

歩行リハビリテーションにおける歩行状態評価のための基礎研究

A basic study on evaluation of walking status for walking rehabilitation

○ 湯澤亮祐 (高知工科大) 王碩玉 (高知工科大) 姜銀来 (高知工科大)

Ryousuke YUZAWA, Kochi University of Technology
 Shuoyu WANG, Kochi University of Technology
 Yinlai JIANG, Kochi University of Technology

Abstract: It is important to accurately assess walking ability in walking rehabilitation to track the process of recovery and design proper rehabilitation program for the patient. A quantitative walking ability assessment method is proposed based on acceleration analysis in this study. The 3-dimensional acceleration during walking is measured by wearable wireless accelerometers. We conducted a fall-limping experiment to verify the usefulness of the proposed method. Five levels of fall-limping are simulated in the experiment by differentiating the lengths of the legs. The accelerations of the neck, the front of the waist, and lower limbs are measured and analyzed. The results showed that the characteristic values inferred from the acceleration data of limb were significantly different according the levels of fall-limping. This was due to the swing caused by the leg length difference. These results suggest that the acceleration analysis might be a useful tool in quantitative assessment of walking ability.

Key Words: Walking ability, Fall-limping, Acceleration analysis, Walking rehabilitation

1. はじめに

著者らの研究グループの先行研究では、全方向移動型歩行機を開発している。全方向移動型歩行機を用いた歩行リハビリは、歩行機能の早期回復に貢献でき、歩行リハビリへの有用性が臨床試験で認められている⁽¹⁾。要訓練者一人でも自立で歩行訓練を行えるため、理学療法士が要訓練者の症状に応じてデザインした訓練メニュー(運動の方向、距離、時間など)を歩行訓練機に保存しており、歩行訓練機が訓練メニューに定義した動作を実行し、要訓練者が歩行訓練機に追従して歩行訓練を行う。したがって、要訓練者の回復状況を正しく評価し、それに適する訓練メニューを選択することは重要な課題である。

現在、歩行リハビリテーションの回復評価は医学療法士及び医師による、視診、筋電、レントゲン、床反力等の方法で患者の回復状態を評価している。しかし、病院で行うため場所的、時間的、束縛を受ける。そこで本研究は、ウェアラブルなセンサで歩行の回復状態を自動に評価する歩行能力の評価法を開発し、要訓練者一人でも自分の回復状況を計測できることを目指す。

今回の報告では、手軽で定量的に歩行リハビリテーションの状況を評価するために、ウェアラブル加速度センサを使った歩行評価法を提案する。墜落性跛行を段階的に疑似再現し、加速度を計測・解析することで、提案手法の有効性を検討する。

2. 墜落性跛行における加速度計測

正しい回復評価を出すためには、まず患者の障害度合いを正しく認識し評価出来る事が重要である。また最終的には患者に装着して使用するので、使用するセンサの数は少ない方がよい。よって今回の実験では歩行の評価精度を上げるため歩行に重要だと考えられる部位8ヶ所にセンサを取り付け、その波形の特徴を抽出する。そして、障害度合いを比較しやすい箇所を特定し、最小取り付けセンサ数の検討を行う。

今回の報告では、歩行障害の一つである墜落性跛行に着目して実験を行った。墜落性跛行は、左右脚の長さが違うことにより生じる歩行障害である。墜落性跛行を疑似再現

した場合、片脚の補高する高さを変える事で段階的に障害度合いを疑似しやすい。また段階的に再現出来る事で、そこから得られるデータを、比較しやすい事が挙げられる。実験のために、Fig. 1に示すような補高装置を開発した。これらの装置を用いて、左右脚の長さの差は、0~5 cmの6レベルを疑似できる。

加速度計測は、無線3軸加速度センサ(Fig.2, モーションレコーダ MVP-RF8, マイクロストーン製)を使用した。本加速度センサは、背面にベルトを通すことで体に固定出来る。サンプリング周期 10ms とした。加速度センサの装着箇所を Fig.3 に示す。下記 A~H の計 8ヶ所で計測する。A:首後ろ, B:重心位置(床から身長×55%の位置⁽²⁾), C:右腿, D:左腿, E:右下腿, F:左下腿, G:右足の甲, H:左足の甲。センサの座標系の設定は、Fig.3 に示す様に直立位状態における左右方向(x方向)・上下方向(y方向)・前後方向(z方向)とし、被験者の姿勢に対して相対的な座標とした。

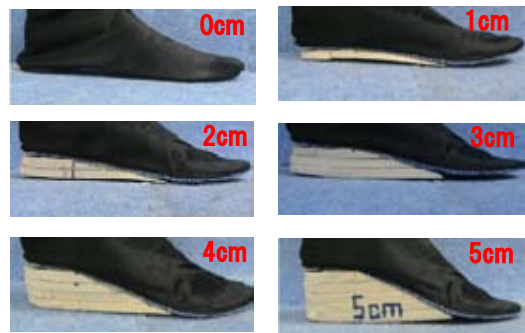


Fig. 1 Thick-soled footwear

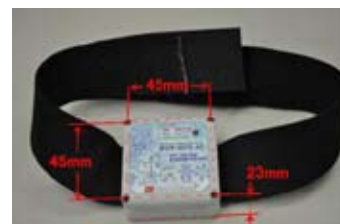


Fig. 2 Wearable accelerometer

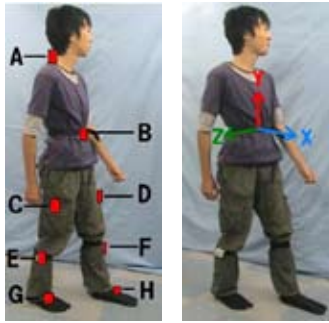


Fig. 3 Sensor positions and coordinates

実験では、文献(2)(3)の平均歩行速度を参考に、歩行距離を6m、歩調を一步75cm(床に目張り)、歩数を8歩(=4周期)、歩行周期を50回/min(メトローム)とした。補高装置は被験者の右足に装着した。測定は補高装置毎に4回行った。なおセンサの数が現在4つなので装着箇所A~DとE~Hの2度に分けて計測を行った。

3. 実験結果

計測したA~H計8箇所のデータを各部位毎にまとめ、0cm~5cmを1つのグラフにした。その中で歩行時の特徴がわかりやすい右足の甲x軸方向の加速度変化をFig.4に示す。また足から最も離れた首後ろのx軸方向の加速度変化をFig.5に示す。Fig.4のわかりやすい歩行の特徴として、踏み出し時に $\pm 5\text{m/s}^2$ 前後の小さい波形の後、着地時による $\pm 20\text{m/s}^2$ 前後の比較的大きな波形が見てとれる。

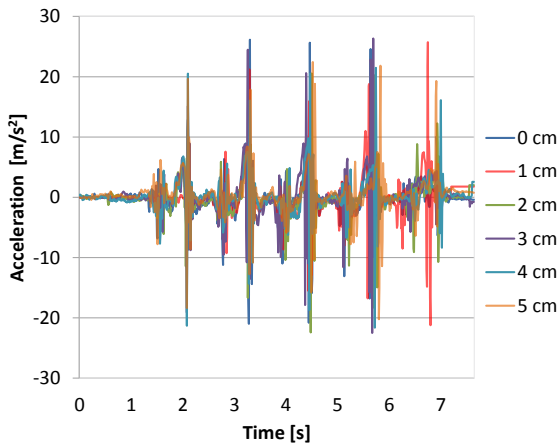


Fig.4 Acceleration of the right instep (x-axis)

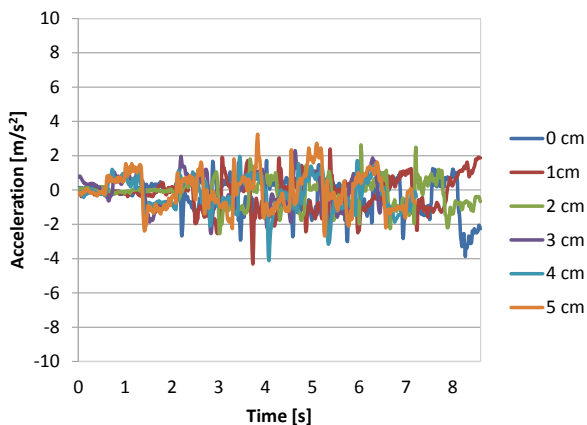


Fig.5 Acceleration of the back of the neck (x-axis)

今回は、着地時における大きい波形に注目して解析を行った。前処理としてマイナスを含めた大きい変化値に注目するため数値を絶対値化する。次に特徴的な加速度変化だけに解析するため、 10m/s^2 の閾値を設定し、踏み出し時における加速度は、閾値より大きい値のみを考慮し、4回歩き別に算出した平均値をFig.6に表示した。Fig.6が補高装置を付けた右足の甲におけるx軸方向加速度での平均分布図である。

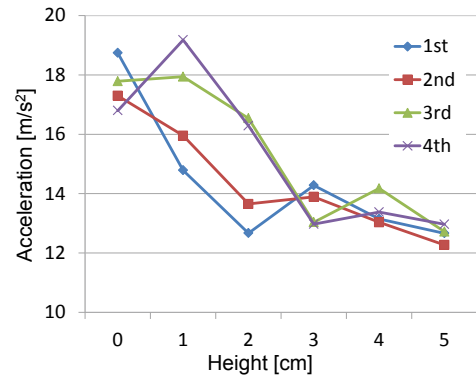


Fig. 6 Average land distribution

Fig.4とFig.5により、右足の甲は首後ろより、補高装置の高さに依存して特徴的な加速度変化が見られる。Fig.4直接A~Hのグラフを比べて見た場合、床に接する足先から離れるほど直接読み取る事が難しい傾向にあった。人間は体全体を強調してバランスを取りながら歩くので、足の長さが異なっても、ほかの部分の動きを制御することで、安定するように歩く。したがって、足から離れたほど、体の調整による効果が効くことがわかる。Fig.6より、補高する高さが高くなるほど加速度が減少する傾向にあることがわかる。補高した場合、補高した足の消費エネルギーは補高するほど減少する傾向にあると考えられる。加速度解析を用いて、墜落性跛行の程度を評価できることが示された。

4. まとめ

加速度解析を用いて手軽に歩行回復の状態を評価するため、墜落性跛行の疑似再現し、身体各部位の加速度を比較した。その結果足先に近い方が特徴を読み出し易い事が分かった。また特徴を抽出して作った分布図では、近似的な線形を見てとれた。下腿部の加速度は、歩行能力評価により有効であることが示された。加速度解析の有効性が示された。今後、さらなる多くの実験による検討を行う。また評価結果を要訓練者に判りやすく提示する方法を開発する。

参考文献

- (1) 石田健司, 王碩玉, 永野正展, 岸孝司, "全方向移動型歩行訓練機を用いた運動訓練の有用性", 運動・物理療法, vol. 19, no. 4, pp. 246-250, 2008.
- (2) Kakushima M, Miyamoto K, Shimizu K, The effect of leg length discrepancy on spinal motion during gait: three-dimensional analysis in healthy volunteers, Spine, vol. 28, no. 21, pp. 2472-2476. 2003.
- (3) ジャクリーン・ペリー: 歩行分析 正常歩行と異常歩行, 医歯薬出版, 2007.
- (4) 鈴木堅二, 歩行障害の診断と評価. リハビリテーションにおける評価, pp. 62-68, 1996.