5ZH-1

踵運動の周期性に着目した歩行リハビリ効果の定量化

仁昌寺　克行†　　松田　浩一†

岩手県立大学ソフトウェア情報学部†

1. はじめに

理学療法士は歩行リハビリを行う際，これまでの経験やそれに基づく主観的な解釈によって歩行動作の評価を行っている．しかし，患者がリハビリ前後でどの程度歩行動作に改善が見られたのかなど，変化の量を客観的に捉えることが難しいという現状がある．そのため，歩行動作の変化の量をグラフや数値として捉えることでリハビリ効果の量を定量的に捉えたいという要望がある．

そこで本研究では，リハビリによる歩行動作の変化の量を定量的に把握し表示出来るシステムの構築を目指し，理学療法士と共同研究を行っている．

先行研究では，肩と腰の上下・前後運動を捉える歩行動作解析[1)]や背中と腰の回旋運動と重心の上下運動を捉える歩行動作解析[2)]は既に行われている．しかし，理学療法士が歩行リハビリにおいて評価するポイントの1つである歩行動作の周期性には着目されていなかった．

本稿では，理学療法士が歩行リハビリにおいて評価するポイントの１つである踵運動の周期性に着目し，歩行動作の変化の量を定量化する手法について提案する．

2. 歩行動作の周期性

歩行は腰の回旋・脚の上げ下げなど，様々な動作を周期的に行うことで歩くことが出来ている．そのため，何か動作１つにでも障害が出てしまうとつまずきやふらつきなどが歩行動作の周期性を乱し，歩行の不安定さへと繋がってしまう．理学療法士はその周期性の乱れを歩行動作の流れや部分的な動作から確認することで歩行評価をしている．

本稿では，歩行動作の中でも離着床の影響が大きく表れると共に，つまずきやふらつきなどの乱れがより詳細に捉えられると予測される踵運動に着目する．歩行動作の流れを「踵運動の周期性」，部分的な動作を「踵運動の推移」として歩行動作の変化の量の定量化を試みる．

2.1. 踵運動の周期性

踵運動の周期性は，踵の上下運動が一定のリズムで行われていると周期性があると定義する．

歩行中の踵は着床・蹴り出し・振り出しの３つの動作を周期的に行っており，絶えず上下運動をしている．健常者の踵の上下運動は一定のリズムで動作をし続けるが，片麻痺患者の踵の上下運動はつまずきやふらつきなどによりリズムが崩れ，踵運動の周期性に乱れが生じる．理学療法士はこの踵運動の周期性の乱れ具合を確認し，乱れの程度から転倒のリスクが少ない安定した歩行が出来ているかを評価している．その際に重要となるのが，左右の脚でそれぞれ周期的に踵運動が出来ているかである．

2.2. 踵運動の推移

踵運動の推移とは，一歩ごとの踵の角度変化の類似度を時系列順に並べたものを指す．

歩行は踵運動を周期的に行っており，健常者の踵の上下運動は一歩ごとに同様な動作を連続して行っている．しかし，片麻痺患者の踵の上下運動はつまずきやふらつきなどにより一歩ごとの動作にバラつきが生じてしまう．理学療法士は連続した踵運動の推移を確認することで，安定した踵運動が歩行全体でどの程度表れているかを評価している．その際に重要となるのが，歩行全体で安定した踵運動がどれだけ多く表れているかである．

3. 提案手法

本稿では，3 軸角速度無線センサを用いた踵運動の定量化手法を提案する．センサを両踵に装着することで，歩行中に踵が周期的に行う 3 つの動作(着床の動作，蹴り出しの力具合，振り出し時の踵の動作)を回転運動として計測することが可能である(図 1)．センサの xyz 軸は身体の左右(x 軸)，上下(y 軸)，前後(z 軸)方向に設定し，3 つの動作をセンサの x 軸の回転運動として定量化する．

図 1:センサ装着位置と映像(左)と角速度波形(右)

3.1. 踵運動の周期性の定量化

踵運動の周期性の定量化には，両踵の x 軸角速度波形から抽出した着床時の時間を用いる．左右の着床時間の間隔を算出し，間隔の標準偏差を比較することで左右の踵運動の周期性を評価する．

標準偏差の値は 0 に近いほど踵運動が周期的に行われていることを示し，0 から離れるほど踵運動が周期的に行われていないことを示す．

Quantification of walk rehabilitation effect using cycles of heel movement

Katsuyuki NISYOUJI†, Koichi MATSUDA†,
Faculty of Software and Information Science, Iwate Prefectural University†

Copyright ©2012 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.

3.2. 踵運動の推移の定量化

踵運動の推移の定量化には，踵の x 軸角速度波形と安定した踵運動 1 歩分の踵の x 軸角速度波形の相互相関関数を用いて求める．

安定した踵運動 1 歩分とは，脚の支持時間が最も短い 1 歩を指し，左右の脚から 1 歩分ずつ選択する．歩行全体の角速度波形から安定した踵運動 1 歩分の角速度波形の相互相関関数(1)を算出することで，歩行中に安定した踵運動と同様な動作が左右の脚でどの程度表れているかを評価する．

$$R_{xy}(k) = \frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1-k} x(n)\cdot y(n+k) \quad \cdots \quad (1)$$

(1)のxは踵の x 軸角速度波形であり，yは安定した踵運動 1 歩分の踵の x 軸角速度波形である．相互相関関数の値は 2 つの波形の類似度を意味する．相互相関関数の値は 1 に近いほど安定した踵運動の 1 歩分と同様な動作をしていることを示し，0 に近いほど安定した踵運動の 1 歩分とは異なる動作をしていることを示す．

4. 実験と評価

本実験では，リハビリ過程の歩行動作の変化の量を捉えるため，同一患者のデータを計 3 回，1 週間ごとに取得した．この時，補装具や杖が必要となる患者に対しては，普段行っているリハビリ環境で歩行を行う．実験環境は屋内リハビリ室で行い，直線 5M を普段歩くような速さで歩いて頂いた．

以下，理学療法士が主観で健常者歩行に近いと判断した患者 A と，患者の中で最も歩行動作が改善したと判断した患者 B について検証を行う．

4.1. 踵運動の周期性の実験結果と評価

患者 A と患者 B の着床時間の間隔の標準偏差の結果を表 1 に示す．

表 1：患者 A，B の左右の標準偏差

	患者 A		患者 B	
標準偏差(s)	左脚	右脚	左脚	右脚
1 週目	0.065	0.072	0.249	0.279
2 週目	0.026	0.054	0.107	0.142
3 週目	0.034	0.026	0.144	0.143

患者 A は，理学療法士から健常者のような歩行が出来ていると評価されている．表 1 の結果からも患者 A の左右の標準偏差が 0 に近づいており，週ごとに値が 0 に近づいていることが分かる．

患者 B は，1 週目に軽介助を受けながら 4 点杖を利用し歩行していた．しかし，2 週目からは理学療法士が 1 週目より歩行の安定性が増したと判断し，4 点杖を 1 点杖に変更した．表 1 の 1～2 週目の結果からも大きく値が 0 に近づき，踵運動の周期性が向上し安定した歩行に近づいていることが分かる．

理学療法士からは，患者 A は振り出しが良くなったことで周期性が改善され，患者 B は動作の流れがスムーズになったことで周期性が改善されたとの評価を頂いた．この主観評価と実験結果が一致していることが分かる．

4.2. 踵運動の推移の実験結果と評価

患者 A と患者 B の踵運動の推移の結果を図 2 に示す．図 2 では，縦軸は相互相関関数の値を示し，横軸は歩数を示す．青線は左脚の推移を示し，赤線は右脚の推移を示す．

患者 A は，健常者のような安定した歩行が出来ているため，安定した踵運動と同様な動作が一歩ごとに行われていることが図 2 から分かる．

患者 B は，歩行の安定性が低かったため，踵運動にバラつきが生じていた．そのバラつきの影響が図 3(左)の推移の凹凸として表れていることが分かる．しかし，3 週目になると推移に表れる凹凸が減少し，推移が安定していることが分かる．

理学療法士からは，患者 A は安定した歩行が出来ており，患者 B は大きな乱れが減少しているとの評価を頂いた．この主観評価と実験結果が一致していることが分かる．

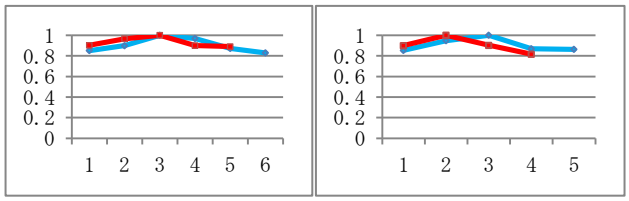

図 2：患者 A の 1 週目(左)，3 週目(右)

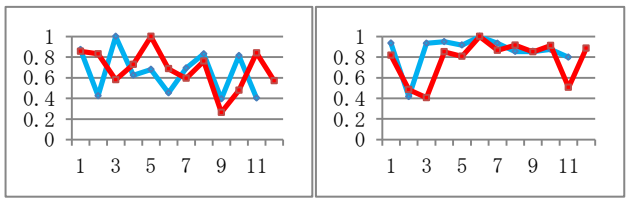

図 3：患者 B の 1 週目(左)，3 週目(右)

5. おわりに

本稿では，リハビリによる歩行動作の変化の量を定量化するため，踵運動の周期性に着目した手法を提案した．本手法により踵運動の周期性と推移を評価し，歩行動作の変化の量を定量化することが出来た．

謝辞

研究を行うにあたり，歩行動作実験や評価に対し数多くのご協力を頂き，貴重な意見を頂きました盛岡医療生活協同組合川久保病院リハビリテーション科の飯澤葉弓様に深く感謝致します．

参考文献

[1] 中村範斗，他，“歩行リハビリ支援のための腰部に着目した変化の定量化”，情報処理学会，第 73 回全国大会，6ZE-3，(2011)．

[2] 澤田尚大，他，“加速度センサを用いた歩行動作の特徴検出における一検討”，電気関係学会東北支部連合大会講演論文集，p.85，(2008)．

Copyright ©2012 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.