

赤外線反射マーカの三次元座標を用いた歩行評価の試み

An attempt to evaluate gait using three-dimensional coordinates of infrared reflective markers

学生氏名：楠天晴¹⁾，黒瀧和寿¹⁾，菊池駿也¹⁾

指導教員 齋藤亜由子¹⁾，研究協力者 木澤悟²⁾，森地振一郎³⁾

1) 工学院大学 先進工学部 機械理工学科

2) 秋田工業高等専門学校 創造システム工学科 機械系

3) 東京医科大学 小児科・思春期科学分野

キーワード： Coordinates, Infrared reflective markers, Measurement, Singular value decomposition, Walking Assessment

1. 緒言

脳性麻痺とは筋肉の痙縮を特徴とした症候群のことである。出生前に生じる脳の奇形や出生後の脳損傷が原因となり、歩容異常を引き起こす。そのため、歩容異常の早期発見はその背景にある疾患の早期発見および治療開始のために重要である。しかし、疾患が軽度である場合には歩容異常を確認することが難しい。脳性麻痺以外にも歩容に異常が認められる疾患は世の中に複数存在するため、疾患の早期発見につなげることができる精度の良い簡易な歩行評価手法が求められている。

そこで本実験では、歩容異常を簡易かつ定量的に計測することを目標とし、光学式モーションキャプチャによる少数のマーカを用いた歩行評価を行う。本研究においては、健常者による通常歩行と2種類の異常歩行の模倣動作を対象として、下肢に添付した4個のみの赤外線反射マーカの三次元座標を用い、歩行評価を試みる。

2. 実験

被験者は身長1710mm、体重51kg、体格指数17.44の健常成人男性である。実験においては、光学式三次元動作解析装置（Vicon社製、Bonita10）を用いた歩行計測を行った。実験室座標系はX軸正方向を歩行者右手方向、Y軸正方向を進行方向とした

右手座標系で定義している。参加者に貼付した16個のマーカはPlug-in Gait Lower body マーカセットを参照した。光学式三次元動作解析装置のサンプリング周波数は100 Hzである。

被験者は通常歩行と、両膝内側をこすりながら歩くはさみ足歩行、左下肢が麻痺した状態を想定し、左脚で大きな円を描くように振りまわす歩き方のぶん回し歩行の3種類の歩行を行う。ぶん回し歩行は左右非対称であるため左右の一步行周期をそれぞれ解析に用いる。

3. マーカ座標の協調評価

3・1 特異値分解（協調評価方法）

特異値分解の解析区間は、右脚の一步行周期である。計測結果の特異値分解に基づく関節間協調の評価手法を適用することにより、歩行時におけるマーカの動きを定量的に示す。

はじめに、計測実験により得られたマーカの三次元座標を用いて、多次元空間を構成する観測行列を構築する。特異値分解においては、関節可動域や身体部位の動きの大きさの違いを考慮し、単位を排除して時系列データの観測行列を構築する。計測実験により得られたマーカの座標を-1 から 1 までの大きさで表される無次元量に変換した後、式(1)に示す観測行列 $R(X, Y, t)$ を構築する。

$$R_{(X,t)} = \begin{bmatrix} X_{LKNE(t_1)} & Y_{LKNE(t_1)} & X_{RKNE(t_1)} & Y_{RKNE(t_1)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{LKNE(t_m)} & Y_{LKNE(t_m)} & X_{RKNE(t_m)} & Y_{RKNE(t_m)} \\ X_{LANk(t_1)} & Y_{LANk(t_1)} & X_{RANK(t_1)} & Y_{RANK(t_1)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{LANk(t_m)} & Y_{LANk(t_m)} & X_{RANK(t_m)} & Y_{RANK(t_m)} \end{bmatrix} \quad (1)$$

ここで、観測方程式内の各値はマーカの X 座標、Y 座標を無次元化した値であり、n は時系列データ数である。特異値分解においては、観測行列(式(1))をマーカ X・Y 座標の無次元量同士が互いに直交する基底ベクトルで展開する(式(2))。

$$R(X,Y,t) = \sum_{j=1}^n \lambda_j v_j(t) Z_j r(X) \quad (j = 1, \dots, n, n = 8) \quad (2)$$

ここで、 $V_j(t)$ は基底ベクトル $R(X,Y,t)R(X,Y,t)^T$ の固有ベクトル、 $Z_j(X,Y)$ は $R(X,Y,t)^T R(X,Y,t)$ の固有ベクトルである。 λ_j は各正規直交基底ベクトルの寄与率であり、値の大きい順に第 1 モード、第 2 モードとした運動モードを表す。

なお本研究では、歩行の特徴を 3 次元的に得るため、X・Z 座標、Y・Z 座標に関する解析を同様に言い、三平面に関する考察を行う。

3・2 結果

寄与率の総和を 100%とした運動モードの寄与率を算出し、すべての試行において最も寄与率が高く、特徴的な傾向を示す第 1 モードについて考察する。

通常歩行の結果(図 1)は左足首の変位が大きいことから右脚立脚期が第一モードに表れていることが分かる。本結果からは右脚立脚期における各部位の一般的な変位を確認することができた。

はさみ足歩行(図 2)では、右足首の Y 座標の変位が大きく、右脚遊脚期が第一モードに表れていることが分かる。左脚は立脚期にもかかわらず、左脚の座標の変位が大きいことから、立脚期においてもかかとを浮かせていることが示唆された。

ぶん回し歩行(図 3, 4)では右脚一歩行周期の結果に特徴が確認できた。左足釘の X 座標が負の値になっていることから、左脚が外側にぶん回されて歩いていることが分かる。

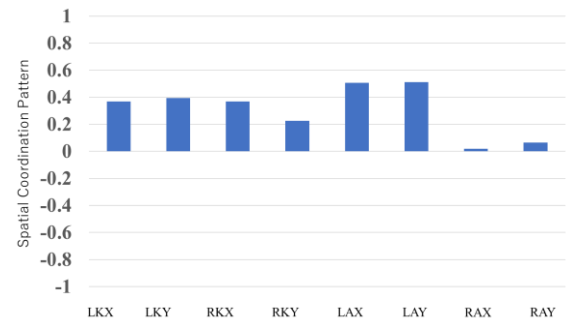


Fig.1 Normal gait

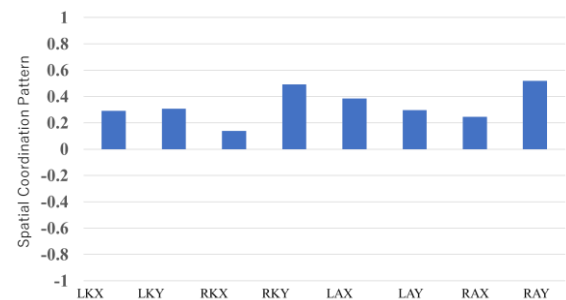


Fig.2 Scissors gait

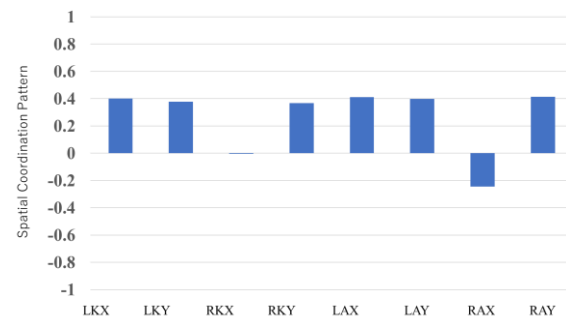


Fig.3 Circumduction gait (Left gait cycle)

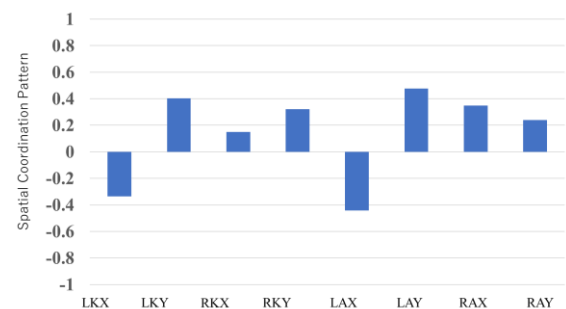


Fig.4 Circumduction gait (Right gait cycle)

4. 結言

本研究では被験者の負担を軽減するために少数のマーカのみを使用し、歩行評価の指標を検討した。健康成人が通常歩行に加えて二種類の異常歩行を模倣し、特異値分解を用いたマーカ座標間の協調評価を行った。本結果より、提案手法では、はさみ歩行とぶん回し歩行における特徴を得ることができた。