

空気圧人工筋を用いた免荷式歩行訓練システムの開発

～歩行フェイズ検出プログラムの開発～

Development of Body Weight Support Gait Training System Using eumatic Mckibben Actuator

～ Development of walking parameter detection program ~

○大島達也（芝浦工業大学） 川上 拓真(芝浦工業大学) 野口 洋平(芝浦工業大学)

柴田芳幸(東京都立産業技術高等専門学校) 山本 紳一郎(芝浦工業大学)

Tatsuya OHSIMA, Shibaura institute of technology
Takuma KAWAKAMI, Shibaura institute of technology
Yohei NOUGUCHI, Shibaura institute of technology
Toshiyuki SHIBATA, Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology
Shin-ichiroh YAMAMOTO, Shibaura institute of technology

Abstract: Body Weight Support Gait Training system (called Air Gait) using the Pneumatic Mckibben Actuator for power of the lower extremity orthosis has been developed fopr sereral years. Gait parameter (such as Gait speed, step length, gait cycle and spatio-temporal element) are often used for evaluation of the effect of the gait rehabilitation. However, previous studies have not been measured walk parameter by using the current system yet. The purpose of this study is to detect heel strike and toe off that are used for calculating the gait phase. The gait phase was then decided to incorporate to the control system of the system introduces a useful research tool which can help to improve our understanding of human gait and allow us apply a new method in gait amaluzing and rehabilitation.

Key Words: Rehabilitation, Body Weight Support Gait Training, Heel strike, Toe off, Gait

1. 研究背景

脊髄損傷者の歩行機能の回復には、免荷式トレッドミル歩行訓練が有効であると Wernig らによって初めて報告され⁽¹⁾，その後，他の多くの研究者によって報告されている。さらに Colombo らは免荷式トレッドミル歩行訓練を行うことを目的とした Driven Gait Orthosis(Lokomat)を開発⁽²⁾し，免荷式歩行訓練システムの有効性を報告した⁽³⁾。

我々のグループでも，下肢装具の動力に空気圧人工筋を用いた免荷式歩行訓練システム(Air Gait)の開発(Fig.1)を進めてきた。空気圧人工筋はヒトの筋と同様に収縮して力を発揮するアクチュエータである。本免荷式歩行訓練システムでは，空気圧人工筋をヒトの筋骨格系と同様に配置することで，患者の麻痺筋の部位や程度に合わせてアシストを行うことを目指している。

患者のリハビリテーションの効果を評価する為の指標には，歩行速度や歩幅，歩隔，ケイデンス，歩行周期，遊脚期や支持期に分けられる歩行フェイズなどといった歩行パラメータが挙げられる。現在我々のシステムでは床反力計付トレッドミルによって，垂直抗力と Center of Pressure(COP)の軌跡検出できているが，装具のリハビリテーションのアシスト制御や免荷装置の制御，トレッドミルの速度制御などの計測制御系に組み込めていない。また，患者の前方に歩行パラメータをリアルタイムで表示することで訓練のフィードバックやモチベーションの維持することが可能になり，セラピストがリアルタイムで確認することで事故の防止や訓練のアドバイス，患者にあったリハビリテーションを行うことができるようにしたい。

従って，本研究は床反力計で踵接地とつま先離地をリアルタイムで検出することにより，歩行パラメータを算出し，制御系に組み込みことを目指しており，今回の報告では，踵

接地検出プログラムとつま先離地検出プログラムの精度に関して発表する。



Fig.1 Air Gait

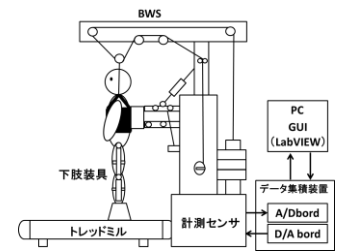


Fig.2 System Configuration

2. 実験

2.1 システム構成図

本免荷式歩行訓練システムは，制御部，動力付装具部，免荷装置(BWS)，床反力計付ダブルベルトトレッドミル(ベルテック・ジャパン製W1500)で構成されている(Fig.2)。また，動力付装具とトレッドミルは，システム開発ソフトウェア LabVIEW(National Instruments 社製)を用いて制御を行っている。

2.2 プログラム

今回作製した Hee Strike Detection (HSD プログラム)プログラムと Toe Off Detection プログラム(TOD プログラム)は，床反力計付トレッドミル(Fig.3)の上を歩行することによって得られる COP の軌跡(Fig.4)と四隅に内蔵された一軸ロードセルの値を用いて算出した。プログラムのフローチャートは Fig.5.6 に示した。それぞれのプログラムの出力は右の踵接地，つま先離地時に R，左の踵接地，つま先離地時に L が出力されるように設定した。

2.3 アルゴリズム

プログラムは，COP の軌跡の位置とトレッドミルに内蔵

された四隅の一軸ロードセルと被検者の体重から算出した閾値を用いて検出した。アルゴリズムは、COPのX,Y軸方向の位置と速度、トレッドミルの前方に設置されたロードセルの値が閾値を超えた時と、後方に設置されたロードセルの値が閾値を下回った時に検出を行った。

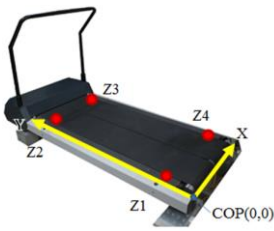


Fig.3 Treadmill

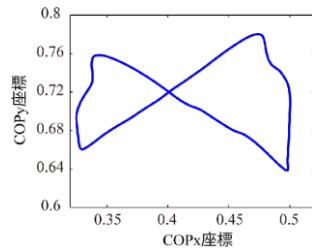


Fig.4 COP Trajectory

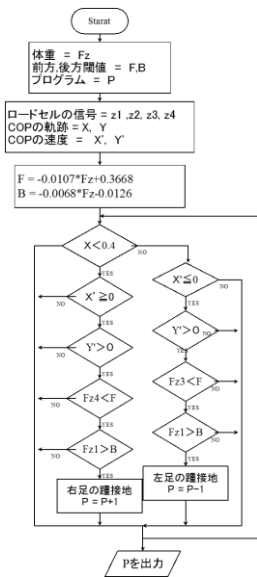


Fig.5 HSDprogram

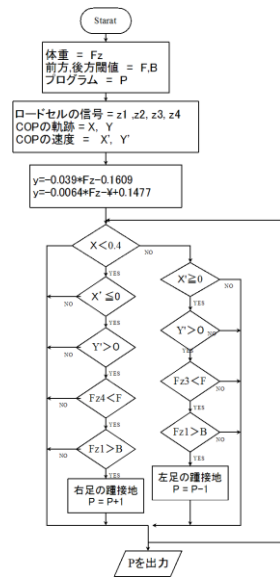


Fig.6 TODprogram

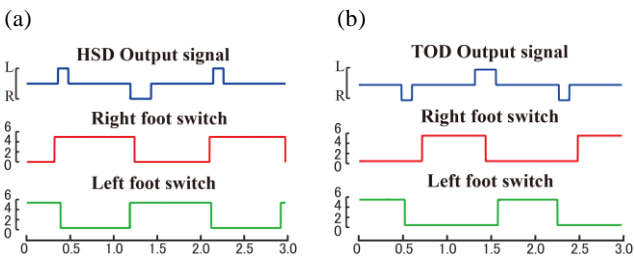


Fig.7 An example of a walking data
(a):HSD program, (b):TODprogram

2.4 解析方法

プログラムの精度を感圧センサの foot スイッチ(株式会社ディケイエイチ社製)用いて評価した。foot スイッチを被検者の両足の拇指球と踵に装着し、プログラムとの反応の合致率と反応のずれを検証した。

合致率は、foot スイッチが踵接地、つま先離地の瞬間を検出してから±0.20[sec]以内にプログラムが反応しなかったものを合致しないものとした。

反応のずれは、foot スイッチとプログラムが合致した際に、foot スイッチと何秒ずれているかを算出した。

2.5 実験

プログラムの精度の検証を行った。被検者には通常歩行と 10%、30%、50%の免荷と免荷なしで片膝を固定して行

う 5 パターンを歩行してもらった。トレッドミルの速度を 2.0[km/h]とし、10 分間のアダプテーションを行ってから、1 分間計測を行った。

被検者は通常歩行は健康成人男性 3 名で(age23.3±0.6[year], height167.4±8.5[cm], Weight58.8±6.4[kg])行い、通常歩行は、そこに 1 名加えた健康成人男性 4 名 (age23.3±0.9[year], height170.2±7.2[cm], Weight58.8±6.2[kg])で行った。

計測項目は、プログラムから得られたデータと foot スイッチから得られたデータとし、サンプリング周波数は、1000Hz とした。

3. 結果

実験の結果を Fig.8, 9 に示す。Fig.8 は、パターンごとの平均合致率を示している。全てのパターンでの平均合致率 HSD プログラムは 89.44%, TOD プログラムは 89.04%の合致率となった。パターンごとに比較すると通常歩行が一番高く、免荷歩行は免荷量が増えるごとに合致率が減少していく傾向が見られた。また、片膝を固定するパターンは、TOD プログラム通常歩行と比較すると減少した。Fig.9 は、各パターンの反応のずれの平均を示したものである。これは全ての条件でどのプログラムの方でも早く反応する結果となった。また、免荷量が増えるごとに反応のずれが大きくなっていく傾向が見られた。

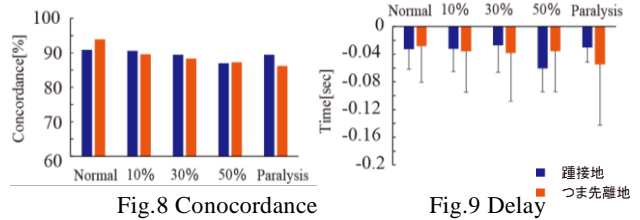


Fig.8 Concordance

Fig.9 Delay

4. 考察

今回の結果より、通常歩行での計測に使用できると考えられる。また、反応のずれはパターンでプログラムの方が foot スイッチより早く反応する結果となった。反応のずれは foot スイッチの装着する位置によって、反応が遅れることからプログラムの結果は妥当であると考えられる。また、免荷量が増えるごとに反応のずれが大きくなっていくのは、今回使用した免荷装置がカウンターウェイト方式であったため、歩行中の免荷するための錘部分の動きが歩行に影響が出たことが原因だと考えられる。

5. 今後の課題

今後は、被検者のデータを増やしていくことでプログラムの改良を行い、精度の向上と反応のずれを小さくしていく。COP から検出できない場合(約 10%)は、履歴データから推測できるプログラムで補填することを計画している。また、免荷方法として、現在カウンターウェイト方式ではない空気圧人工筋を用いた免荷装置を開発しているため、その方式で実験を行い精度を確認したい。

今後は、今回作成したプログラムを用いて、歩行フェイズ検出と他の歩行パラメータの算出を行い、装具やトレッドミルなどの制御系への組み込みを目指していく。

6. 参考文献

(1)Wernig A et al.Eur J Neurosci:Apr 1: 823-829, 1995
(2)Colombo G et al.J Rehabil Res:Dev.37: 693-700, 2000
(3)Dietz V et al. Brain 125 : 2626-2634, 2002