

ウシ海綿骨立方体試験片の繰返し圧縮時における強度特性

Structural strength of bovine cancellous cubic specimens under cyclic compression

○遠藤 香織 山田 悟史 東藤 正浩 但野 茂 高畑 雅彦 岩崎 倫政 (北大)

Kaori ENDO, Satoshi YAMADA, Masahiro TODOH, Shigeru TADANO, Masahiko TAKAHATA, Norimasa IWASAKI
Hokkaido University

Abstract: Osteoporotic fracture tends to occur at the area which contains much cancellous bone. It is clinically important to prevent re-fracture, especially vertebral collapse. The aim of this research to measure the decreasing rate of the apparent elastic modulus and yield stress under cyclic compression, and to investigate the effects of the decreasing rate to the structural indices. The specimens taken from femoral metaphysis (met.), neck and head in 2-year-old bovine was cut to 5mm cube along the longitudinal axis. The structural indices was calculated using μ -CT. The cyclic compression test was conducted in the longitudinal direction. The elastic modulus and yield stress gradually reduced. The decreasing rate was positively correlated with BV/TV of the samples. It suggests that the structural indices have the possibility to evaluate the fragility of the cancellous bone and are useful to estimate the risk of vertebral collapse.

Key Words: Osteoporosis, Vertebral collapse, Cancellous bone, Structural indices, Risk of re-fracture

1. 背景

骨粗鬆症を基盤とする脆弱性骨折は海綿骨が多い部位に生じやすく、脊椎圧迫骨折は頻度の高い骨折である¹⁾。椎体骨折は自然に癒合する事が多いが、再骨折(圧壊)が生じやすい。圧壊の予防は临床上重要な課題であるが、リスクの評価方法は確立されていない²⁾。圧壊リスクには海綿骨の構造的、力学的特性の寄与が考えられる。

本研究では、ウシ大腿骨海綿骨から採取した立方体試験片を用いて繰返し圧縮負荷試験を行い、弾性率と降伏応力の変化を計測し、海綿骨の構造特性との関係を調査した。

がばらつくようになっている。

力学試験機(Model 3365, Instron)を用いて、圧縮速度 0.05 mm/min で 0.3 mm 圧縮し、その後 0.2 mm 除荷した。これを 1 サイクルとし、5 サイクル行った(Fig. 2)。各サイクルにおける弾性域より見かけの弾性率、降伏応力を求めた。

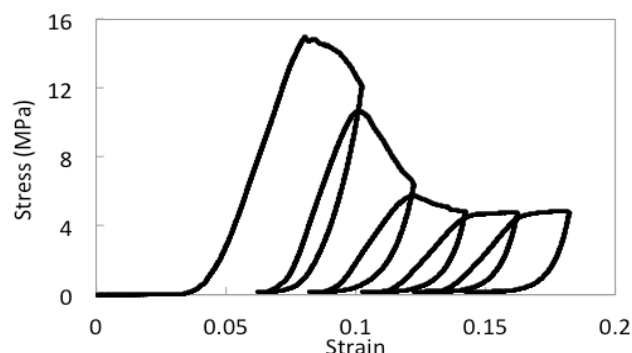


Fig. 2 Stress-strain curves under cyclic compression.

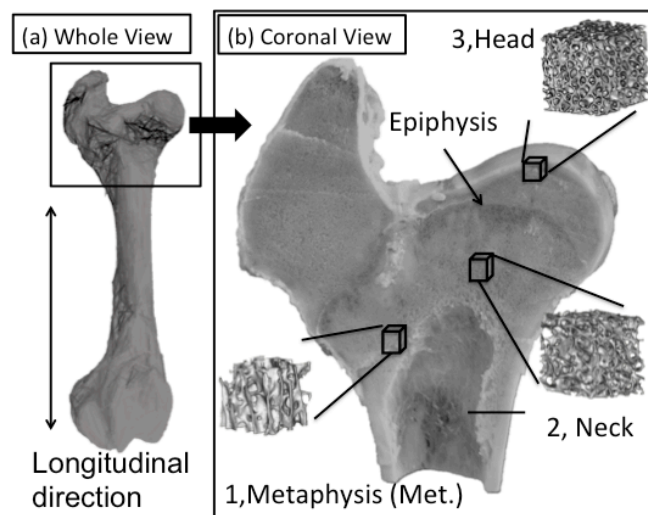


Fig. 1 Specimens preparation: (a) whole view and (b) coronal view.

2. 方法

2歳齢のウシ大腿骨頸部、骨幹部、骨頭部から各5個ずつ、ダイヤモンド・ソー(Model 600, South Bay Technology)を使用し、骨長軸に沿って5×5×5 mmの海綿骨立方体試験片を採取した(Fig. 1)。各試験片はガイドラインに沿った撮影条件により、 μ CTの撮影を行った³⁾。BMDは京都科学MD法骨塩量ファントムと同時撮影を行い算出し、各群で差がない事を確認した。BoneJにより構造特性を計算した。BV/TVは近位に近くなるほど高くなり、試験片はBV/TV

3. 結果

Fig. 3に各部位の構造特性を示す。採取部位により骨密度(BMD)は変化しないが、採取部位が近位になるほどBV/TV, connectivityが高くなった。Degree of Anisotropy, Tb.Th.Meanは部位による違いはなく、他の構造特性との相関も見られなかった。Structural model indexよりmet.とneckでは一部の試験片ではプレート状の骨梁も多いが、ロッド上の骨梁が多い。Headの骨梁は凹状となっている。

Fig. 4に示すように、弾性率および降伏応力は、圧縮試験を繰り返す毎に低下した。1サイクル目と比較した5サイクル目の弾性率および降伏応力は、骨梁密度(BV/TV)が低い骨幹部ではそれぞれ23.5±8.7%, 18.9±7.3%であった。また、BV/TVの高い骨頭部では、62.1±2.4%, 74.1±7.1%にそれぞれ低下した。

Fig. 5に示すように、これらの低下率は、BV/TVが高い海綿骨では弾性率と降伏応力の低下率も大きく、BV/TVが低い海綿骨では低下率は小さかった($r = 0.9, p < 0.05$)。また、他の構造特性ではconnectivity ($r = 0.9, p < 0.05$)、Tb.Sp.Mean ($r = -0.9, p < 0.05$)も、低下率との高い相関を示した。

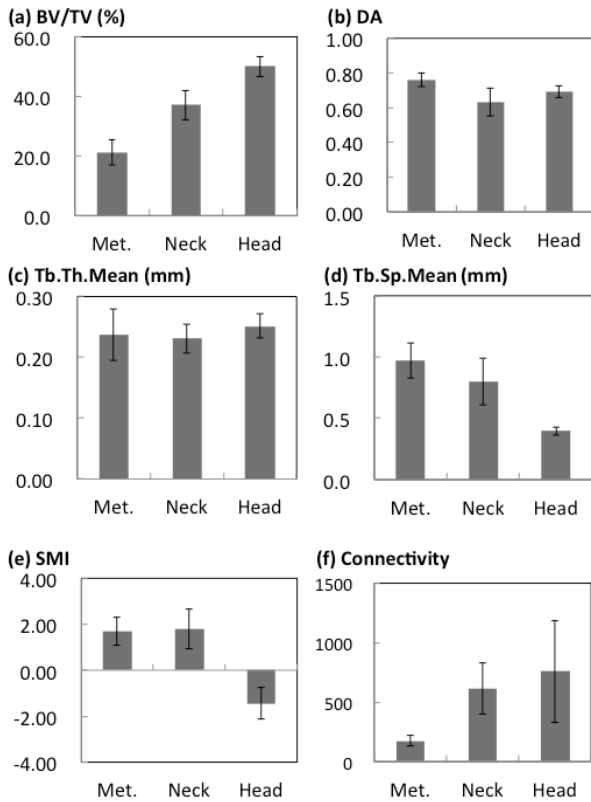


Fig. 3 Bone volume fraction and structural indices of the specimen groups measured by using μ CT: (a) BV/TV, (b) DA (degree of anisotropy; 0 = isotropic, 1 = anisotropic), (c) Tb.Th.Mean (mean value of trabecular thickness), (d) Tb.Sp.Mean (mean value of trabecular space), (e) SMI (structure model index; plate = 0; rod = 3; sphere = 4; concave < 0), and (f) connectivity.

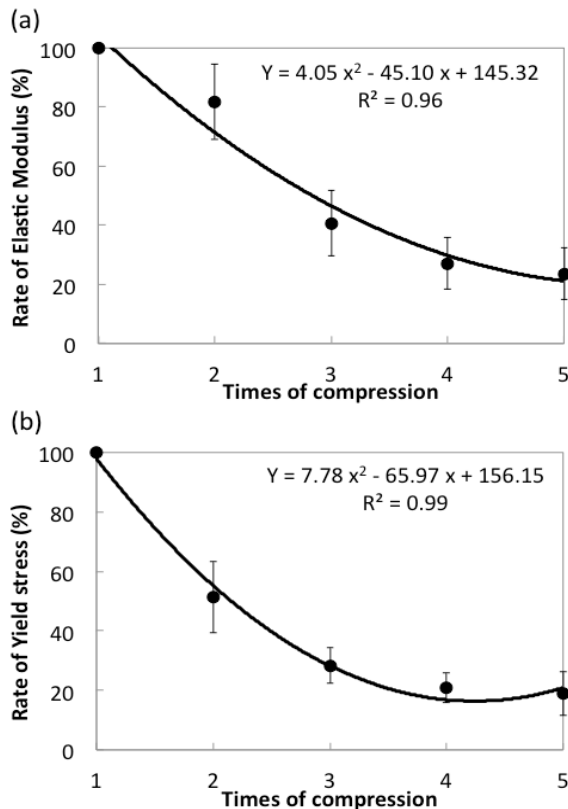


Fig. 4 The decreasing rates of (a) elastic modulus and (b) yield stress at each cycle with respect to the first cycle.

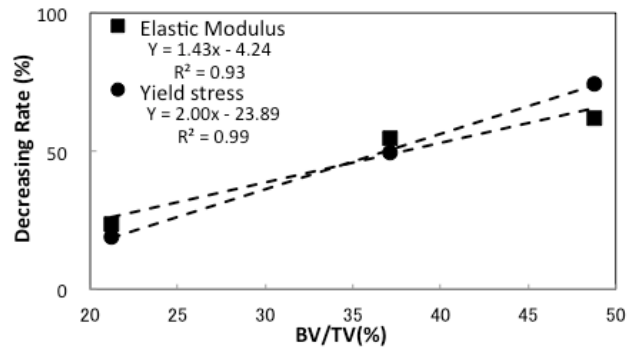


Fig. 5 Relationship between BV/TV and decreasing rates of yield stress and elastic modulus

4. 考察

本研究は、圧縮試験を繰り返す毎に弾性率および降伏応力が低下することを確認した。各サイクルで、骨梁の破壊が生じていると考えられる。特に、1回目の圧縮において大きな低下が認められたことから、一度椎体骨折が生じた場合、早期に診断・治療を開始する重要性が示唆されたと考えられる。さらに、臨床上の椎体高減高から圧壊を起こし得る応力が推定できる可能性も考えられる。 μ CTを用いた構造特性のうち、BV/TV、Tb.Sp.Mean、Connectivityは力学的特性の低下と相関が高く、圧壊を起こし得る応力推定の可能性を示唆した。臨床では、最小スライス厚 $200\mu\text{m}$ に再構成した CT 画像により構造特性の算出が可能である。今後、ヒト疾患骨検体や実臨床の画像から構造特性を算出し、臨床成績と比較していくことで圧壊リスクを評価できる可能性がある。

ただし、本研究では皮質骨の影響を含んでいない。各患者の正確な圧壊リスクの予測のためには、皮質骨を含んだ影響を加味する必要がある。実際の椎体骨を使用する際にも、ウシ試験片はヒトとは椎体骨が受ける荷重方向が異なるため、二足歩行動物の椎体骨での検討が必要である。

参考文献

- (1) Johnell O, Kanis JA, An estimate of the worldwide prevalence and disability associated with osteoporotic fractures. *Osteoporosis International*, vol.17, no.12, p.1726-33, 2006
- (2) AUKanis JA, Borgstrom F, et al., Assessment of fracture risk, *Osteoporosis International*, vol.16, no.6, p.581-9, 2005
- (3) Bouxsein ML, Boyd SK, et al., Guidelines for assessment of bone microstructure in rodents using micro-computed tomography. *Journal of Bone and Mineral Research*, vol.25, p.1468-86, 2010