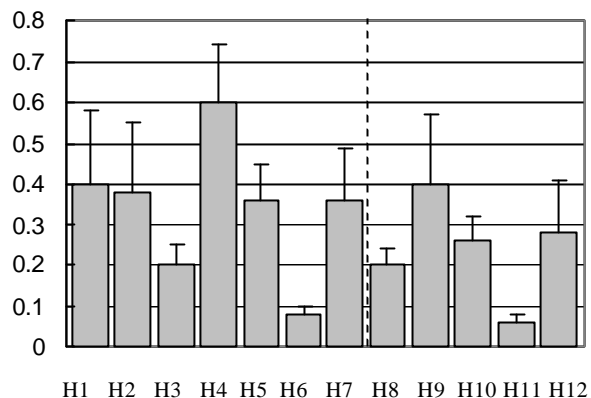


図5 各被験者の足関節背屈剛性 (Nm/deg)  
Fig.5 Dorsal stiffness of hemiplegic ankle joint (Nm/deg)

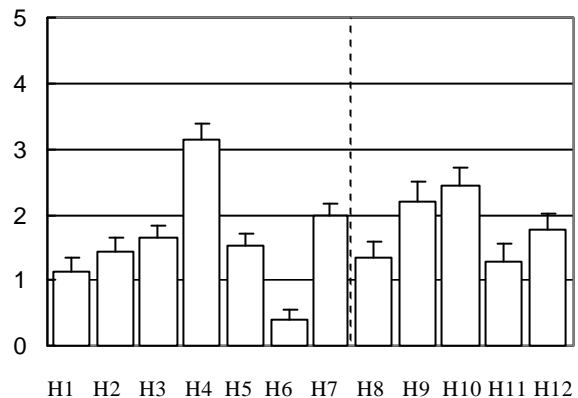


図6 各装具の底屈剛性 (Nm/deg)  
Fig.6 Plantar stiffness of patients' AFO

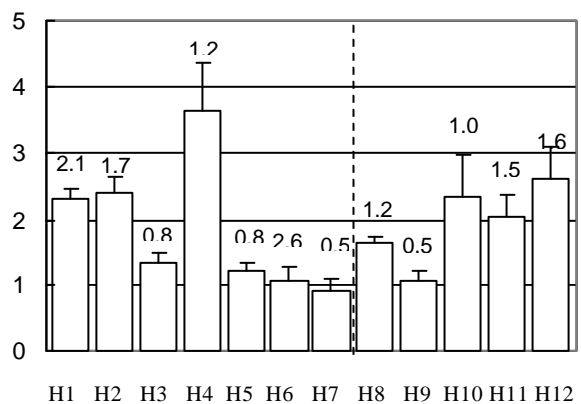


図7 各装具の背屈剛性 (Nm/deg)  
Fig.7 Individual AFO dorsal stiffness  
The numbers above each bar indicate the ratio of dorsal stiffness to plantar

ており、後者は前者のおよそ 0.5 倍～2.6 倍の大きさとまちまちであった。

#### 4.2 足関節背屈剛性と短下肢装具底屈剛性の関係

図 8 に、発症後経過月数に対する足関節背屈剛性の分布を図示する。これより、全体として時間経過による変化の兆候は現れていないといえる。次に、短下肢装具の機能として最も重要と考えられる遊脚期の底屈防止に関連して、足関節背屈剛性と短下肢装具底屈剛性について検討する。図 9 に、横軸に足関節背屈剛性、縦軸に短下肢装具底屈剛性をとった散布図を示す。なお、同図上の実線は一回帰直線であり、破線は正規分布を仮定して計算した 95% 信頼区間を示している。この図の示すとおり、両者の間には正の相関があることがわかる（相関係数 0.77）。ただし、処方された短下肢装具の底屈剛性は各装着者の足関節背屈剛性の平均約 6.6 倍となっている。12 名中 7 名の被験者について膝伸展位（仰臥位）における足関節背屈剛性を計測したところ、今回の膝 90 度屈曲位（端座位）の約 3.7 倍になっていた。他の被験者についても膝伸展位における足

関節剛性の方が膝屈曲位におけるそれよりも同程度に大きいとすると、短下肢装具底屈剛性は、足関節剛性に対して 1.8 (6.6/3.7) 倍程度の余裕があることになる。

発症後の経過月数に従って関節剛性が減少するとはいえないことは図 8 で見た。したがって、上記の短下肢装具剛性の大きさは処方時の足関節剛性に合わせた結果とも考えにくい。

足関節の剛性が、歩行運動訓練後には訓練前の約 60% 程度に減少する例が見られた。今回の計測では、計測を行った訓練室までの運動様式は規定しておらず、直近の運動状況により、足関節剛性が一時的に低下した状態での計測データを含む可能性があることに留意しなければならない。今後、この点に注意を払いながらデータを蓄積する必要があるが、経験から導かれた短下肢装具剛性が大変妥当なものとなっている可能性が認められる。

以上、データ数が少ないため、推測の域を出ないが、経験と試行錯誤に基づく短下肢装具の力学特性

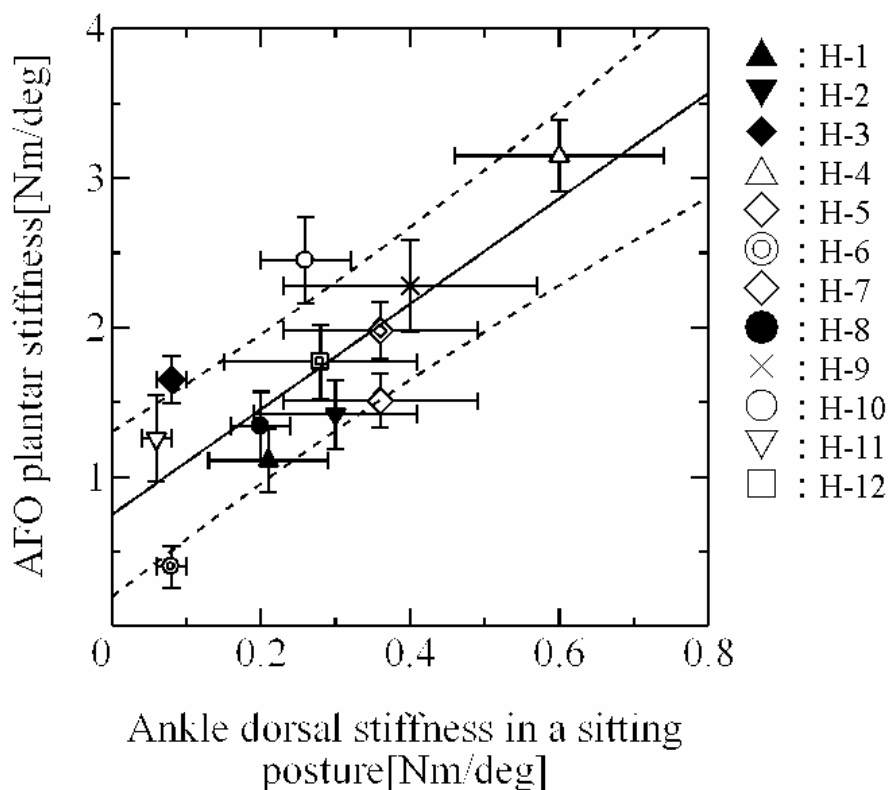


図 9 短下肢装具背屈剛性と装着者本人の底屈剛性の関係

Fig.9 Relationship between dorsal stiffness of hemiplegic ankle joints and plantar stiffness of AFOs

が、装着者の生体力学特性に合致するよう処方されている様子が伺われた。ただし、個別の短下肢装具剛性値を見ると、平均レンジから大きく逸脱しているものもあり、経験にもとづく処方をより Evidence Based にしていくためには、本研究のような評価システムを用いて、生体ならびに短下肢装具の特性確認を随時行っていくことが肝要と考えられる。

## 5 おわりに

臨床現場で足関節および短下肢装具の力学特性を評価するシステムの実現をめざし、持ち運び可能な特性計測装置を試作した。また、これを用いて片麻痺者足関節と彼らが使用する短下肢装具の力学特性を行い、定量的な結果を例示するとともに、両者の関係について考察した。本試作システムは、簡便に足関節・短下肢装具剛性を評価することができ、さらに計測時間を短縮するための改良を行うことで有用なツールとなり得ると考えられる。そうして蓄積されたデータから、より妥当な装具処方の考え方や、新しい継手機能を持った短下肢装具の開発に繋がることを期待できる。

## 謝辞

短下肢装具計測に多大なるご協力頂いた短下肢装具ユーザの皆様、ならびに、ご助言を賜った兵庫県立総合リハビリテーションセンター理学療法士諸氏に感謝いたします。また、機構アイデアの一部と製作全般は甲南医療器に委託したものです。

## 参考文献

- 1) 赤澤康史、中川昭夫、松原裕幸、中村俊哉、野村毅、田中正夫：「プラスチック製短下肢装具剛性簡易計測システムの開発」、福祉のまちづくり研究報告集平成 15 年度、pp.193-198、2004