

椎骨への力学的負荷計算が可能な人物画像からの背骨姿勢推定に関する予備的検討

A Preliminary Study on Human Spine Posture Estimation from Human Images to Calculate Physical Forces Working on Vertebrae

古川大介 北坂孝幸* 森 健策* 末永康仁* 間瀬健二** 高橋友一***

Daisuke Furukawa Takayuki Kitasaka* Kensaku Mori* Yasuhiro Suenaga* Kenji Mase** Tomoichi Takahashi***

名古屋大学大学院工学研究科

*名古屋大学大学院情報科学研究科

Graduate School of Engineering, Nagoya University

*Graduate School of Information Science, Nagoya University

**名古屋大学情報連携基盤センター

***名城大学理工学部

**Information Technology Center, Nagoya University

***Faculty of Science and Technology, Meijo University

1. はじめに

重いものを急に持ち上げることによる腰痛などの、背骨の損傷による疾患は我々にとって非常に身近であり、これらの疾患の要因の1つである背骨にかかる負荷の解析手法への関心が高まっている。我々はこれまで、ビデオカメラより得られた人物画像から椎骨の位置と方向を推定するための背骨モデルと背骨姿勢推定手法を提案してきた [1]。しかし、この手法は背骨姿勢のみを推定しており、椎骨に作用する力学的な負荷の推定は実現されていなかった。そこで本稿では、背骨姿勢と椎骨上面に作用する力を同時に推定可能な背骨姿勢推定法を報告する。

2. 背骨姿勢推定と椎骨への負荷計算法

本手法では、推定対象を椎骨に作用する力のつりあいより決定できる背骨姿勢に限定する。入力としてビデオカメラにより撮影された人物画像を用いる。人物画像から首と腰の位置、および頭部、両腕部の重心位置を推定するために、人体各部位を楕円体で近似した全身モデルの当てはめを行う。全身モデルの胴体上部に対応する楕円体の頭頂を首の位置 r_{neck} 、胴体下部に対応する楕円体の重心位置を腰の位置 r_{waist} と定義する。また、頭部、両腕部の重心位置 r_h, r_l, r_r はそれぞれ、対応する楕円体の重心位置とする。全身モデルの当てはめには、従来より提案されている一般的な姿勢推定手法が利用可能であるが、今回は手動でモデル当てはめを行った。

背骨モデル下端の椎骨の位置、方向と、全身モデルを用いて推定した腰の位置、方向が一致するように背骨モデルを平行移動、回転させる。背骨モデルの概要は、参考文献 [1] を参照されたい。次に、背骨モデルの上端の椎骨を r_{neck} に向かって微小距離移動させる。 n 回目の反復処理における上端の椎骨の位置 $r_{top}(n)$ は以下の式で表される。

$$r_{top}(n) = r_{top}(n-1) + \delta d \quad (1)$$

ここで、 $d = r_{neck} - r_{top}(0)$ であり、 δd はベクトル d に沿った微小変位を表す。また、 $r_{top}(0)$ は変形前の椎骨の位置を示す。この移動は上端の椎骨が首の位置 r_{neck} に達するまで反復的に行われる。

上端の椎骨を1回移動させるたびに、モデルの力学的平衡状態を計算する。 i 番目の椎骨には、 $i-1$ 番目と i 番目の椎骨重心間の胴体部の重量、および i 番目の椎骨に張られたばねからの反発力が作用する。つまり、 i 番目の椎骨に作用する力とモーメント F_i, M_i は、 i 番目の椎骨の姿勢 (椎骨の重心位置 r_i と重心まわりの回転角度 θ_i) に依存すると同時に、 $i-1$ 番目と $i+1$ 番目の椎骨の姿勢に依存する。本手法では、各椎骨が静力学的な力のつりあい状態にあることを仮定しているため、以下の式が常に成り立つ。

$$F_i(r_{i-1}, \theta_{i-1}, r_i, \theta_i, r_{i+1}, \theta_{i+1}) = 0 \quad (2)$$

$$M_i(r_{i-1}, \theta_{i-1}, r_i, \theta_i, r_{i+1}, \theta_{i+1}) = 0 \quad (3)$$

したがって、上端と下端の椎骨を除く $N-2$ 個の椎骨の姿勢決定問題は、 $2 \times (N-2)$ 個の非線形連立方程式の求解問題に帰着する。これらの連立方程式の求解には、ニュートン・ラフソン法を用いる。

本モデルでは上端の椎骨が頭部、腕部の重量を支えていると仮定する。したがって、上端の椎骨には以下の式に示される力とトルクが働く。

$$F_{top} = W_h + W_l + W_r \quad (4)$$

$$M_{top} = r_h \times W_h + r_l \times W_l + r_r \times W_r \quad (5)$$

ここで、 W_h, W_l, W_r は頭部、両腕部の重量である。また、 \times はベクトル同士の外積を表す。 F_{top}, M_{top} は、上端の椎骨下面に張られたばねより働く力、トルクと等しくなければならない。本手法では、式 (1) により上端の椎骨を移動させるため、この条件は厳密には満たされない。そこで、上端の椎骨を鉛直

方向に平行移動させ、この条件を満たすような椎骨位置を探索する。

i 番目の椎骨上面に作用する力は、上述の姿勢推定を行った後、 $i-1$ 番目と i 番目の椎骨重心間の胴体部の重量、椎骨上面に張られたばねより椎骨に作用する力の和を計算することにより得られる。

3. 実験および考察

本手法をビデオカメラより撮影された人物画像に適用し、椎骨上面に作用する力を推定した。被験者は、直立姿勢で両手で40Nの重りを持っている。また、頭部、胴体部、腕部の重量はそれぞれ35N, 252N, 32Nを仮定している。これらの設定は、Schultzら [2] により行われた数値計算とはほぼ同じ状況である。本実験では、椎間板の材質特性としてヤング率500MPa、ポアソン比0.3を用いる。椎間板を近似するばねのばね定数は、これらの値の近似値となるよう決定した。背骨姿勢推定結果を図1に示す。本手法により推定されたモデル下端の椎骨上面に作用する力は、約330Nだった。使用した計算機はPentium4 2.8GHzのPCで、計算時間は約49秒だった。

同様の環境を仮定したSchultzらの計算では、椎骨上面に作用する力は約391Nであり、本手法により得られた約330Nという値はSchultzらの計算結果に近いものである。したがって、本手法はSchultzらのモデルと同程度の精度で椎骨に作用する力の推定が可能といえる。また、本手法はビデオカメラより得られた人物画像から自動で背骨姿勢を推定するため、Schultzらの手法と異なり、事前に対象人物の姿勢を仮定することなく、前屈や側屈など任意の姿勢における椎骨への負荷推定が可能である。

4. むすび

本稿では、背骨姿勢と椎骨上面に作用する力を同時に推定可能な背骨姿勢推定法について述べた。人物実画像への適用実験から、本手法では椎骨に作用する力を推定可能であることを確認した。今後の課題としては、椎骨へ作用する力学的負荷に関する解剖学やバイオメカニクスの観点からの精度検証が挙げられる。

謝辞 MRI画像の撮影に御協力頂いた東京女子医科大学伊関洋博士、苗村潔博士に感謝する。本研究の一部は、文部科学省・日本学術振興会科学研究費補助金、21世紀COEプログラム「社会情報基盤のための音声映像の知的統合」、ならびに厚生労働省がん研究助成金による。

参考文献

[1] D.Furukawa et al., "Human Spine Posture Estimation from 2D Frontal and Lateral Views Using 3D Physically Accurate Spine Model," IEICE Trans. on Info. and Sys. (in print).

[2] A.B.Schultz et al., "Analysis of Loads on the Lumbar Spine," Spine, vol.6, no.1, pp.76-82, 1981.

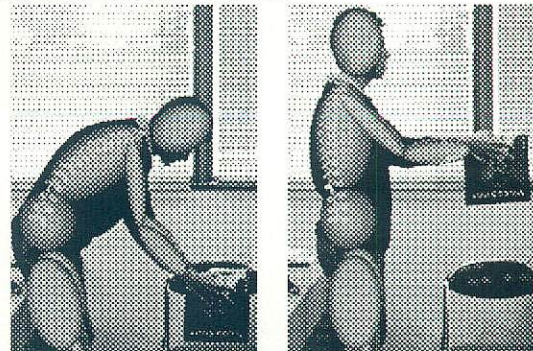


図1: 背骨姿勢推定結果。