

Biomechanical analysis of osteoporotic spines with diseases using CT-based finite element method

モハマド ハズリ, ビン マズラン

<https://doi.org/10.15017/1785431>

出版情報：九州大学, 2016, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：全文ファイル公表済

氏 名 Muhammad Hazli bin Mazlan (もはまど はずり びん まずらん)

論 文 名 : Biomechanical analysis of osteoporotic spines with diseases
using CT-based finite element method

(CT 画像を利用した有限要素法による疾患を有する骨粗鬆症脊椎の生体力学解析)

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

加齢とともに骨密度が低下する骨粗鬆症が社会的問題となっている。骨粗鬆症に罹患すると骨密度が大幅に低下し骨折が生じやすくなり、特に脊椎に生じる椎体圧迫骨折 (VCF) の患者数が多いことが知られている。VCF が生じた患者に対しては、様々な整形外科的治療法が施されている。最近では、骨折部を内部からバルーンで拡大後、アクリル樹脂製の骨セメントを注入するバルーン椎体形成術 (BKP) が行われるようになってきている。また、人工物のケージ、ロッド、スクリューで固定する脊椎固定術も多く行われている。しかし、BKP 後に再び他の箇所でも椎体圧迫骨折が生じることが問題となっており、BKP による力学環境の変化に起因していると考えられるが、そのメカニズムについては明らかになっていない。また、脊椎固定術についても整形外科医の経験にのみ依存しており、ケージやスクリュー等が脊椎に及ぼす力学的影響については、いまだ不明なことが多いのが現状である。一方、シミュレーション技術の発展により、CT 画像をもちいて複雑な構造と骨密度分布をもつ骨格の 3 次元数値モデルを構築することが可能になってきており、様々な整形外科の臨床問題に応用されている。

本論文は、骨粗鬆症を有し VCF が生じた脊椎の CT 画像をもちいて、骨密度分布を考慮した数値モデルを作成し、VCF や BKP が脊椎の力学状態に及ぼす影響を検討している。また、脊椎固定術において、ケージの材質や挿入する個数が脊椎の力学状態に及ぼす影響について考察している。さらに、損傷モデルを導入した骨損傷解析を行い、治療後に椎体に生じる損傷の可能性について詳細に検討している。

1 章では、研究の背景と目的について述べている。まず、脊椎構造と骨粗鬆症について概説し、続いて VCF の重要性と BKP の現状、および続発性椎体圧迫骨折について説明している。さらに、脊椎固定術について概説し、その問題点について説明してい

る。本研究は、このような背景の下、実際の骨粗鬆症を有した VCF 患者の CT 画像より脊椎を部分的に抽出した数値モデルを構築し、VCF や BKP が脊椎の力学状態に及ぼす影響を明らかにするとともに、続発性圧迫骨折のメカニズムを明らかにすることを目的としている。さらに椎体形成術において、ケージの材質やケージ個数の影響を明らかにすることを目的としている。

2 章では、骨粗鬆症を有する VCF 患者の脊椎の CT 画像を用いて、骨密度分布を考慮した 3 次元数値モデルの作成方法について詳細に説明している。さらに、有限要素法に組み込んだ損傷モデルについて説明し、損傷発生の評価方法について述べている。さらに応力状態や骨密度分布の評価法について説明している。

3 章では、2 章で説明したモデル構築法に基づき、VCF 形態と年齢が異なる 3 名の患者の脊椎と健康な 1 名の脊椎の CT 画像を用いてモデルを作成し、VCF 形態と年齢が脊椎の力学状態に及ぼす影響について詳細に調べている。その結果、fish 型 VCF を有し骨密度が最も低く分布している 86 歳の脊椎において、最も応力が高く骨損傷の発生と累積が生じやすいことを見出している。

4 章では、まず骨粗鬆症を有し VCF が生じた 1 名の高齢患者の CT 画像より、BKP 前後での脊椎モデルを作成し比較検討を行っている。その結果、BKP により骨折部の力学状態は一様化し力学的に安定になったが、その上下の椎体の力学状態が変化し、特に、下方の椎体において、損傷発生の危険性が増大したことを明らかにしている。次に、BKP が施してある 74 歳と 88 歳の 2 名の患者のモデルを用いて力学状態の差異について比較検討している。その結果、骨粗鬆症が進み大幅に骨密度が低下した 88 歳の患者において、BKP 後の骨損傷の発生の危険性が著しく増大することを見出している。

5 章では、健全な状態の脊椎モデルの中央椎間板部に、PEEK 製とチタン製のケージをそれぞれ 1 個と 2 個挿入した計 4 種類のモデルを作成し、比較検討を行っている。その結果、ケージを 2 個挿入した場合は、ケージ周囲での応力集中により骨損傷が発生しやすいため、より多くの骨損傷が発生することが明らかになっている。また、PEEK ケージが 1 個のみの場合が最も安全性に優れることを見出している。

6 章は総括であり、各解析から得られた重要事項について説明し、本研究のさらなる発展の可能性と今後の展開について説明している。