
下肢切断者等の歩行訓練支援システムに関する研究

An Analysis of Gait with Lower Limb Prosthesis

原 良昭 赤澤康史 中村俊哉 松原裕幸

HARA Yoshiaki, AKAZAWA Yasushi, NAKAMUARA Toshiya, MATSUBARA Hiroyuki

陳 隆明 前田慶明 加藤真澄 (兵庫県立総合リハビリテーションセンター)

CHIN Takaaki, MAEDA Toshiaki, KATO Masumi (Hyogo Rehabilitation Center)

キーワード：

大腿義足、習熟度、定量的評価手法

Keywords:

Trans-femoral prosthesis, Proficiency, Quantitative evaluation method

Abstract:

The purpose of this study is to reveal characteristic of gait with lower limb prosthesis to evaluate an ability of the gait. Two trans-femoral amputees participated in this study. Level gait with lower limb prosthesis on treadmill were subjectively evaluated by five physical therapists, and a period from full extension of knee joint at the end of the swing phase to the initial contact measured at the same time. Better subjective assessments of the gait by physical therapist were inversely proportional to the period. These results raise the possibility that the period will be one of index to evaluate the proficiency of the gait with trans-femoral prosthesis.

1 はじめに

大腿切断者にとって大腿義足を用いた歩行（以下、義足歩行）に習熟していくことは自立可能な日常生活動作を拡張し生活の質を高めていくうえで重要な要素となる。義足歩行の習熟過程では、切断者は医療スタッフから義足歩行時における歩き方（以下、歩容）の評価を受け、その評価に基づき義足歩行の練習を行っている。

義足歩行時の歩容は、歩幅や歩行速度・各関節角度といった定量的指標だけではなく、医療スタッフの臨床経験に基づく知識（以下、経験知）によって定性的・主観的にも評価されている。

経験知による評価を適切に行うには、医療スタッフがある程度の臨床経験を重ねている必要がある。しかし、義足歩行の練習を主として担当する理学療法士（Physical Therapist：PT）は、その養成校の急増を受けて、臨床経験が少なPTが増加している（平成19年5月時点におけるPTの約10%が免許取得1年未満である¹⁾）。

また、医療行為に科学的根拠を示すという観点から、評価者によって評価が異なることがある経験知による主観的な評価ではなく定量的指標による客観的な評価が求められている。

これらの理由により、PTが経験知によって評価している内容から、義足歩行時の歩容を定量的に評価できる指標を確立することが求められている。

本研究では、現在、定性的・主観的に評価されている項目を定量的・客観的に評価する手法を開発することで義足歩行訓練に携わる医療スタッフの支援を目的とする。

一般的な大腿義足には膝関節の伸展・屈曲機能を補う膝継手と呼ばれる部位があり、一般的な義足歩行では、初期接地直前に膝継手は伸展できる最大まで伸展する。²⁾

筆者は、臨床現場で義足歩行者に接するうちに、初期接地直前に生じる膝継手の完全伸展（以下、膝継手完全伸展）から初期接地までの時間が短いと感じる義足歩行者のほうが義足歩行に習熟しているとの印象を感じるようになった。この印象を受けて、筆者は「膝継手完全伸展から初期接地までの時間が義足歩行の習熟を示す評価項目の1つとして有用である」との仮説を立て、本研究では、この仮説に基づき、膝継手完全伸展から初期接地までの時間とPTの主観による義足歩行の評価を比較し、この時間が義足歩行の習熟を評価する項目として有効であるかを検討した。

2 実験内容

本年度は以下に示す3つの事柄を行った。まず、筆者が感じた印象、「膝継手完全伸展から初期接地までの時間が短いと感じる義足歩行者のほうが義足歩行に習熟している」に対するPTの意見を質問票による調査により求めた。

次に、膝継手完全伸展と初期接地によって義足下腿部に生じる加速度信号の特徴を求めた。

最後に、2名の義足歩行者のPTの評価と各義足歩行者の加速度信号の比較を行った。

2.1 理学療法士への質問票調査

5名のPTに、義足歩行者の評価に「膝継手完全伸展から初期接地までの時間」が有用であるか否かの質問票調査を行った。

2.2 歩行時における義足下腿部の加速度信号の解析

膝継手完全伸展時には、膝継手の可動部と膝継手の回転範囲を制限する部位が衝突するため、その部位に接触スイッチを取り付けることで、膝継手完全伸展の時刻を測定できる。しかし、膝継手の種類によっては膝継手完全伸展によって接触する部位が露出しておらず、接触スイッチを取り付けるために膝継手を分解する必要があるものがある。臨床現場での測定を念頭に置くと、膝継手の分解にかかる時間や人手、また、分解すると膝継手の製造会社からの保証が受けられなくなることから接触スイッチ以外の手法で膝継手完全伸展の時刻を推定する必要がある。

膝継手完全伸展では、膝継手の内部の部品の衝突により義足下腿部に特徴的な加速度信号が生じている可能性がある。また、義足歩行ではないが、フットスイッチと膝関節に生じる加速度の同時計測が行われており、加速度信号が急激に変化した時刻と踵接地の時刻がほぼ一致しているとの報告がある³⁾。したがって、義足下腿部の加速度から、膝継手完全伸展や初期接地の時刻を推定できる考えられる。

本研究では、定常状態に達したトレッドミル歩行(3.5km/h)時の義足下腿部の加速度信号および接触スイッチを用いて膝継手完全伸展と初期接地の時刻を測定した。被験者には転倒を避けるため、歩行時はトレッドミルの両側にある支持バーを把持させた。

被験者はOssur社製膝継手(Total Knee 2000)を使用している片側大腿切断者1名である。

3軸加速度センサ(S&ME社製、圧電容量型、計測可能範囲±10G)は、センサの各感度方向が静止立位時の矢状-水平時軸、垂直軸、前額-水平軸と一致するように義足下腿部に取り付けた。また、測定された加速度を、それぞれ、矢状-水平軸加速度、垂直軸加速度、前額-水平軸加速度と呼ぶこととする。

初期接地と膝継手完全伸展の時刻は2つの厚さ1mmの導電性ゴム製接触スイッチ(以下、SwA、SwB)を用いて推定した。

SwAは足部の踵部に設置し、SwAがOffからOnになった時刻を本研究では初期接地の時刻とする。

Total Knee 2000は完全伸展時に衝突しあう部分が露出しているため(図1)、完全伸展時に衝突しあう部位にSwBを設置し、SwBがOffからOnになった時刻を本研究では膝継手完全伸展の時刻とする。

各信号はサンプリング周波数1kHzでS&ME社製携帯型データロガー(BioLog2000)に取り込んだ。

2.3 義足歩行者の理学療法士による主観的評価と義足下腿部の加速度の比較

被験者は片側大腿切断者Sub1(膝継手:Total Knee 2000)とSub2(膝継手:4軸インテリジェント膝継手)の2名である。

定常状態に達したトレッドミル歩行(3.5km/h)時の義足下腿部の加速度を測定し、同時に被験者の側面から矢状面のビデオ画像を撮影した。被験者には転倒を避けるため、歩行時にはトレッドミルの両側にある支持バーを把持させた。

加速度センサ(S&ME社製、圧電容量型、計測可能範囲±10G)は、センサの各感度方向が静止立位時の矢状-水平時軸、垂直軸、前額-水平軸と一致するように義足下腿部に取り付けた。加速度信号はサンプリング周波数1kHzでS&ME社製携帯型データロガー(BioLog2000)に取り込んだ。

撮影したビデオ画像から、5名のPTの義足歩行者の主観的評価を求めた。

3 結果

3.1 理学療法士への質問票調査

回答者の属性を表1に示す。
各回答者に行った質問を下記に示す。

質問1

「大腿切断者の義足歩行能力の評価において、あなたが、義足歩行が上手だと感じる人は下手だと感じる人よりも、『初期接地の直前に生じる膝継手の最大伸展から足部の初期接地までの時間』は」という問いを設け、回答は次の3つからの選択とした。①一般的に長く感じられる。②一般的に短く感じられる。③時間の長短に一般的な傾向は感じられない

質問1に対する回答は全て②の「一般的に短く感じられる」であった。

質問2

『質問1で①もしくは②を選択し、義足歩行訓練を行った経験を持つ方にお聞きします。臨床現場において、大腿切断者の義足歩行能力の評価項目として「初期接地の直前に生じる膝継手の最大伸展から足部の初期接地までの時間」も定性的・定量的を問わず調べていた。』という問いを設け、回答はYesとNoの2つからの選択とした。

質問2に対する回答は全てYesであった。

質問3

『質問2でYesを選択された方にお聞きします。「初期接地の直前に生じる膝継手の最大伸展から足部の初期接地までの時間」についての定量的な知識（例えば、ある歩行速度ではどの程度の時間になるか）を持っている。』という問いを設け、回答はYesとNoの2つからの選択とした。

質問3に対する回答は全てNoであった。

今回の質問票調査は回答者全てが「膝継手完全伸展から初期接地までの時間」が短く感じる義足歩行のほうが長く感じる義足歩行よりも義足歩行が上手だと感じていることや、臨床現場における義足歩行の評価でも「膝継手完全進展から初期接地までの時間」を評価しているが、その評価は定性的であり、定量的な知見は有していないこと示しており、この結果は「膝継手完全進展から初期接地までの時間」

表1 回答者の属性

Table.1 Attributions of questionnaire respondents

回答者名	PT_1	PT_2	PT_3	PT_4	PT_5
経験年数	13	8	5	4	3
義足歩行練習を行った症例数	10	5	1	1	2

が義足歩行の習熟を評価する項目として有効である可能性を示唆している。

3.2 歩行時における義足下腿部の加速度信号の解析

加速度信号と各スイッチの測定例を図2に示す。図2から、定常歩行時の加速度信号であるためその波形には周期性があり、膝継手完全伸展（SwBがOnになった時刻）と初期接地（SwAがOnになった時刻）によって生じたと考えられるピークが各軸の加速度に生じているのが確認できる。ピークの時刻がそれぞれの事象が生じた時刻ではないが、信号処理の簡便性を優先し、加速度にピークが生じた時刻を本研究では初期接地と膝継手完全伸展の時刻とし、加速度のピークからピークの時間を「膝継手完全伸展から初期接地までの時間」とする。

3.2 義足歩行の理学療法士による主観的評価と義足下腿部の加速度の比較

図3に各被験者の矢状-水平軸加速度の各ピークから求めた「膝継手完全伸展から初期接地までの時間」を示す。各被験者の時間は、Sub1が 0.21 ± 0.01 （平均±標準偏差）秒、Sub2は 0.14 ± 0.01 秒であり、時間の平均値には有意な差（ $p < 0.001$ ）があった。

義足側の歩行周期に占める「膝継手完全伸展から初期接地までの時間」の割合はSub1が15%、Sub2が11%であった。義足側の歩行周期は矢状-水平軸加速度の初期接地により生じたピークから次の初期接地により生じたピークまでの時間とした。

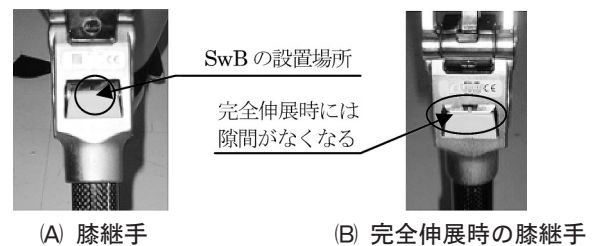


図1 膝継手 (Total Knee2000) に設置したスイッチの設置部の拡大図

Fig.1 Total Knee 2000

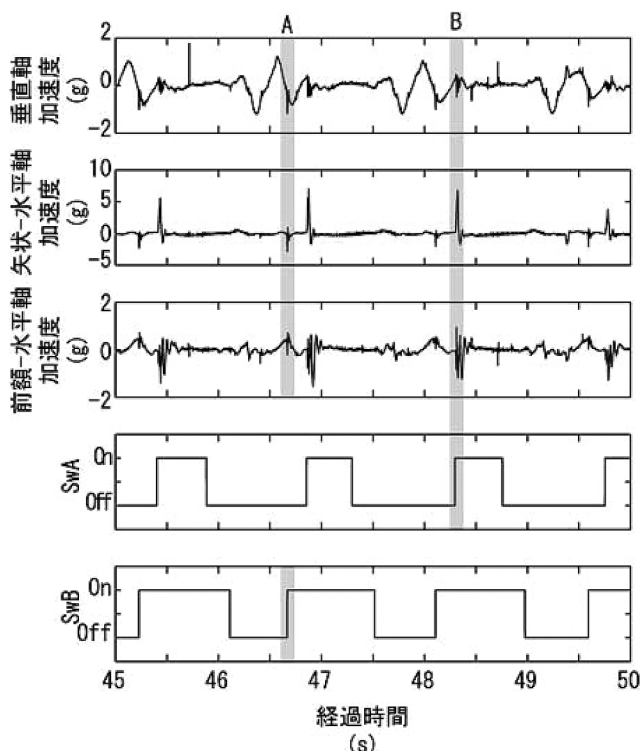


図2 加速度信号と各スイッチの測定例

A：膝継手完全伸展、B：初期接地

Fig.2 An example of measured data

A: Full extension of knee joint

B: Initial contact

右にSub1、左にSub2を配置したビデオ画像（図4）を診た5名のPTに対して「義足下腿部の動態に違和感をより覚えるのは左右どちらの動画ですか」との問いを設け、回答は次の3つからの選択とした。①左の動画。②右の動画。③違和感を覚えない。PTの回答は全て①左の動画であった。

これらの結果は、「膝継手完全伸展から初期接地までの時間」とPTによる義足歩行の評価に関係があり、「膝継手完全伸展から初期接地までの時間」が義足歩行の習熟を評価する項目となることを示唆している。

4 まとめ

本研究では、大腿義足歩行の定量的評価項目として、「膝継手完全伸展から初期接地までの時間」を提案するため、PTへの質問票調査とトレッドミル歩行時に義足下腿部に生じる加速度の測定を行い、膝継手完全伸展と初期接地によって生じる加速度のピーク時刻をそれぞれの事象が生じた時刻とし、2名の義足歩行における「膝継手完全伸展から初期接地までの時間」とその歩行のPTの主観的評価を求め、「膝継手完全伸展から初期接地までの時間」が

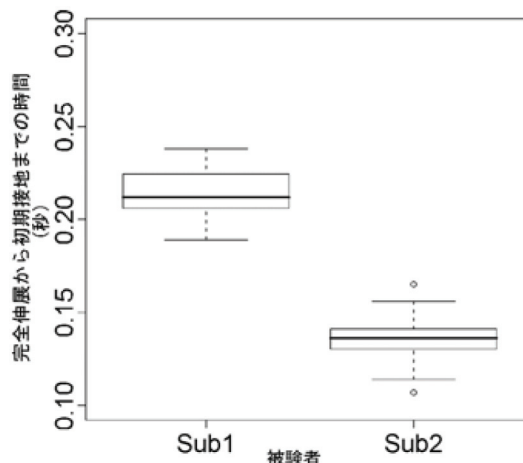


図3 膝継手完全伸展から初期接地までの時間の箱ひげ図
Fig.3 Box plot of period from full extension of knee joint at the end of the swing phase to the initial contact

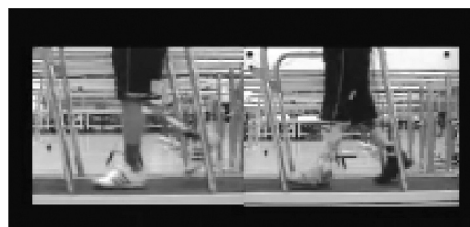


図4 義足歩行時のビデオ画像

Fig.1 video image in walking

短い方がPTの主観的評価が良いことを示した。

ただし、今回の被験者は2名であり、また、膝継手完全伸展から初期接地までの時間は単に短ければ良いということではなく歩行速度の応じた適正な範囲があると考えられるため、被験者数を増やしその適正な範囲を求めることが今後の課題として挙げられる。

参考文献

- 1) 社団法人理学療法士協会：「資料・統計」、
(<http://wwwsoc.nii.ac.jp/jpta/02-association/data.html>)
[accessed October 22, 2007]
- 2) 江原義弘、野村進、別府政敏、高橋茂、池田稔：「義足歩行の分析」、神奈リハ紀要、No.12, pp.41-48, 1985
- 3) 関根正樹、黄健、榊広光、田村俊世、藤元登四郎、戸川達男、福井康裕：「加速度センサを用いた簡易歩行評価システムの開発」、医用電子と生体工学、第36巻特別号、p.480, 1998