

審査の結果の要旨

氏名 松本卓也

本研究は構造物の解析法である有限要素法を骨バイオメカニクスに応用し、生体における骨強度評価を試みたものである。臨床研究では、原発性骨粗鬆症患者の日常生活動作における椎体の脆弱性の評価すること、基礎研究ではラットを用いて動物実験における有限要素法解析のモデルの開発を目的とし、臨床研究、基礎研究で各々下記の結果を得ている。

臨床研究

原発性骨粗鬆症患者 41 例の第 2 腰椎椎体を単軸圧縮、前屈位、立位の 3 条件で有限要素法解析を行い

1. 予測骨折荷重は単軸圧縮条件に比べ前屈位条件の方が有意に低い値であることが示された。
2. 予測骨折部位の出現頻度は単軸圧縮条件では頭側中央が最も多く 40%の症例でみられた。同様に立位条件で出現頻度が最も多い部位は頭側中央で出現頻度は 31%であった。一方、前屈位条件では最も多い予測骨折部位は 76 %の症例でみられ、前屈位では頭側前方が他の全ての部位に比べて有意に出現頻度が高いことが示された。
3. 各症例において最小の骨折荷重となる荷重条件は前屈位条件が最も多く、このときに出現する予測骨折部位は、頭側前方が最も多かった。
4. 解析によって予想される椎体の変形は前屈位では前方頭側が陥凹した楔状変形となるが、単軸圧縮・立位の条件下では頭側中央から後方が陥凹した。

基礎研究

ラット脛骨から海綿骨・皮質骨の力学試験標本作製、各々骨密度測定後に力学試験を行い、応力-ひずみ曲線を作成し、ヤング率・臨界応力を計測し

1. 骨密度値とあわせて下記表のごとく骨密度-材料特性の回帰方程式を算出した。

基礎研究

ラット脛骨から海綿骨・皮質骨の力学試験標本作製、各々骨密度測定後に力学試験を行い、応力-ひずみ曲線を作成、ヤング率・臨界応力を計測し

2. 骨密度値とあわせて下記表のごとく骨密度-材料特性の回帰方程式を算出した。

ヤング率

密度 ρ [g/cm ³]	ヤング率 E
$0 \leq \rho \leq 0.5$	$E=1378.4 \rho^{1.54}$
$0.5 < \rho < 1$	$E=1912.5 \rho - 482.5$
$1 < \rho$	$E=1430.9 \rho^{14.24}$

臨界応力

密度 ρ [g/cm ³]	臨界応力 S [MPa]
$0 \leq \rho \leq 0.5$	$S = 69.3 \rho^{1.99}$
$0.5 < \rho < 1$	$S = 27.8 \rho^{-3.45}$
$1 \leq \rho$	$S = 31.3 \rho^{5.39}$

ラット大腿骨を力学試験機による圧縮試験を行い、上記の骨密度-材料特性を用いた有限要素解析による骨折強度、骨折部位を解析し、予測解析の精度を検証し

3. x 軸を力学試験破壊荷重、y 軸を有限要素解析での破壊荷重とした回帰直線は、 $y = 0.8652x + 0.1774$ 、相関係数は 0.892、 $P < 0.005$ と有限要素法解析は精度高く力学試験の骨折荷重を予測できることが示された。
4. 力学試験終了後に撮影した μ CT データを 3 次元再構成した画像と有限要素モデルの解析結果の重ね合わせによりほぼ全例で実験による骨折部と有限要素法解析での予測骨折部位が一致する傾向にあった。

以上、本論文は CT を用いた有限要素法解析により、臨床研究では日常生活動作における椎体の強度は単軸の圧縮で評価される以上に脆弱であり、楔状変形を来しやすいことを明らかにし、骨粗鬆症の非外傷性椎体骨折に関する重要な知見を得たと考えられる。基礎研究ではラットに骨の材料特性を明らかにし、大腿骨近位部の有限要素法解析のモデルを確立させたことにより、骨粗鬆症や糖尿病など骨脆弱性をきたす疾患モデルなどへの応用が期待できる重要な貢献をなすと考えられ、学位の授与に値するものと考えられる。