

車いす座位姿勢推定システム ~脊椎形状推定手法の評価~

Estimation System of Seated Posture on Wheelchairs

~Evaluation of Spinal Curve Estimation Method

○ 花房昭彦 (芝浦工業大学), 池田知純 (職業能力開発総合大学校),
鈴木直樹 (東京慈恵会医科大学), 服部麻木 (東京慈恵会医科大学)

Akihiko HANAFUSA, Shibaura Institute of Technology

Tomozumi IKEDA, Polytechnic University

Naoki SUZUKI, The Jikei University School of Medicine

Asaki HATTORI, The Jikei University School of Medicine

Abstract: Seated posture on the wheelchair is important as it may affect motor performance and cause swallowing and respiratory problems. One of evaluation indicators of posture is the shape of spinal curve. However, as it is impossible to measure the shape directly during the patients are seated, the system that can estimate the shape of spinal curve has been developed. The shape is estimated by the finite element method (FEM) using beam elements. One of the features of the system is that the shape can be altered by changing the material property of the elements. The co-ordinates of markers put on the back vertebra line of the subject are measured by 3D motion analysis system and the estimated shapes are compared with the marker positions in several cases of subject's flexion movement. By changing the material properties between thoracic and lumbar parts, the estimated shapes were able to match with the marker position.

Key Words: Seated Posture, Wheelchair, Spinal Curve

1. はじめに

車いす上の座位姿勢に問題があると、車いすがこぎにくくなる、自発的な活動が抑制されるという問題が生ずるだけでなく、特に自力で姿勢を動かさない対象者では褥瘡が発生したり、嚥下や呼吸が行い難くなるといった問題が生じる場合がある。このため、近年車いす上の対象者の座位姿勢がますます重要視されるようになってきており、アクティブ・バランス・シーティング⁽¹⁾、キャスパーアプローチ⁽²⁾など様々な考え方が提唱されるようになってきている。筆者らは、これら座位姿勢の評価をバイオメカニズムの観点⁽³⁾から行うことが可能な機能を、開発中の車いす駆動解析システム⁽⁴⁾に追加することを目指している。姿勢評価の指標の一つとして、対象者の脊椎形状が重要な指標として挙げられているが、座位姿勢時の脊椎変形形状の直接的な計測は困難なため、その姿勢の良否は外観の観察、体の各部位の傾き計測(ISO16840)などによって行われてきた⁽⁵⁾。筆者らは、腰椎最下端と胸椎最上端の始終点位置とその方向ベクトルが求まることを前提として、その間の脊椎形状を、梁要素を用いた有限要素法により推定する手法を開発した⁽⁶⁾。本手法は、脊椎、椎間板の材料特性を変更することによって推定形状を変化させることが可能な点の特徴である。本報告では、本手法による推定形状を、健常被験者が屈曲動作を行った時の計測形状と比較することによって評価した結果を報告する。

2. 脊椎形状推定手法

骨盤部の腰椎最下端(第五腰椎最下端)と頸部の胸椎最上端(第一胸椎最上端)の三次元座標軸 (X_p, Y_p, Z_p) , (X_c, Y_c, Z_c) を Fig.1 に示すように定義する。ここで X 軸周りの回転は体幹の前後方向の屈曲(θ_x), Y 軸周りは左右方向の側屈(θ_y), Z 軸周りは左右の回旋(θ_z)とする。脊椎と椎間板個々の回転と平行移動を含む変換行列(RT_i)によって脊椎形状を定義することができる。本手法では、腰椎(L1~L5)から

胸椎(T1~T12)までを対象とした。このとき(1)式のように個々の脊椎による変換行列(RT_i)の積が (X_p, Y_p, Z_p) , (X_c, Y_c, Z_c) 間の変換行列 RT_{CP} と等しくなる必要がある。

脊椎形状を推定するには、全体の変換行列 RT_{CP} から個々の RT_i を求める逆問題を解く必要がある。本手法では、個々の脊椎と椎間板を梁要素とする有限要素法によって、この問題を解いた。基本的には、定義した材料特性による歪エネルギーと外力による仕事の総和となるポテンシャルエネルギーが最小となる解を求めていることになる。有限要素法を用いていることから、材料特性を変えることによって形状の変更が可能であり、また外力を考慮することも可能である。本システムは MATLAB (MathWorks 社)によって構築したが、要素数が 33 と少ないこともあり、数秒と短時間で処理が終了する。

3. 計測方法と推定結果の比較

男性(21歳)の被験者1名に、Fig.2 に示すようにマーカーを設置し、MAC 3D System により姿勢の三次元計測を行った。

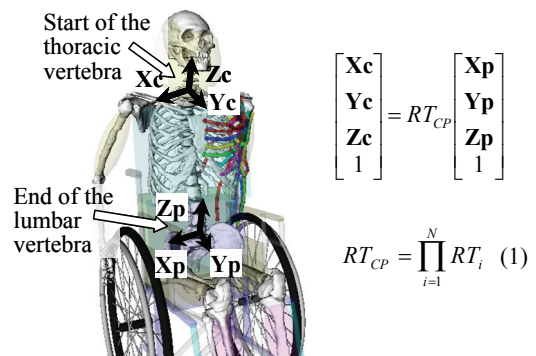


Fig.1 Definition of spinal curvature shape

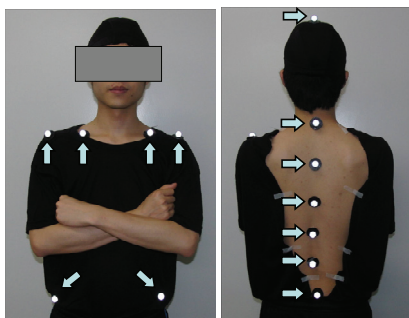


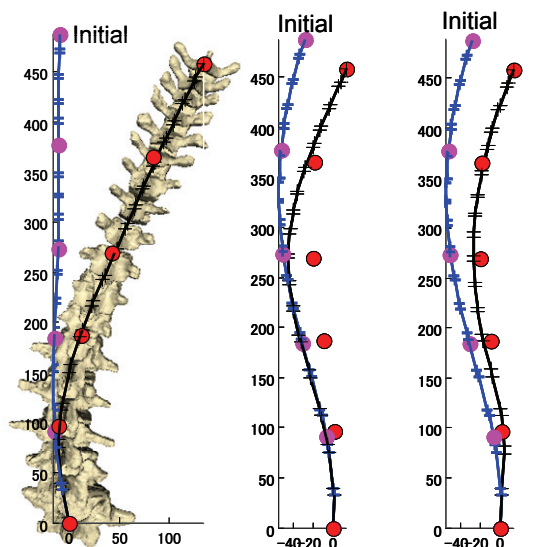
Fig.2 Position of markers on the subject

マーカーは、頭頂、肩峰、鎖骨、腸骨稜、腰椎と胸椎の棘突起に計 13 個設置した。そのうち腰椎と胸椎部のマーカーは 6 個である。直立、前屈、後屈、右側屈、左側屈、右旋回、左旋回の各動作を、静止した状態で計測した。

腰椎と胸椎部の最下部のマーカーを腰椎最下端、最上部を胸椎最上端として、脊椎形状の推定を行った。直立時にマーカーの三次元座標をスプライン補間して得られた脊椎形状を基本とし、体幹を運動したときの脊椎形状を有限要素法により推定した。ただし、腰部の運動を除外するため、運動前後の腸骨稜 2 点と腰椎最下端マーカーから構成される三角形の面は一致させるように初期座標変換した。

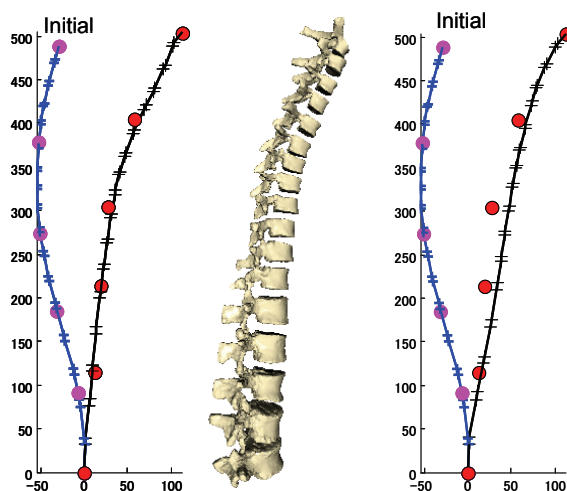
右に側屈した例を Fig.3 に示す。丸は運動前後の計測時のマーカー位置を示す。(a)は背後からの図であり、(b)(c)は右側面からの図である。背後からの図では、マーカーが推定脊椎形状の実線上に乗っているが、右側面からの図(b)では中間のマーカーが一致していないことがわかる。(c)は腰椎部の椎間板のヤング率を胸椎部のものに比べて 0.01 倍と小さくして推定した結果である。胸椎部の屈曲が少ない脊椎形状となり、この場合の方がマーカー位置との乖離が小さい結果となった。

前屈した例を Fig.4 に示す。この例では、腰椎部と胸椎部のヤング率が等しい結果(a)の方が、腰椎の方を 0.01 倍にした結果(b)よりマーカー位置との乖離が小さい結果となった。また前屈していくにつれて、各マーカー間の距離が伸び、椎間間の距離も伸びる推定結果となった。これはマーカーが中立軸となる脊椎からは外側に設置されているためであり、この点の考慮を今後行っていく必要がある。



(a) Back view (b) Right side view (c) Soft lumbus

Fig.3 Simulation result of lateral folding



(a) Same thoracic and lumbar stiffness (b) Soft lumbus

Fig.4 Simulation result of forward bending

4. まとめ

梁要素を用いた有限要素法を脊椎形状推定に利用する方法を開発した。本手法では脊椎の材料特性を変化させることにより、推定形状を変化させることができる。脊椎にマーカーをつけて計測した結果と比較したところ、適切な材料特性を設定することにより、計測結果とほぼ等しい形状を生成することが可能であった。ただし、屈曲の方向によって適した値が異なることから、材料特性値の設定方法の検討を今後もすすめていく必要がある。

今後は、重力の影響も考慮した評価の方法や、より変形の大きい対象者での適用可否についても検討を進め、座位姿勢のバイオメカニズム的な観点からの評価が行えるシステムの開発を目指していきたい。

謝辞

本研究は、科学研究費補助金基盤研究(C)課題番号 22500515 の助成による。

参考文献

- (1) 塚田敦史 他, “特集「アクティブ・バランス・シーティング」”, リハビリテーションエンジニアリング, Vol.22, No.1, pp.1-51, 2007.
- (2) 村上潤, “生活を豊かにするたまの姿づくり 障害の重い人々へのキャスパー・アプローチによる挑戦”, ジアース教育新社, 2011.
- (3) 廣瀬秀行, “座位保持とバイオメカニズム”, バイオメカニズム学会誌, Vol.31, No.1, pp.8-11, 2007.
- (4) 花房昭彦 他, “筋を定義した人体モデルによる車いす駆動動作解析～着座位置の違いによる評価～”, コンピュータ外科学会誌, Vol.9, No.1, pp.23-35, 2007.
- (5) 半田隆志 他, “ISO16480-1の胸部脊柱側彎計測への応用可能性”, ライフサポート, Vol.23, No.1, pp.19-25, 2011.
- (6) 花房昭彦 他, “梁要素を用いた有限要素法による脊椎形状の推定”, コンピュータ外科学会誌, Vol.12, No.3, pp.298-299, 2010.