

股義足歩行における訓練歩行と日常歩行の比較

井上剛伸*, 青木慶**, 山崎伸也***, 三田友記***

Comparison between Training Gait and Practical Gait of Hip Disarticulation Prosthesis Users.

Takenobu INOUE*, Kei AOKI**, Nobuya YAMASAKI*** and Tomoki MITA***

This paper describes gait analysis of hip disarticulation prosthesis users. An interview with a hip disarticulation prosthesis user showed that practical gait in daily life was different from gait at the training stage. These two types of gaits, the practical gait and the training gait, were measured using a three-dimensional motion analysis system. Results revealed that step distance of the prosthetic side was larger with the training gait than with the practical gait. However, walking speed of the practical gait was larger than the training gait. In order to increase the walking speed, the users decreased gait cycle and step distance. The practical gait showed that similar step distance between the prosthetic side and sound side while the training gait showed the larger step distance with prosthetic side than the sound side. This result explained the user's opinion that heel contact point of the prosthesis during practical gait made it feel natural. Floor contact time ratio of each side indicated similar tendency between each gait. This suggested that the hip disarticulation prosthesis users had own gait rhythms.

In conclusion, the training gait is suitable for the acquirement of large swing of prosthesis. However, it has some problem with slow walking speed, large loads on the lower part of back and unbalance of the step distance. The users could select the practical gait in order to solve these problems. These conclusions would be useful for training and fitting of the hip disarticulation prosthesis.

キーワード：歩行分析、歩幅、歩行リズム、床反力

1. はじめに

股義足は、股離断者や大腿極短断端切断者の重要な歩行手段として活用されている。しかし、股義足に使用される股継手は、膝継手などに比べると種類も少なく、歩行のメカニズムに関する研究も数が少ない。この理由としては、股義足の使用者数が少ないことが挙げられる。しかし、使用者によっては使い勝手の良く

ないものを、我慢して使っているケースも見られるため、股義足歩行の研究や股継手の開発は、股義足の有用性や利便性を向上し、股義足使用者によりよい歩行手段を提供するための重要な課題である。

中川らは、膝継手用に開発したインテリジェント大腿義足の技術を股継手に応用し、新しい股義足の開発を行っている[1,2,3,4]。開発に先立って行った歩行分

* 国立身体障害者リハビリテーションセンター研究所福祉機器開発部

** 慶應義塾大学

*** 国立身体障害者リハビリテーションセンター研究所補装具製作

* Department of Assistive Technology, Research Institute, National Rehabilitation Center for the Disabled

** Keio University

*** Department of Prosthetics & Orthotics, Research Institute, National Rehabilitation Center for the Disabled

析の結果、股義足歩行の問題点として大腿部の振り出し速度が不足していることにより、歩行速度が遅く、歩容も優れないことを指摘している。この原因は、歩幅をコントロールする目的で股継手に取り付けられているスプリングが、義足股継手の屈曲を制限しているためである。

股義足歩行の訓練では、大腿部の振り出しを大きくするために、股義足側の腰部を前方に大きく押し出すような歩行を指導している[5]。しかし、我々の行った股義足使用者への聞き取り調査では、日常的に行っている歩行は、訓練時の歩行とは違うことが明らかになった[6]。その理由としては、訓練時の歩行では歩行速度が遅いこと、健脚に負担がかかること、日常の歩行方法の方が義足側の接地点が自然であることが挙げられた。接地点が自然であるとは、股義足使用者がもつ歩行のイメージと合致した歩行が実現できていることとのことであった。以下、訓練時に行う歩行を“訓練歩行”、股義足使用者が日常的に行っている歩行を“日常歩行”と記述する。

本研究では、これら2種類の歩行方法に着目し、歩行分析手法を用いることにより、それぞれの歩行方法の特徴を比較し、両者の運動学的特徴の違いを定量的に明らかにすることを目的とした。

2. 実験方法

2.1. 計測システム

計測システムは、三次元動作計測システム(Vicon512)と床反力計(Kistlar社製)を用いた。三次元動作計測システムは、カメラ数12台で計測空間は2.4m×0.8m×2.0mである。被験者には、左右肩峰、左右上前腸骨棘、左右上後腸骨棘、左右大転子部、左右踵部、左右つま先部、左右第5中足骨部、仙骨部、健側膝関節、健側足関節、股継手回転中心、膝継手回転中心、足継手部の合計20点に標点を取り付けた。ここで、左右上前腸骨棘、左右上後腸骨棘、義足側大転子部、仙骨部の標点は、ソケット上に取り付けた。床反力計は0.6m×0.4mのものを8枚組み合わせ、2.4m×0.8mの計測可能な歩行路を構築した。

計測システムに対して座標系を定義した。原点は、床反力計の表面上の中央点とした。原点より、垂直上方にZ軸、Z軸と垂直で歩行路の長軸方向にY軸、Y軸とZ軸に垂直な方向にX軸をとった。座標系は右手系とした。

2.2. 被験者

被験者は日常的に股義足を使用しているもの2名と

表1 被験者の属性

	被験者 1	被験者 2
年齢・性別	27歳・女性	30歳・男性
身長	1.65m	1.78m
体質量	47kg	64kg
義足	右側に股義足	左側に股義足
障害歴	S53年に右股離断	H4年に左大腿切断・極短断端
現股義足使用歴	3年	9年
股継手	オットボック社製7E7(単軸)	オットボック社製7E4(単軸)
膝継手	オットボック社製3R95-1(単軸+空圧ダンパ)	ブラッチフォード社製019316(単軸+空圧ダンパ)
足継手	オットボック社製2R8(固定)	ブラッチフォード社製409121(固定)
足部	オットボック社製1S46(SACH足)	ブラッチフォード社製509161(足関節に多軸関節を有している)

した。それぞれの属性を表1に示す。実験では、日常使用している義足を使用した。被験者1では、日常使用しているものよりも被験者の評価が良かった回転粘性特性可変型の膝継手を使用した。この膝継手による歩行において、被験者1はより自然に歩行することができるかと答えており、今回の計測結果の解釈には問題ない。いずれの被験者も、義肢装具士により最適な設定に調整した後、実験を行った。

2.3. 実験手順

まず、被験者に対して、実験の趣旨、実験手順、実験予定時間、データの公表等について説明を行い、実験協力に対する同意を得た。実験用着衣に着替えた後、義肢装具士による義足の調整および確認を行い、予備歩行を行った。その後、前述の標点を取り付けた。

歩行計測の前に、自然立位の状態を基準姿勢として計測した。続いて、日常歩行と訓練歩行の2種類について計測を行った。日常歩行については、“いつものように楽に歩く”ように指示をし、訓練歩行については、“義足を大きく振って歩く”ように指示した。それぞれの歩行について、5試行の計測を行った。歩行は歩行路の長軸方向(Y軸正方向)に向かって行った。

2.4. データ処理

計測エリアの中央付近の計測データより、1周期分のデータを抽出し、それについて解析を行った。得られたデータから、下記の指標を算出した。

- 1) 運動学的特徴量：歩幅、歩行周期、歩行速度、腰部上下動

2) 関節角度特徴量：股継手角度振幅、膝継手角度振幅、腰部回旋角度振幅、腰部屈伸角度振幅、腰部側屈角度振幅

3) 床反力特徴量：最大垂直荷重、最大蹴り出し力、立脚時間割合

歩幅は、脚が踵接地をしたときの踵部標点とその時の対脚の踵部標点の、Y軸方向（前後方向）の距離とした。歩行周期は、床反力データから同脚の踵接地から踵接地までの時間とした。歩行速度は、1周期でY軸方向に同脚の踵部標点移動した距離を、周期で割ることで算出した。腰部上下動は、左右上前腸骨棘と左右上後腸骨棘を結んでできる四角形の中心点の、Z軸座標の最大値と最小値の差である。

関節角度特徴量を算出するにあたり、各体節の軸方向ベクトルを下記のように定義した。

上体ベクトル：[左右上前腸骨棘と左右上後腸骨棘を結んでできる四角形の中心点]から[両肩を結んだ線分の中心点]へ向かうベクトル

肩峰ベクトル：[右肩峰]から[左肩峰]へ向かうベクトル

ソケット部ベクトル：[仙骨部点]から[左右上前腸骨棘と左右上後腸骨棘を結んでできる四角形の中心点]へ向かうベクトル

上前腸骨棘ベクトル：[右上前腸骨棘]から[左上前腸骨棘]へ向かうベクトル

股義足大腿ベクトル：[膝継手点]から[股継手点]へ向かうベクトル

股義足下腿ベクトル：[足継手点]から[膝継手点]へ向かうベクトル

股義足足底ベクトル：[踵点]から[中足骨頭点]へ向かうベクトル

これらのベクトルから各角度を下記のように定義した。
股継手関節角度：上体ベクトルと股義足大腿ベクトルのY-Z平面内での角度

膝継手関節角度：股義足大腿ベクトルと股義足下腿ベクトルのY-Z平面内での角度

腰部屈伸角度：上体ベクトルとソケット部ベクトルのY-Z平面内での角度
ただし、基準姿勢を0°とした

腰部回旋角度：肩峰ベクトルと上前腸骨棘ベクトルのX-Y平面内での角度
ただし、基準姿勢を0°とした

腰部側屈角度：上体ベクトルとソケット部ベクトルの

Y-Z平面内での角度
ただし、基準姿勢を0°とした

それぞれの角度について、1周期中の最大値から最小値を引いた値を振幅とした。

床反力特徴量では、最大垂直荷重は右脚、左脚それぞれの床反力のZ軸方向成分の最大値をとった。最大蹴り出し力は、右脚、左脚それぞれの床反力の推進力成分（Y軸負の方向）の最大値をとった。また、立脚時間割合は、1周期内での右脚、左脚それぞれの床反力のZ軸方向成分が計測された時間の割合を示した。

3. 実験結果

3.1. 運動学的特徴量

図1は義足側と健足側の歩幅をそれぞれの被験者、歩行形態についてプロットした図である。ここで、健脚側歩幅とは健脚が前に出たときの歩幅である。健足側の歩幅は日常歩行と訓練歩行で変わらないが、義足側の歩幅は平均値で被験者1では21%、被験者2では16%、日常歩行よりも訓練歩行の方が大きくなっている。t検定の結果、義足側の歩幅は被験者1では10%水準、被験者2では5%水準で有意差がみられた。

また、日常歩行の方が訓練歩行よりも、歩行周期が短く（図2）、歩行速度は速い（図3）ことがわかる。

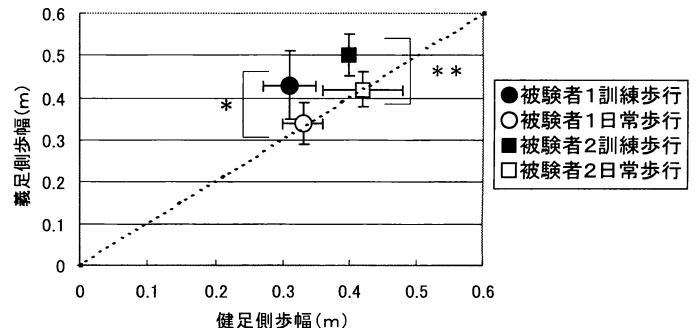


図1 健足側・義足側の歩幅の関係
(* : P<0.1, ** : P<0.05)

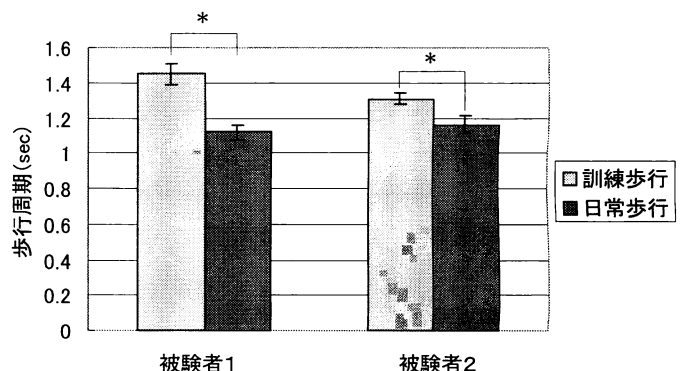


図2 歩行周期の比較 (* : P<0.05)

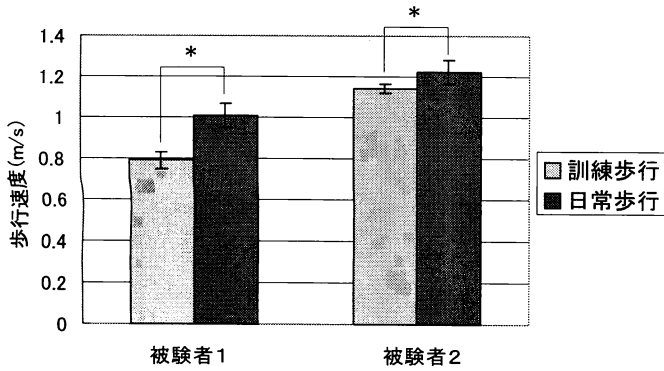


図3 歩行速度の比較 (* : P<0.05)

これらは、いずれも5%水準で有意差がみられた。

図4は腰部上下動を示したものである。被験者1では日常歩行の方が訓練歩行よりも大きく、5%水準で有意差がみられたが、被験者2では有意差は見られなかった。

3.2. 関節角度特徴量

訓練歩行は日常歩行と比べると、股継手関節角度(図5)、膝継手関節角度(図6)、腰部回旋角度(図7)、腰部屈伸角度(図8)、腰部側屈角度(図9)のいずれをとっても平均値では大きな振幅を示した。5%水準で有意差が見られたものは、股継手振幅、腰部

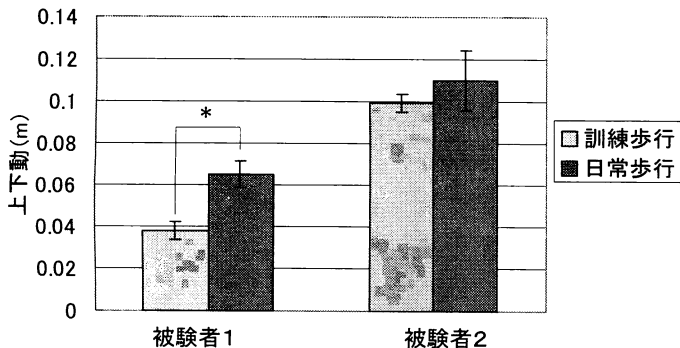


図4 腰部上下動の比較 (* : P<0.05)

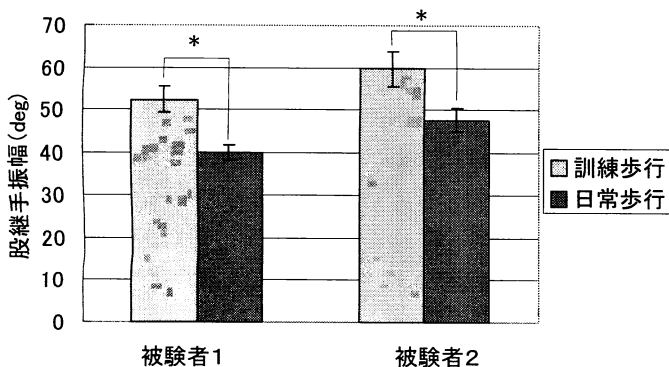


図5 股継手角度振幅の比較 (* : P<0.05)

屈伸振幅の被験者1および被験者2、膝継手振幅、腰部側屈振幅の被験者1であった。それぞれについて定量的に見ると、股継手関節角度の振幅(図5)は、被験者1で24%、被験者2で20%訓練歩行の方が大きい値となっている。膝継手関節角度の振幅(図6)は、股継手の振幅ほどの差は見られないが、被験者1で13%大きくなっている。腰部屈伸角度の振幅(図8)は、被験者1では11%、被験者2では14%増加している。腰部側屈角度の振幅(図9)は、被験者1で32%訓練歩行のほうが大きい値となった。

3.3. 床反力特徴量

図10は、健足側と義足側の最大垂直荷重の関係を示したものである。健足側の荷重はいずれの被験者でも違いが見られない。しかし、義足側の荷重では、被験者1は日常歩行の方が大きく、被験者2では訓練歩行の方が大きい値をとっている。

図11は、健足側と義足側の荷重時間割合を示したものである。いずれの被験者でも、歩行形態によって違いは見られない。

4. 考察

4.1. 訓練歩行の特徴

訓練歩行の特徴として、義足側の歩幅が日常歩行に比較して大きくなっていることが挙げられる(図1)。これは“義足を大きく振る”ということにより生じた結果であり、この違いは義足の各継手振幅にも表れている。特に股継手関節角度の振幅(図5)は日常歩行よりも訓練歩行の方が20%以上大きい値をとっており、膝継手関節角度の振幅(図6)の差よりも大きい。したがって、訓練歩行では、主に股関節の継手を大きく動かすことで、歩幅をかせいでいることがわかる。

以上の動きを発生させるために、人側が行っている動作を見てみると、訓練歩行と日常歩行の違いは、腰部の動きに表れている(図7、図8、図9)。回旋角、

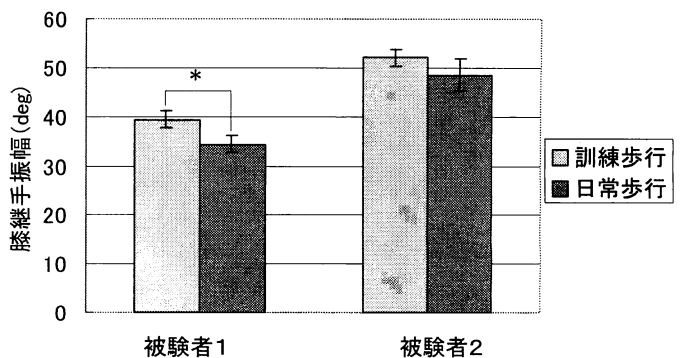


図6 膝継手角度振幅の比較 (* : P<0.05)

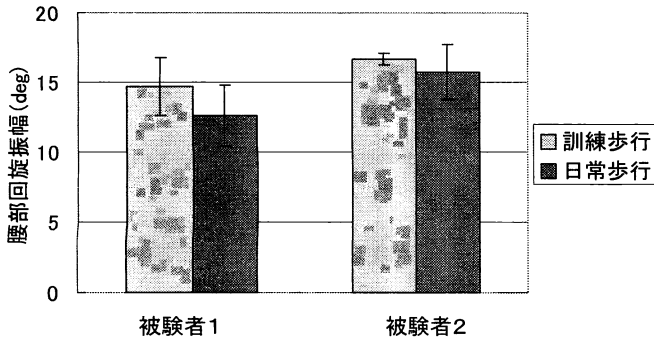


図7 腰部回旋角度振幅の比較

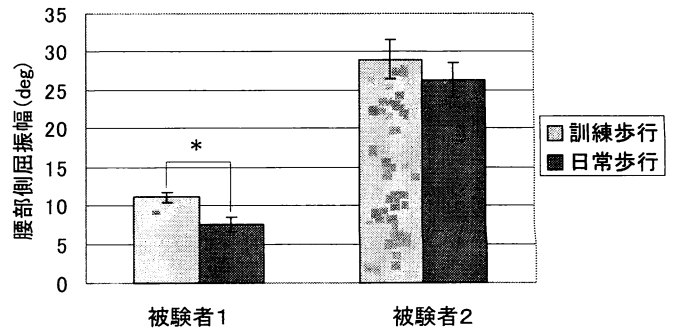


図9 腰部側屈角度振幅の比較 (* : P<0.05)

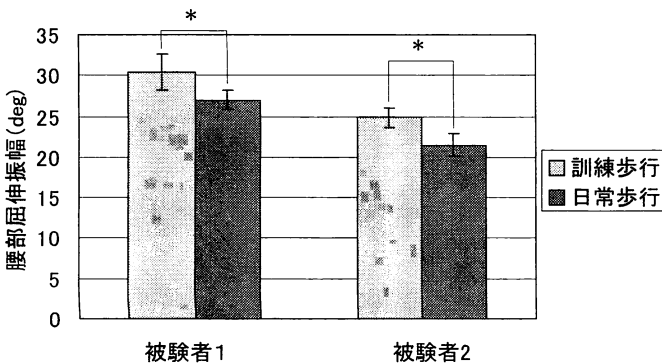


図8 腰部屈伸角度振幅の比較 (* : P<0.05)

屈伸角、側屈角のいずれにおいても、日常歩行より訓練歩行の方が大きな振幅となる傾向が見られた。したがって、腰を大きく動かすことで、股継手部分を大きく移動させ、それ以下の義足の振り出しを大きくしていると考えられる。

しかし、訓練歩行では歩行周期が長くなってしまったために、歩行速度が遅くなってしまったことが明らかになった。訓練歩行は、股義足歩行で問題とされる義足の振り出しを重視した歩行方法であり、それを習得する訓練には適した歩行といえる。一方、腰部を大きく動かすために、体幹から腰部にかけての負担が大きくなることが考えられるとともに、遅い歩行となることがわかる。

4.2. 日常歩行の特徴

日常歩行は股義足使用者が生活する上で、種々の条件を最適にした歩行と考えられる。この観点から最も特徴的な点は、歩行速度である。図3では、訓練歩行に比べて、日常歩行の方が速く歩いていることが示されている。これは、“訓練時の歩行では歩行速度が遅い”という聞き取り調査の結果と一致している。歩幅の点では上述のように訓練歩行の方が有利であるが、歩行周期(図2)を見ると、日常歩行の方が短い周期で歩行していることがわかる。歩行速度を上げるには、

歩幅を大きく取り、周期を短くとした方が有利になり、健常者の歩行では下肢の筋力を使ってこのような歩行はある程度達成することが可能である。しかし、股義足歩行ではこれら2つの変数は相反するものとなり、周期を短くすると歩幅も短くなるという特徴がある。今回の実験より得られた日常歩行の歩幅と周期の結果は、歩行速度を向上するために適した解と考えられる。

また、聞き取り調査では“日常歩行では、義足側の接地点が自然である”との結果を得ている。そこで、義足側、健足側の歩幅の差に着目して図1を見てみると、訓練歩行では義足側の歩幅は、健足側の歩幅よりも大きくなっているが、日常歩行ではほとんど差がないことがわかる。これより、日常歩行では左右の歩幅をあわせるという距離因子の一致により、自然な歩行感覚を実現していることが考えられる。

以上の考察より、股義足使用者が日常歩行を選んでいる理由をまとめると下記のようになる。

- 1) 速く歩行できる
- 2) 健足側と義足側の歩幅がほぼ同じとなる
- 3) 腰部の負担が少ない

腰部の動きが少なくなることで、義足と床との間隔をどのようにとるかが問題になる。訓練歩行では、腰部の側屈がこれに寄与していると考えられるが、日常歩行では側屈角度の振幅が小さくなっている。しかし図4をみると、被験者1において日常歩行の腰部上下動が、訓練歩行に比べて大きくなっていることがわか

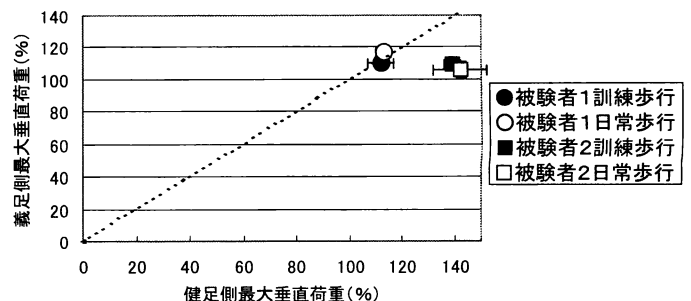


図10 健足側・義足側の最大垂直荷重の関係

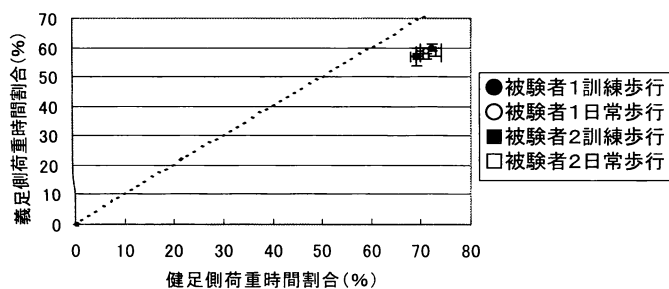


図11 健足側・義足側の荷重時間割合の関係

る。これは、義足と床との間隔を確保するために、健脚により腰部の位置を持ち上げていたと考えられる。被験者2では、このような変化は認められないが、訓練歩行、日常歩行ともに、被験者1と同じぐらい上下しており、被験者1もこのような方法で義足と床との間隔を保っていたと考えられる。また、最大垂直荷重(図10)のグラフをみると、被験者1では健足側と義足側の荷重がほぼ同じであるのに対して、被験者2では健足側の荷重の方が大きくなっている。この点からも被験者2では健足で身体を上方に移動させて、義足と床の間隔を確保していることが示唆される。

4.3. 時間因子の検討

図11の荷重時間割合を見ると、義足側の荷重時間よりも健足側の荷重時間のほうが、どの条件でも長くなっている。したがって、日常歩行では時間因子が左右で一致することよりも、距離因子が左右で一致することの方が重要であることが示唆された。

また荷重時間割合では、訓練歩行と日常歩行で違いが認められなかった。すなわち、左右の歩幅が変わり、周期が変わったとしても、1周期の中での健足、義足の立脚時間の割合は変わらないことになる。しかも、健足側と義足側の立脚時間は同じではない。

訓練歩行では、日常歩行に比べて義足側の歩幅が大きくなる。その分、歩行周期も長くなるが、それは義足を大きく振り出すために健足側の立脚時間が延びるだけでなく、義足側の立脚時間も同じ割合で長くなっているということである。義足側の歩幅が大きくなった分、健足を引き寄せるために必要な時間が増え、義足側の立脚時間が長くなることも考えられるが、図11での差はとても小さく、力学的な要因ではない他の要因も考えられる。例えば、周期が変わっても歩行のリズムを一定に保つような機構が働くとすると、このような現象は起こりえる。歩行のパターンジェネレータは、その存在が明らかになってきており、股義足使用者においても、そのような作用でリズムを整えている

可能性は考えられる。今回の結果からは、このメカニズムを明らかにすることはできないが、股義足歩行特有の歩行リズムが、形成されている可能性を示唆するものである。

5. まとめ

股義足歩行における訓練歩行と日常歩行に着目し、歩行分析手法によりその比較を行った。その結果、訓練歩行では日常歩行に比べて、義足側の歩幅が大きかった。そのための歩行方法としては、腰部を大きく動かし、義足を大きく振っていることがわかった。また、日常歩行では歩行速度が速いことが、大きな有利点となっていた。そのために、義足側の歩幅を訓練歩行よりも小さくし、短い周期での歩行を行っていることがわかった。日常歩行では義足側、健足側の歩幅がほぼ同じである一方、荷重時間割合では義足側の方が健足側よりも短くなっており、時間因子が左右で一致することよりも距離因子が一致することのほうが重要であることが示唆された。時間因子では、訓練歩行と日常歩行で、健足、義足の立脚時間割合が変わらないことがわかった。したがって、股義足歩行では特有のリズムを保って、歩行していることが示唆された。

以上得られた結果より、訓練歩行は義足を大きく振り出すことを重視した歩行であり、初心者が振り出しを習得するためには適した歩行であることがわかった。しかし、歩行速度が遅いことや、腰部などへの身体負担、自然な歩行感などを考慮すると実用的ではなく、股義足使用者は日常歩行のような歩行方法を選択していくものと考えられる。これらの結論は、2例のデータより導かれたものであり、一般的なものとするためには、より多くのデータが必要である。しかし、訓練歩行のみではなく、日常歩行の特徴を考慮した股義足歩行の適合や訓練の重要性を示唆しており、有用な知見を示していると考えられる。

参考文献

- 1) 中川昭夫, 中村俊哉, 長倉祐二, 陳隆明: 股義足の継手の開発研究. 福祉のまちづくり工学研究所報告集. 1996, 76-81(1996).
- 2) 中川昭夫, 中村俊哉, 大塚博, 長倉祐二, 小嶋功, 町田勝広, 高瀬泉: 股義足の継手の開発研究. 福祉のまちづくり工学研究所報告. 1998, 137-142(1998).
- 3) 中川昭夫, 中村俊哉, 大塚博, 長倉祐二, 小嶋功,

- 町田勝広, 高瀬泉: 股義足の継手の開発研究. 福祉のまちづくり工学研究所報告集. 1999, 146-150 (1999).
- 4) 中川昭夫, 中村俊哉, 大塚博, 長倉祐二, 小嶋功, 町田勝広, 高瀬泉: 股義足の継手の開発研究. 福祉のまちづくり工学研究所報告集. 2000, 168-174 (2000).
- 5) Radcliffe, C. W.: 8 Prosthetics. Human Walking. (Second Edition.), 165-199, Williams & Wilkins, U.S.A. (1994).
- 6) 青木慶, 井上剛伸, 数藤康雄, 山崎伸也: 股義足使用者の歩行動作の運動解析. 第18回国立身体障害者リハビリテーションセンター業績発表会資料 (予稿集). 62-63(2001).