

骨折患者のリハビリテーション用荷重コントロール装置の開発

Development of the load control device for rehabilitation of the bone fracture patient

○ 布施泰史 (宮崎県工業技術センター) 平尾景造 (有限会社マキタ義肢製作所)

鳥浦哲也 (潤和会記念病院) 中城寿隆 (株式会社マイクロ電子サービス)

Yasufumi FUSE, Miyazaki Prefecture Industrial Technology Center

Keizo HIRAO, Makita Artificial limb Factory Co., Ltd.

Tetsuya TORIURA, Jyunwakai Memorial Hospital

Toshitaka NAKAJYO, MicroElectronics Service Co., Ltd.

Abstract: In this study we investigated developed the device which measure the walk load of the bone fracture patient. There is the instruction of the doctor to hang partial load such as 1/3 and 1/2 of the total weight to reduce the burden to bone fracture lower limbs at the initial stage of the walk training. Elderly person that was reduced of sensory function is difficult the scale -style training. This paper examines result of walk training that we used the device attached two load sensors to the brace bottom .

Key Words: Load Sensor, Bone Fracture Patient ,Stroke Patient, Partial Load, Short Leg Brace

1. 緒言

転倒や交通事故等の接触事故において下肢を骨折した患者や脳卒中などにより歩行訓練を必要とする患者のリハビリテーションは、平行棒や杖を用いた歩行訓練からスタートするケースが多い。まず初めに、患足側（骨折側）への負担を低減させるため全体重の1/3、あるいは1/2といった部分荷重を患足側にかけるよう医師の指導がある（荷重コントロールの指示）。しかしながら、現状では体重計に患足を載せ、負荷をかける荷重を感覚的に患者自身が覚え込む必要があり、特に、高齢により感覚機能が低下した患者にとっては、このような部分荷重を体得する訓練方法が難しく、荷重コントロールできないなど新たな訓練機器のニーズが高まっていた。

当研究グループの潤和会記念病院は、宮崎県最大のリハビリテーション病院であるが、歩行訓練の方法は従来から用いられている前述の体重計方式であり、手軽に荷重コントロールできる装置開発を望んでいた。このような背景から高齢者や歩行障害者の早期リハビリテーションを目的とした研究が各方面でなされている。

例えば、インソール型（中敷き）の圧力センサを用いて足底圧を計測し歩行姿勢を判別するもの⁽¹⁾、導電性ゴムを多孔ゴムシートで積層し、足底荷重を面荷重とし捉えた専用靴にセンサを取り付けたもの⁽²⁾、3軸力覚センサを多数配置した荷重測定器を踏み込み、足底に加わる3分力を計測する歩行分析計を狙ったもの⁽³⁾などが挙げられる。前述のインソール型のセンサは、靴などに簡便に挿入できるなどメリットもあるが、踵骨やMP関節など分節ごとの部分荷重を正確に計測できるかが容易でないという課題もある。また、センサ靴⁽²⁾においても内反などの足部変形のある脳卒中患者などは靴式では対応できないなどのデメリットもある。そこで我々は、これら前述の問題を解決するため骨折患者以外に脳卒中などの足の変形にも対応ができる専用装具を製作し、足底に荷重センサを2個装着することで踵骨やMP関節の分節ごとの荷重を検出できる装置開発を行った。本稿では、研究で開発した短下肢装具型荷重センサの装具機構や荷重センサの配置、荷重コントロール制御装置について紹介し、健常者、患者での評価試験結果について報告する。

2. 装具型荷重コントロール装置の構成

本研究で製作した装具型荷重コントロール装置を Fig. 1 に示す。装置は、荷重センサ（Load Sensor）を足底に装着した専用短下肢装具と荷重量を演算し数値を表示する荷重コントロール部で構成される。荷重センサは、フィルム上の抵抗体素子（FlexForce:ニッタ製）のセンシングエリア直径9.5mmφに力を加え、その力に反比例して抵抗値が変化する。その特性を利用し、荷重コントロール装置内のマイコンで数値化し荷重値を表示する仕組みである。被験者は、現在の荷重値と指定した制限荷重値（部分荷重）を視覚的に確認できる。さらに、制限荷重値で警告音がメロディとして呈示されることから聴覚的な訓練も支援できる。

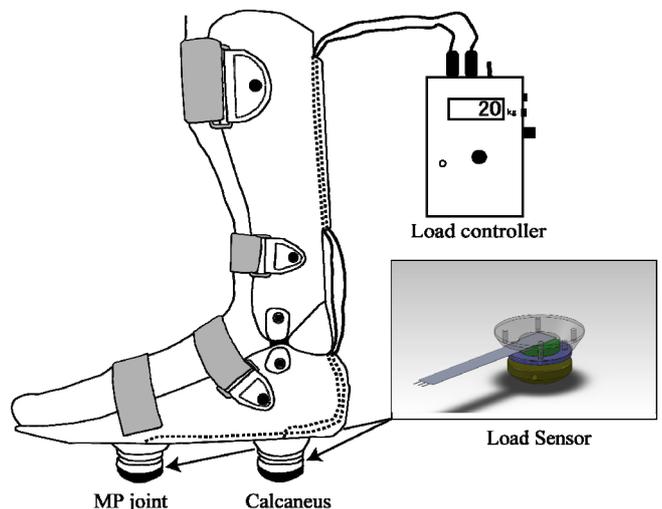


Fig.1 Configuration of Brace type Load controller

2-1 短下肢装具について

対象者が骨折や脳卒中患者であることから足の変形などを考慮し、つま先から膝下までを固定するポリプロピレン製の短下肢装具を製作した。また、足関節角度をフリーにするため足首の位置にタマラック継手を取り付けた。このことにより、足首の上下の動き（背屈・底屈フリー）のみとなり、横方向の動きを制限することで足の変形した患者への装着が可能となった。

2-2 荷重センサの特性

筆者らは、Fig.1の荷重センサ単体の特性を検証するため荷重に対する抵抗値の関係を実験で確かめた。荷重値に関してはニュートン表記ではなく、医療・患者側に馴染みのあるキログラム表記として実験を行った。Fig.2は、横軸に荷重値(W)、縦軸に電気抵抗値(R)を表したものである。5kgから45kgまで5kgごと順方向に加重した結果を曲線a(Weight)、その逆方向に抜重した結果を曲線b(Pull weight)で示した。荷重センサは0~最大45kgまで計測できる。同じ力を加えたときに加重方向と抜重方向で出力差が生じることはヒステリシスの影響であることから、2曲線間の近似値を求め電気回路的な対策として、可変抵抗を用いるなど傾きを補正する対策を検討した。

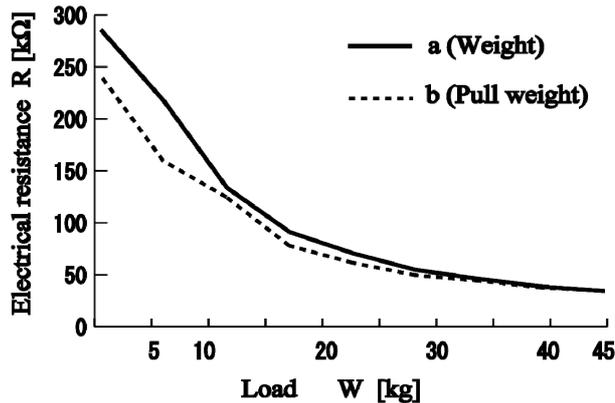


Fig.2 Experimental results of Load and Electrical resistor

2-3 下肢への装具装着と高さ調整

開発した装具型荷重コントロール装置の下肢への装着について説明する。Fig.3に示すように患側装具の足底には高さ33[mm]の荷重センサが装着されていることから、健側側との高さ調整が必要となる。そこで患足と健足が同じ高さになるように健側足底に補高(アジャスター)を取り付けた。また、踵骨やMP関節の分節ごとの荷重量を検出する目的から、2個の荷重センサは140~170[mm]間に配置できる構造とした。

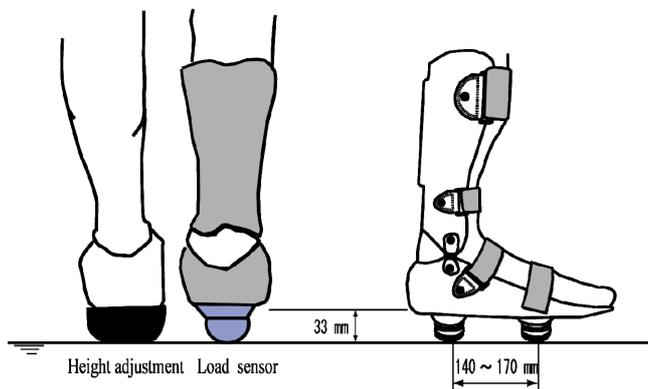


Fig.3 Floor level and brace of standing

2-4 歩行イメージについて

実際の歩行イメージはFig.4のような動きをとる。歩行中の短下肢装具の動きは山本ら⁽⁴⁾によって報告されている。図中の左から立脚初期で踵接地となり、踵部の荷重センサが感知し、次の立脚中期で踵部とMP部両方の荷重センサが感知する。立脚後期では、MP部の荷重センサで踏込みつま先が離れ遊脚期へと移行する。

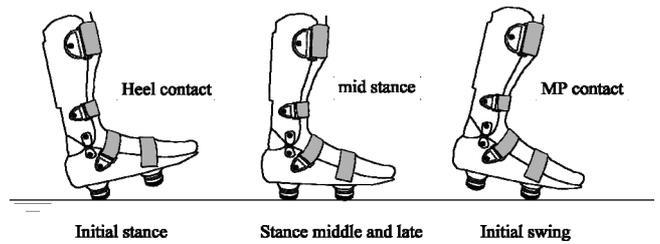


Fig.4 Ground pattern of one cycle walking

3. 臨床評価

3-1 健常者における荷重精度の事前評価

従来から用いられている体重計方式の精度について、家庭用体重計の数値表示部にビデオカメラをセットして、健常者5名(男性4名、女性1名、平均年齢34.2±6.6歳)の歩行時の踏込荷重を確かめた。健常者には一定の部分荷重(目標値20kg)で松葉杖歩行を実施してもらった。結果、家庭用体重計では最高±15kgの目標値からの誤差が生じた。一方、荷重コントロール装置を用いて同様の実験を行ったところ、目標値から±5kg以下に抑えることが可能となった。このことは、装置側の警告音を聴覚側で判断するまでである一定時間を要し、反射的に下肢を遊脚させるタイミングに遅れを生じたことによるものと推測される。結果、5kg程度の荷重がオーバーしたものと考えられる。したがって、患者における臨床評価は、部分荷重の目標値に対して75%程度で警告音が鳴る設定とし、過荷重になるリスクを低減するよう配慮した。

3-2 骨折患者での臨床評価

部分荷重制約を受けている骨折患者3名(病院内倫理委員会承認、患者の同意書取得済)の協力を得て、立位、歩行訓練など通常実施されている運動療法の範囲内でFig.5(患者A)のような実験を開始した。患者の年齢、性別、体重、制限荷重はTable1のとおりである。患者は、あらかじめ設定した制限荷重値(Limit load)を警告音として聴覚で確認し、装具を遊脚させることになる。



Fig.5 Clinical evaluation

Table 1 Experimental condition

Patient	A	B	C
Age/Sex	37/M	79/F	62/F
Weight [kg]	61	38	46
Limit load [kg]	20~30	12~19	15~23

3-3 実耐久性試験

今回開発した装具型荷重コントロール装置の耐久性や実用性を確認するため、院内で実験を行った。実験前校正は、体重計の上に装具装着した患足をのせ、荷重コントロール装置側の数値が体重計の指示値と合うように可変抵抗でその都度調整した。評価は、歩行訓練ごとの歩数、使用期間を記録し、体重計との誤差が $\pm 2\text{kg}$ 以内に調整できなくなった時点で耐久性試験終了とした。装具Ⅰは患者A、装具Ⅱは患者B,Cが共通で使用した。Fig.6に患者B、Fig.7に患者Cの実験状況、Table 2に臨床評価の管理データを記す。



Fig.6 Patient B



Fig.7 Patient C

Table 2 Clinical evaluation data management

Type	Trial period [days]	Defect number of steps	Distance conversion[km]
Brace I	120	39,000	23.4
Brace II	60	21,000	12.6

結果、装具Ⅰでは120日間で約39,000歩、距離に換算して約23.4km(60cm/歩とした場合)まで訓練が実施できた。一方、装具Ⅱについては、60日間で約21,000歩、距離に換算して約12.6kmまでとなった。今回の実耐久性試験は足底に取り付けた荷重センサの荷重精度の限界値、例えば歩数にして何歩程度で不具合を生じるかを確かめる実耐久性試験の一つとして行った。装具ⅠとⅡにおいて不具合までの期間に違いがある要因としては、装具Ⅱが2名並行しての実験であったことによるものと考えられる。さらに、荷重センサの初期実験の結果としては、部分荷重(12~30kg)使用の場合、装具ⅠⅡの平均値換算で歩数約30,000歩、同様に距離に換算した平均値は18.0km程度が使用限界値として実験で求められた。

3-4 アンケート調査

臨床評価後にアンケート調査を行ったところ、次のような意見をもらった。

- (1) 見かけよりも履き心地は安定していた。
- (2) 歩幅や歩隔を気にしないで歩ける。
- (3) 音で確認できるので、前屈みの姿勢を取らなくてすみ、正しい姿勢での立位歩行訓練ができるようになった。
- (4) スロープや階段昇降等の応用歩行にも荷重コントロール下で使用できる。

4. 考察

本稿では、骨折患者等の歩行訓練を支援する短下肢装具型荷重コントロール装置を開発し、これを用いた健常者での予備実験と患者3名での臨床評価を試みた。その結果、健常者で行った従来から用いられている体重計方式の精度実験については、家庭用体重計では最高 $\pm 15\text{kg}$ の目標値か

らの誤差が生じた。一方、荷重コントロール装置を用いて同様の実験を行ったところ、目標値から $\pm 5\text{kg}$ 以下に抑えることが可能となり、本研究で開発した荷重コントロール装置の効果が確認された。

一方、患者3名での臨床評価は、耐久性評価のための管理データ取得と使用後の意見を調査した。実耐久性試験の結果から荷重センサの使用限界値がⅠⅡ装具の平均値ではあるが、歩数にして約30,000歩、距離に換算して約18.0kmまで使用できることが確認できた。

5. 結言

- (1) 健常者での部分荷重精度の実験において、体重計方式と荷重コントロール装置を使用比較した結果、荷重コントロール装置の目標値からの誤差は、体重計方式の1/3以下に抑えることが可能であることを実験で確認した。
- (2) 患者へのアンケート調査結果において、使用感、利便性および応用性について概ね好評であった。
- (3) 荷重センサの実耐久性試験から通常の部分荷重使用の場合(12~30kg)、約30,000歩で使用限界値に達することが確認された。
- (4) 今回開発した装具型荷重コントロール装置(警告音付き)は、聴覚をとおして目標値を正確に捉えることができることから特に高齢患者などの歩行訓練として利用が期待できるのではないかと考えられる。
- (5) 踵骨やMP関節の分節ごとの荷重を検出できることから、歩行周期ごとの接地荷重が確認できることが可能となった。

今後、臨床評価をさらに増やし早期リハビリに寄与できるよう研究の実用化を図る予定である。

謝辞

本研究は、平成23年~24年にわたって公益財団法人 宮崎県産業振興機構(産学官連携推進事業、R&D)の支援を得て実施したものである。記してここに謝意を表す。

参考文献

- (1) 那須幸平, 筒井隆夫ら, 足底荷重と姿勢との関係, 第25回産業医科大学学会総会学術講演会, 113, 2008.
- (2) 松本国裕, 若吉浩二ら, 靴型荷重測定装置を用いた運動処方への適応, びわこ成蹊スポーツ大学報告[スポーツ開発・支援センター年報], 8巻, pp.9-16, 2011.
- (3) Wataru ADACHI, Nobutaka TSUJIUCHI, Measurement of Plantar Force Using Distributed Triaxial Force Sensor, Report of DOSHISHA University, vol.53, no.3, pp.13-20, 2012.
- (4) 山本澄子, 江原義弘ら, 片麻痺者の歩行と短下肢装具, 医歯薬出版, pp.114-115, 2005.