

412 骨セメントの圧縮強度特性に関する実験的研究

Experimental Study on Compressive Strength Properties of Polymethylmethacrylate

○ 学 平子貴浩 (三重大・院) 正 徳田正孝 (三重大・工) 正 稲葉忠司 (三重大・工)
竹田寛 (三重大・医) 山門亨一郎 (三重大・医) 中塚豊真 (三重大・医)

Takahiro HIRAKO, Masataka TOKUDA, Tadashi INABA, Dept. of Mech. Eng., Mie Univ., Kamihama1515, Tsu,
Kan TAKEDA, Koichiro YAMAKADO, Atsuhiko NAKATSUKA, Dept. of Radiology, Mie Univ., Edobashi2-174, Tsu

Key words: Polymethylmethacrylate, Compressive Strength, Polymerization time, barium concentration

1. 緒言

転移性骨腫瘍の好発部位である椎体骨は疼痛のみならず、荷重が加わることによる病的骨折からの脊髄圧迫症状を誘発することがある。その治療法として、経皮的椎体形成術（経皮的骨セメント注入療法）がある。経皮的椎体形成術は、CT室にて fluoroscopy を用い脊椎の正面および側面像を確認しながら局所麻酔下に針を椎弓根に刺入し、注射器から骨セメントを流入するものである。これは手術時間が短く、手術直後から疼痛を緩和し数日のうちに退院が可能となることから、従来行われてきた椎体固定術では体力的に手術が困難であるような患者に対しても極めて有用であるといえる。

しかしながら、骨セメントは反応後すぐに重合し、骨セメントの固化に至るまでの時間が短いため、経皮的椎体形成術には極めて迅速な作業が要求される。また現在用いられている骨セメントには、硫酸バリウム（造影剤）が10%の質量割合で含まれているが、CT画像における骨セメントの輝度が低く確認が困難であるという問題がある。これらの問題に対しては、硫酸バリウム量を変化させることによって、造影度を向上させ得ると考えられるが、一方で、不純物の増加は骨セメントの圧縮強度の低下を引き起こす可能性も示唆される^{(1),(2)}。そこで本研究では、硫酸バリウムの含有率を変化させた際の骨セメント各々の圧縮強度及び重合時間の測定と、CT画像を用いた造影の度合を調査することにより、骨セメントにおける硫酸バリウムの最適含有条件の検討を試みた。

2. 実験方法

2.1 試験片

本研究で用いた試験片は、現在、経皮的椎体形成術に用いられているジンマー(株)製 Polymethyl-methacrylate 系骨セメント (PMMA セメント) を注射器によって成型したものである。以下に製造過程を示す。

- ① メチルメタクリレートのポリマー粉末に液体モノマーを添加し混合する。
- ② 完全に液体状となったところで容量 6 ml (直径 12.9mm) の注射器により吸引する。
- ③ 固化後、長さ 15mm 程度にカットしたものを試験片とする。
ここで本研究では、混合の際、硫酸バリウムの添加も同時

に行い、バリウム質量割合 10% (通常使用時), 20%, 30%, 40% の試験片を製作した。

2.2 重合時間の測定

試験片製作と同時に骨セメントの重合時間の測定を行った。実際の手術では、医師が手動により骨セメントを体内に注入することを考慮し、骨セメントの液化時に容量 1 ml の注射器にて骨セメントを吸引し、その 5 分後から 10 秒間隔で手動により骨セメントを押し出せるかを調べ、押し出せなくなるまでの時間を重合時間とした。

2.3 圧縮試験

圧縮試験は、島津製作所製複合負荷試験機オートグラフ AG-10TC を用いた。試験条件はクロスヘッド速度 0.2 [mm/min] (圧縮ひずみ速度 $\dot{\epsilon} = 0.002$ [1/sec]) に固定して行った。

3. 実験結果と考察

Fig.1 に硫酸バリウム濃度 10% における骨セメントの公称応力-公称ひずみ曲線を示す。同図が示すように、降伏点以降も脆性的に破壊することなく変形することが観察され、骨セメントがある程度の延性を備えた材料であるといえる。また、バリウム濃度の違いによって骨セメントの応力-ひずみ曲線形状に大きな相違は見られなかった。このことは、バリウム濃度とエネルギー吸収量との相関が少なく、バリウム濃度が高くなっても材料が脆くならないことを示している。

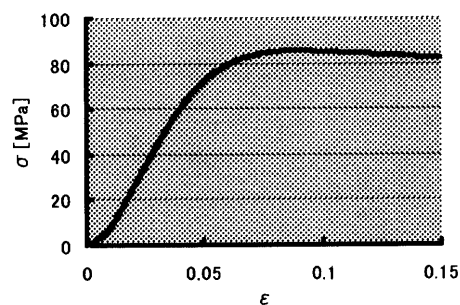


Fig.1 Stress-strain curves in simple compression test for bone cement

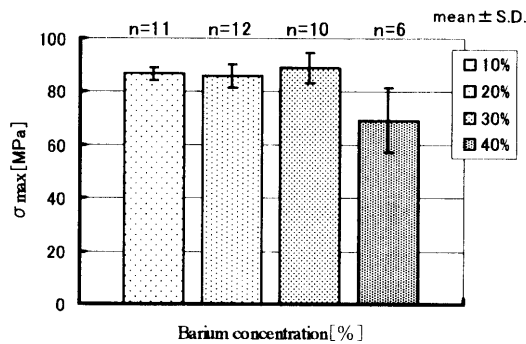


Fig.2 Relationship between maximum stress and barium concentration

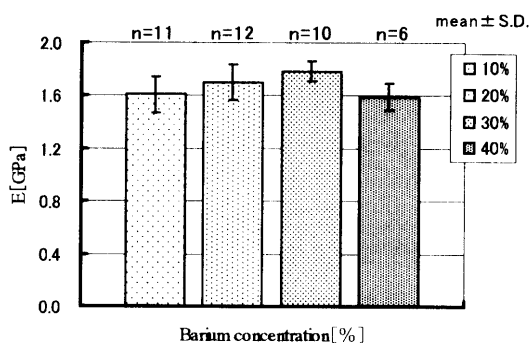


Fig.3 Relationship between modulus of elasticity and barium concentration

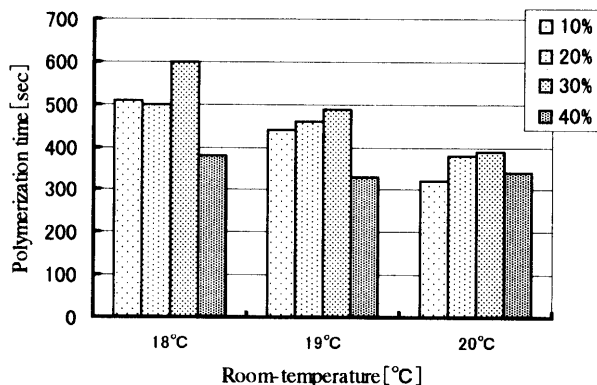


Fig.4 Polymerization time in several polymerization conditions

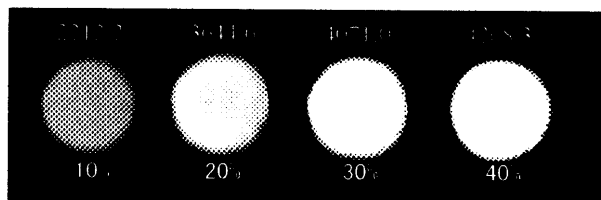


Fig.5 CT images in several barium concentration

Fig.2, Fig.3 に各硫酸バリウム濃度の骨セメントに対する最大圧縮応力, 縦弾性係数を示す. 30%まではバリウム濃度の変化による圧縮応力及び縦弾性係数の大きな変化はないが, 40%になると圧縮応力が大きく減少していることが観察された. このことから 30%までならバリウム濃度を変化させても骨セメントの材料としての強度が低下することはないといえる. Fig.4 は各硫酸バリウム濃度の骨セメント製造時における重合時間を示している. 重合時間に関しては, バリウム濃度を高くすると時間も僅かではあるが増加する傾向にあるが, 圧縮強度と同様, 40%になると逆に減少している. しかしここで注目すべき点は, 重合時間が室温に大きく依存しているということである. どのバリウム濃度においても室温が1°C低下することで重合時間が50~150 [sec] 増加していることから, 骨セメント中バリウム濃度を変化させるよりも, 室温を変化させるほうが重合時間を延ばすのに有効であるといえる. Fig.5 に硫酸バリウム濃度 10%, 20%, 30%, 40%骨セメントの CT 画像と CT 値を示す. ここで示している CT 値とは撮影対象が空気に対して 0, 水に対して 1000 の値を示す相対的な数値であり, この値が大きいほど輝度が高く画像として見やすくなるということを表している. バリウム濃度の増加に伴って CT 値も高くなっていることは明らかである. ただし, 10%と20%の増加率に比べ20%から30%, 30%か

ら40%への増加率がそれほど大きくないことは, 輝度に関してだけ考えれば, バリウム濃度を30%以上高める効果は低いとも考えられる.

以上の結果より, 従来用いられているバリウム濃度10%の骨セメントよりも重合時間が長く, また強度を保ち, 尚且つ輝度の高いバリウム濃度20%, あるいは30%の骨セメントを利用することは臨床的に有用であると推測される. また重合時間が環境温度に大きく依存するという結果は, 室温のコントロールがいかに重要かを明示している.

5. 結言

本研究により強度, 重合時間, 及び CT 画像下における輝度に対しては, バリウム濃度10%の骨セメントよりも, 20%濃度や30%濃度のそのほうが有意であると判断でき, これが実用への可能性を広げるものとなると期待される.

参考文献

- (1) 有富寛, 森田真史: 抗生剤混入による骨セメントの強度低下, J of Joint Surgery, 1992, 11(1), 11-19
- (2) Belkoff SM, Maroney M, Fenton DC, Mathis JM: An in vitro biomechanical evaluation of bone cements used in percutaneous verkevroplasty, 1999, 25(2), 23-2