

Fig.3 Viscosity of bone marrow as a function of temperature at various shear rates

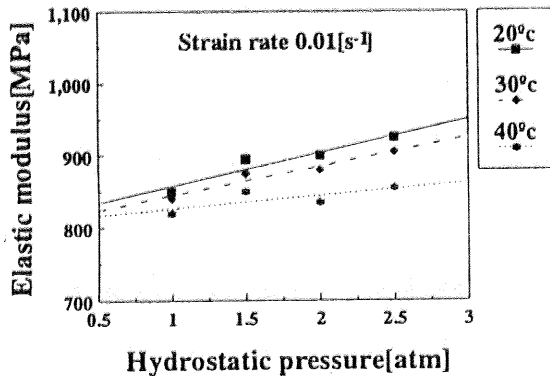


Fig.4 Relationships between hydrostatic pressure and elastic modulus at various temperatures

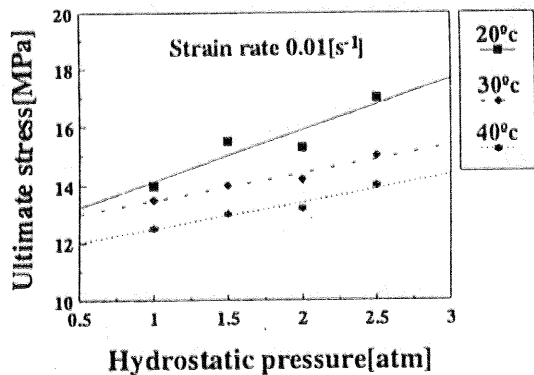


Fig.5 Relationships between hydrostatic pressure and ultimate stress at various temperatures

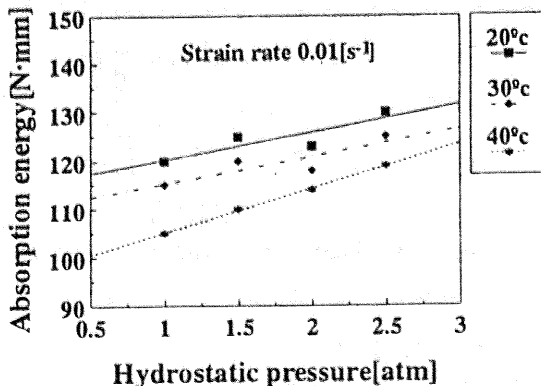


Fig.6 Relationships between hydrostatic pressure and absorption energy at various temperatures

が大きくなる傾向が認められた。図4にひずみ速度 $0.01s^{-1}$ における各温度に対する弾性率と静水圧との関係を示す。各温度における弾性率は静水圧の上昇とともに緩やかに増加した。また弾性率は温度の上昇に伴い若干小さくなる傾向を示した。各温度に対する最大応力および吸収エネルギーと、静水圧の関係を図5および6に示す。最大応力および吸収エネルギーは、弾性率と同様に静水圧が大きくなるにつれて上昇し、温度が高くなるにつれて減少した。ひずみ速度 $0.1s^{-1}$ におけるこれらの関係は、それぞれの値が全体的に大きくなっているが、ひずみ速度 $0.01s^{-1}$ の場合と同様の傾向を示した。

準静的圧縮試験下における海綿骨試験片の弾性率、最大応力および吸収エネルギーは静水圧の上昇に伴い増加した。静水圧は圧縮による試験片内の骨髓流出を試験片の境界で抑制する。静水圧の上昇はこの抑制力の増加を示す。すなわち、抑制力が増加すると試験片内の骨髓はより外部に流れにくい状態となるため、これらの力学的特性が増加したと考えられる。

また、準静的圧縮荷重下における海綿骨試験片の弾性率、最大応力および吸収エネルギーは温度の上昇に伴い減少した。骨は主に繊維状の有機質マトリックス（コラーゲンを主体とする蛋白質）と無機質のカルシウム化合物（ハイドロキシアパタイト $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ ）で構成されている複合材料である。Bonfield¹⁾らはコラーゲン繊維とハイドロキシアパタイトの温度依存性を $-58^{\circ}C$ から $25^{\circ}C$ の範囲で調べた。彼らの研究では力学的特性が温度に依存するのはコラーゲン繊維だけであり、ハイドロキシアパタイトは温度に依存しないということが報告されている。彼らの研究はち密骨を試料としていたが、骨の組成はち密骨も海綿骨もほとんど同じであるといわれており、本研究でも同様のことが推察される。コラーゲンのペプチド鎖、分子および分子間はペプチド結合、水素結合、異種荷電イオン間の牽引力、同種イオン間の反発力、Van der Waals力等により安定を保っている。以上コラーゲン繊維の構造を支えている種々の力の因子は熱により妨害、減少あるいは増強され、その結果コラーゲン繊維の構造が崩れ変化することが知られている。つまり、海綿骨の力学的特性の温度上昇に伴う減少はコラーゲン繊維の化学的構造変化に起因していると思われる。コラーゲン繊維の構造を変化させる因子としては熱の他にも摩擦や高圧などの物理的なもの、さらには化学的なものもあげられ、骨中のコラーゲン繊維は日々の生活の中でいろいろな状況に応じて構造を変えている可能性がある。

4. 結言

以上の結果をまとめると次のようになる。

1. 骨髓の粘度は温度の上昇に伴い減少した。
2. 骨髓を含んだ海綿骨試験片の弾性率、最大応力および吸収エネルギーは温度の上昇に伴い減少し、静水圧の上昇に伴い増加した。

参考文献

- (1) Bonfield, W. and Li, C.H. (1968) The temperature dependence of the deformation of bone. *J. Biomechanics* 1, 323-329.
- (2) Carter, D.R. and Hayes, W.C. (1976) Fatigue life of compact bone- 1, effects of stress amplitude, temperature and density. *J. Biomechanics* 9, 27-34.
- (3) Bryant, J.D. (1983) The effect of impact on the marrow pressure of long bones in vitro. *J. Biomechanics* 16, 659-665.