

経皮的椎体形成術：脊椎圧迫骨折の早期疼痛緩和を 目指して

樋渡, 昭雄
九州大学大学院医学研究院臨床放射線科学

吉浦, 敬
九州大学大学院医学研究院臨床放射線科学

野口, 智幸
九州大学大学院医学研究院臨床放射線科学

梶尾, 理
九州大学大学院医学研究院臨床放射線科学

他

<https://doi.org/10.15017/8079>

出版情報：福岡醫學雑誌. 98 (9), pp.337-345, 2007-09-25. 福岡医学会
バージョン：
権利関係：

経皮的椎体形成術

—脊椎圧迫骨折の早期疼痛緩和を目指して—

九州大学大学院医学研究院 臨床放射線科学
樋渡昭雄, 吉浦 敬, 野口智幸, 梶尾 理,
山下孝二, 本田 浩

はじめに

骨粗鬆症は国際的に「低骨量と骨の微細構造の劣化が特徴的で、その結果骨の脆弱性が増加し、骨折を起こしやすい全身性の骨疾患」と定義されている¹⁾。骨粗鬆症では脊椎、前腕骨、大腿骨頸部等に骨折を生じやすく、医療経済的にも大きな課題となっている。米国においては骨粗鬆症に伴う脊椎圧迫骨折は閉経後の女性中約25%に見られ、年間70万人が罹患し約7.5億ドルの費用を要している²⁾³⁾。わが国においても高齢化社会が進行しており、骨粗鬆症患者は現在約1100万人存在すると想定されている⁴⁾。

経皮的椎体形成術(percutaneous vertebroplasty; PVP)は骨折を起こした椎体に骨セメント(多くは polymethyl methacrylate, PMMA)を注入する、除痛を目的とした比較的新しい治療法である。本治療法は脊椎血管腫に対する治療法として Gailbert らにより1984年にフランスではじめて施行され、1987年に報告された⁵⁾。その後骨粗鬆症などに伴う圧迫骨折^{6)~25)}、転移性腫瘍や多発性骨髄腫といった悪性腫瘍にも施行されている^{26)~28)}。本邦でも1990年代後半より徐々に施行されているが、いまだ保険収載がなく、限られた施設でしか行われていない。

1. 期待される効果

骨粗鬆症に伴う良性圧迫骨折に対しては、本治療法により疼痛緩和が70-95%の患者に対し、迅速に(およそ24時間以内)期待できるとされている⁸⁾⁹⁾¹¹⁾¹⁵⁾。

また、悪性腫瘍についても70%ほどの患者に効果が得られるとされている²⁶⁾。これは放射線治療による効果とほぼ同程度と考えられているが、本治療では早期に得られることが多いのが利点とされている¹⁰⁾。しかしながら両治療法を比較検討した論文はなく(本邦にて進行中²⁸⁾)、本治療法は現時点では放射線治療の奏効しない症例に対する補助的療法と筆者は考えている。

除痛機序は完全には明らかになっていないが、良性骨折に関しては内固定により、不安定性が減少することが一因と考えられている。悪性腫瘍にも効果が見られるが、不安定性の改善の他に、PMMAによる重合熱(120度にまで達するとされる¹⁷⁾)や化学毒性による神経末梢の破壊、腫瘍から放出される免疫成分の減少等が示唆されているが、確実な証拠はない²⁰⁾。

2. 適応(文献^{6)18)~20)}より改変)

骨粗鬆症ないし外傷に伴う所謂良性圧迫骨折と、転移性腫瘍に代表される病的骨折とでは若干適応が分かれる。基本としては保存的加療が奏効せず、(後方成分の損傷を伴わない)比較的安定した骨折で、神経症状を伴わないものが適応となる。

2-1. 絶対的適応

1. 鎮痛剤、コルセット着用など保存的加療が奏効しない骨折
(通常4週間程度でも疼痛管理が奏効しない症例)

2. 偽関節形成を伴う有痛性骨折（骨壊死，偽関節，Kummel Disease）
3. 後壁損傷がなく，疼痛を伴う腫瘍

2-2. 相対的適応

1. 後壁損傷があるが，神経症状のない骨折もしくは腫瘍
2. 進行性の圧潰を伴う骨折

2-3. 絶対的禁忌

1. 重篤な感染症（化膿性脊椎炎や穿刺部の蜂窩織炎等）
2. （コントロール不能な）出血傾向
3. 脊髄症状を有する高度の脊柱管狭小化を伴う骨折もしくは腫瘍
4. 後方成分に及ぶ不安定骨折
5. 痛みを伴わない（陳旧性）骨折
6. 骨セメントやバリウムなどに対するアレルギーを有する患者

2-4. 相対的禁忌

1. 扁平椎体
2. 全身性の感染症
3. 手技中腹臥位を保持できない患者

3. 合併症

出血や感染，抗生剤に対するアレルギー反応などのほかに骨セメントに関連する特有なものがある。椎体周囲静脈を介するセメントや脂肪滴による肺塞栓は数多く報告されている。大部分は無症状であるが，死に至った報告もある^{29)~31)}。

通常は椎体周囲や椎間のセメント漏出は無症状である。しかし，セメント漏出ないしは骨片の移動に伴う脊柱管もしくは椎間孔狭窄の増悪，脊髄内への進展も報告されている³²⁾。当初は術前に脊柱管狭窄があるものは禁忌とされていたが，技術向上に伴い，神経症状のない軽度の狭窄に対しては安全性が報告されている¹⁴⁾。また，尚，非常に稀ではあるが，注入したセメントの逸脱も報告されている³³⁾。

また，PMMA 自体の心毒性は以前より指摘されており，比較的大量のセメントを注入する場合，すなわち1回に多椎体を治療する場合は注意が必要である³⁴⁾³⁵⁾。治療対象は高齢者が多くなるため，筆者は現在原則1回3椎体を上限に治療している。

総じてこれら合併症は骨粗鬆症に伴う圧迫骨折に対しては1%以下，腫瘍性病変に対しては5%以下に生じるとされている⁶⁾。

4. 術前検査

問診として症状の発症時期，可能であれば受傷機転についておこなう。しかし特に高齢者においては受傷機転が不明なことが多い。また，悪性疾患の有無の評価，薬剤使用歴（特にステロイド），出血傾向，感染徴候，薬に対する副作用歴も重要である。

理学所見では，治療する椎体の棘突起において限局性の疼痛があり，神経根症状がないものが典型的である。しかし，実際には疼痛の局在は患者さん本人にも困難な場合があり，治療する椎体の決定には画像所見が重要である¹⁶⁾³⁶⁾。また，麻痺や膀胱直腸障害等の深刻な神経症状を有する患者は前述の如く適応外となる。

5. 画像診断

骨折の診断のためには単純写真のほかに CT, MRI, 骨シンチグラムなどが有用である。

単純写真にて骨折の有無, 骨折数および場所の同定, 脊椎全体の alignment, 針刺入部位である椎弓根の確認などは可能である。しかし, 多発骨折が存在する場合, 過去の画像抜きに骨折の新旧を判定することは必ずしも容易でない¹⁷⁾。骨壊死 (偽関節) の診断は椎体内にガスを有する場合は比較的容易である³⁷⁾が, 診断には動態撮影も有用である (図 1 A, B)。

CT は骨の詳細な情報を得るために有用である (図 1 C) が, 骨折の時期の同定は単純写真と同じく困難なことが多い。

骨シンチグラムも術前画像診断として有用とされているが³⁸⁾, 上位胸椎などでは正確な位置の同定が困難な場合があり, 筆者は通常使用していない。

ペースメーカーや閉所恐怖症など, 検査不能症例を除き, 治療方針決定のために MRI がほぼ必須である (図 1 D, E)。術前 MRI で浮腫の程度の強い椎体ほど疼痛緩和効果が強いとの報告がある²¹⁾。一般に単純 MRI のみで治療方針を決定している施設が多いが, ガスや液体貯留を伴わない骨壊死の検出には造影 MRI が有用³⁹⁾との報告もあり, 腎機能低下や薬剤アレルギー歴がある場合など除いて, 筆者は原則として造影剤も使用している。

また, 重度の骨粗鬆症を持ちながら, 加療されていない患者が多いので, 骨塩定量を行い, 必要に応じて薬物治療も追加している⁴⁰⁾。

6. 方法

静脈および (原則として) 尿道バルーン確保の後, 患者を腹臥位とする。原則として局所麻酔下に行う。

6-1. 透視

通常は正面および側面の X 線透視下に行われるが, 穿刺困難例では CT 透視下で行うことがある。両者による治療効果の差はないとされる⁴¹⁾。また, 仙骨不全骨折に対するいわゆる sacroplasty に対しては CT を用いることが多い⁴²⁾。

穿刺部位を消毒した後, 2 つの image intensifier を目的とする椎体の正面および側面に正確にあわせる。

6-2. 針刺入

術者の好みによるが, 11 G もしくは 13 G の骨生検針 (Osteosite, Cook 社等) を椎弓根より挿入する。太い針の方が粘度の高いセメントが注入でき, 静脈などへのセメント漏出を軽減できると考えられているが, 刺入困難となることがある。尚, 針による治療効果の差を検討した報告はない¹⁶⁾。

刺入にあたっては針の先端が椎体後面に刺入するまでは椎弓根内側壁より外側に位置するべきである。筆者は左右両方からの二針法を原則としているが, 椎体圧潰が強い場合や上位胸椎のように対象が小さいときには一針法も用いている¹⁵⁾⁴³⁾。

6-3. 骨セメント

椎体内に針を留置した後, 骨セメント (polymethyl methacrylate ; PMMA) の混合を開始する。我々は通常 Codman 社の Cranioplastic を用いている。PMMA, 特に Cranioplastic は, そのままでは X 線透過性が高く, 視認性に劣る。そのため筆者はバリウムを乾熱滅菌の後, セメント重量の 40-50% 程度混合し, 視認性の向上を図っている。

感染対策のため, トブラマイシンなどの抗生物質もセメントに混合することがある¹⁶⁾¹⁹⁾。我々はセファメジン 1-2 g を手技開始とほぼ同時に静注している。しかし, 経皮的椎体形成術において, 抗生剤使用の有効

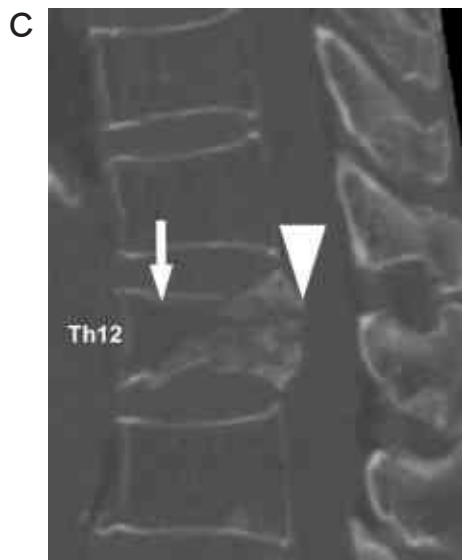




図1 70歳代男性、第12胸椎に骨壊死（偽関節）を伴う圧迫骨折があり、起座困難であった。経皮的椎体形成術後は術翌日より著明な疼痛改善が見られ、起立可能となり、観察期間中の1ヶ月は有効であった。

A. 立位単純X線写真側面像。高度に圧潰した第12胸椎圧迫骨折が見られる。椎体内ガス貯留は指摘困難である。

B. 伸展位単純X線写真側面像。図1Aと比較して第12胸椎椎体高の改善が見られ、骨壊死（偽関節形成）の診断が可能である。

C. 治療前CT矢状断再構成像。第12胸椎椎体内に低吸収域（矢印）が見られ、骨壊死（偽関節）の存在が示唆される。軽度の後壁損傷も見られる（矢頭）。

D. 治療前MRI、T2強調画像矢状断。第12胸椎椎体内に液体貯留（矢印）が見られ、骨壊死（偽関節）の存在が示唆される。軽度の後壁損傷も見られる（矢頭）。

E. 治療前MRI、造影後脂肪抑制T1強調画像矢状断。第12胸椎椎体後部に造影剤増強（矢印）が見られ、急性骨折の所見である。

F. 第12胸椎に骨セメント注入後。術中に合併症は見られなかった。

G. 治療後CT矢状断再構成像。第12胸椎椎体内に良好な骨セメント分布が見られる。

性を評価した研究は筆者の知る限り存在しない。

セメント注入量は一般的に胸椎で2-3 cc、腰椎で3-5 ccとされるが、一定の量はない⁷⁾。可能な限り椎体に充満させるほうがよいとされるが、骨折の程度、骨壊死（偽関節）の存在等により椎体ごとに注入可能なセメント量には差がある。過度の注入は合併症の危険性が増し、また過小な場合は治療後同一椎体の減高を生じる可能性があることを留意すべきである。合併症を避けるため、筆者は椎体周囲の静脈および椎体後部1/4-1/3程度へのセメント分布は極力控えている（図1F, G）。

軽度の脊柱管狭窄がある症例に対しては、手技中のミエログラフィーが有用との報告がある⁴⁴⁾。筆者らの検討によるとミエログラフィーを併用せずとも、側方からの透視を注意深く観察することにより、脊柱管や椎間孔狭小化の増悪を見なかった¹⁴⁾。

セメント注入前に椎体内にヨード系造影剤（もしくは二酸化炭素）を注入し、静脈造影を行う施設もあるが⁴⁵⁾、ガスもしくは液体とセメントの分布は完全には一致しないこと等により、筆者は施行していない⁴⁶⁾。

手技直後に問題となることは少ないが、筆者らの検討では、椎間隙にセメント漏出がある症例で近接する椎体に続発性骨折の頻度が増えていた⁴⁷⁾。そのために、椎間板内へのセメント漏出がなるべく起きないように留意している。安全かつ効果的に本治療法を完遂するには椎体内での針の先端の位置、注入するセメントの固さや量、MRI等の画像所見等の十分な把握が必要である⁴⁸⁾。

6-4. 術後管理

当院では2-4時間はベッド上安静かつ起座不可で30分おきにvital signをチェックしている。その後当日はベッド上安静とし、翌日より徐々に歩行を勧めている。筆者の施設では通常治療後2、3日で退院している。治療後もコルセット使用はなるべく継続している。鎮痛剤は可能な範囲で漸減している。

尚、筆者は本治療法を米国にて習得した。周知の通り米国では医療費が極めて高く、本治療法は原則として外来患者扱いで治療されている。筆者が研修した施設では、治療終了後4時間はベッド上安静でvital signをチェックした後、原則的に当日帰宅していた。

7. 問題点その他

7-1. 続発性骨折

骨セメントは特に脆弱性を有する骨に比して硬度が高く、近接する椎体に続発性骨折が生じやすいこと

が報告されている^{12)22)~24)}。元来圧迫骨折自体がいわゆる胸腰椎移行部(Th11-L2)に多く、骨粗鬆症患者には高率に新規骨折が生じる⁴⁹⁾ため、椎体形成術との相関は完全には証明されていない。しかし、続発性骨折は治療した椎体の上位椎体の下部終板に生じやすく、かつ治療後早期に見られることが多いことなどにより、臨床的には因果関係が示唆されている²²⁾²³⁾。これに関しては米国において randomized study が進行中である²⁵⁾⁵⁰⁾。

7-2. 予防的治療

ACR (American College of Radiology) のガイドラインによれば、予防的治療は研究目的以外には禁忌となっている⁶⁾。小林らの検討によれば、隣接椎体の予防的治療により、3ヶ月以内の続発性骨折が6.2%に生じ、これは非予防群の16.8%に比し有意に低下していた⁵¹⁾。筆者の印象では、高度の骨粗鬆症を有する患者、椎間隙にセメント漏出が顕著な場合、治療する骨折部における後彎変形が強い場合等に続発性骨折が生じやすく、患者および家族に対する事前の説明、同意に基づいて、予防的治療を行っている。しかし、長期予後にわたる検討はなく、また、後年観血的手術が必要になった際にスクリー挿入が困難になるなど、検討すべき課題は多い。

7-3. Kyphoplasty

経皮的椎体形成術の亜型として、針刺入後に、バルーンにて圧迫に伴う椎体の変形を補正し、セメントを注入する方法(Kyphoplasty)も考案されている^{52)~54)}。脊椎後彎の矯正ならびに椎体外セメント漏出の減少を目的にされているが、経皮的椎体形成術のみでも椎体高改善の報告があり⁵⁵⁾、そもそも後彎矯正の除痛に与える効果も明らかでなく、経皮的椎体形成術との効果の差は不明である。筆者は米国にて数例経験したが、高額な材料費(一椎体につき約3400ドル)に驚きをもった。本邦では治験の症例登録が終了している。

7-4. 他の治療法との比較

脊椎圧迫骨折は、特に骨粗鬆症に伴うものでは、多くの症例で保存的治療(安静、コルセットなど)にて治癒する。前述した続発性骨折の問題もあり、本治療の適応は時期を含めて完全には定まっていない。現時点では筆者は、基本として1ヶ月以上の保存的治療が奏効しない、もしくは骨壊死(偽関節)を有する有痛性骨折を適応としている。また、脊柱管狭窄があり、神経症状を有する症例には手術による除圧、後方固定術などが適応となる。

悪性腫瘍に対しては手術、放射線療法の外に化学療法やラジオ波焼却などの他のIVR(Interventional Radiology)による治療も考慮すべきであるが、一定の結論は出ていない。

おわりに

高齢化社会を迎え、骨粗鬆症に伴う良性圧迫骨折は今後も増加すると思われる。低侵襲かつ早期離床、短期入院が望める本治療法は、長期臥床、長期入院、長期服薬を回避し、将来的に有望な治療法と思われる。

参 考 文 献

- 1) Consensus development conference: diagnosis, prophylaxis, and treatment of osteoporosis. Am J Med 94: 646-650, 1993.
- 2) Melton LJ 3rd, Kan SH, Frye MA, Wahner HW, O'Fallon WM and Riggs BL: Epidemiology of vertebral fractures in women. Am J Epidemiol. 129: 1000-1011, 1989.
- 3) Melton LJ 3rd. Epidemiology of spinal osteoporosis. Spine. 15: 2S-11S, 1997.
- 4) 折茂肇, 太田博明, 岸本英彰, 白木正孝, 鈴木隆雄, 高岡邦夫, 中村利考, 西沢良記, 萩野浩, 林泰史, 広田孝子, 福永仁夫, 細井孝之, 松本俊夫, 三木隆己, 楊鴻生, 和田誠基. 骨粗鬆症の治療(薬物療法)に関する

- ガイドライン (2002 年度改訂版). *Osteoporosis Jpn.* 10 : 635-709, 2002.
- 5) Galibert P, Deramond H, Rosat P and Le Gars D : [Preliminary note on the treatment of vertebral angioma by percutaneous acrylic vertebroplasty] *Neurochirurgie.* 33 : 166-168, 1987. French.
 - 6] Practice guideline for the performance of percutaneous vertebroplasty. ACR Practice Guideline. http://www.acr.org/SecondaryMainMenuCategories/quality_safety/guidelines/InterventionalRadiology/PracticeGuidelineforthePerformanceofPercutaneousVertebroplastyDoc15.aspx
 - 7) Barr JD, Barr MS, Lemley TJ and McCann RM : Percutaneous vertebroplasty for pain relief and spinal stabilization. *Spine.* 25 ; 923-928, 2000.
 - 8] Cortet B, Cotten A, Boutry N, Flipo RM, Duquesnoy B, Chastanet P and Delcambre B : Percutaneous vertebroplasty in the treatment of osteoporotic vertebral compression fractures : an open prospective study. *J Rheumatol.* 26 : 2222-2228, 1999.
 - 9) Cyteval C, Sarrabere MP, Roux JO, Thomas E, Jorgensen C, Blotman F, Sany J and Taourel P : Acute osteoporotic vertebral collapse : open study on percutaneous injection of acrylic surgical cement in 20 patients. *AJR Am J Roentgenol.* 173 : 1685-1690, 1999.
 - 10] Deramond H, Depriester C, Galibert P and Le Gars D : Percutaneous vertebroplasty with polymethylmethacrylate. Technique, indications, and results. *Radiol Clin North Am.* 36 : 533-546, 1998.
 - 11] Evans AJ, Jensen ME, Kip KE, DeNardo AJ, Lawler GJ, Negin GA, Remley KB, Boutin SM and Dunnagan SA : Vertebral compression fractures : pain reduction and improvement in functional mobility after percutaneous polymethylmethacrylate vertebroplasty retrospective report of 245 cases. *Radiology.* 226 : 366-372, 2003.
 - 12) Grados F, Depriester C, Cayrolle G, Hardy N, Deramond H and Fardellone P : Long-term observations of vertebral osteoporotic fractures treated by percutaneous vertebroplasty. *Rheumatology (Oxford).* 39 : 1410-1414, 2000.
 - 13) Hiwatashi A and Westesson PL : Patients with osteoporosis on steroid medication tend to sustain subsequent fractures. *AJNR Am J Neuroradiol.* 28 : 1055-1057, 2007.
 - 14) Hiwatashi A and Westesson PL : Vertebroplasty for osteoporotic fractures with spinal canal compromise. *AJNR Am J Neuroradiol.* 28 : 690-692, 2007.
 - 15] Jensen ME, Evans AJ, Mathis JM, Kallmes DF, Cloft HJ and Dion JE : Percutaneous polymethylmethacrylate vertebroplasty in the treatment of osteoporotic vertebral body compression fractures : technical aspects. *AJNR Am J Neuroradiol.* 18 : 1897-1904, 1997.
 - 16) Kallmes DF, Jensen ME. Percutaneous vertebroplasty. *Radiology.* 229 : 27-36, 2003.
 - 17) Mathis JM, Barr JD, Belkoff SM, Barr MS, Jensen ME and Deramond H : Percutaneous vertebroplasty : a developing standard of care for vertebral compression fractures. *AJNR Am J Neuroradiol.* 22 : 373-381, 2001.
 - 18) McGraw JK, Cardella J, Barr JD, Mathis JM, Sanchez O, Schwartzberg MS, Swan TL and Sacks D ; Society of Interventional Radiology Standards of Practice Committee. Society of Interventional Radiology quality improvement guidelines for percutaneous vertebroplasty. *J Vasc Interv Radiol.* 14 : S 311-S 315, 2003.
 - 19] Peh WC and Gilula LA : Percutaneous vertebroplasty : indications, contraindications, and technique. *Br J Radiol.* 76 : 69-75, 2003.
 - 20) Spivak JM and Johnson MG : Percutaneous treatment of vertebral body pathology. *Am Acad Orthop Surg.* 13 : 6-17, 2005.
 - 21) Tanigawa N, Komemushi A, Kariya S, Kojima H, Shomura Y, Ikeda K, Omura N, Murakami T and Sawada S : Percutaneous vertebroplasty : relationship between vertebral body bone marrow edema pattern on MR images and initial clinical response. *Radiology.* 239 : 195-200, 2006.
 - 22) Trout AT, Kallmes DF and Kaufmann TJ : New fractures after vertebroplasty : adjacent fractures occur significantly sooner. *AJNR Am J Neuroradiol.* 27 : 217-223, 2006.
 - 23) Trout AT, Kallmes DF, Layton KF, Thielen KR and Hentz JG : Vertebral endplate fractures : an indicator of the abnormal forces generated in the spine after vertebroplasty. *J Bone Miner Res.* 21 : 1797-1802, 2006.
 - 24] Uppin AA, Hirsch JA, Centenera LV, Pfiefer BA, Pazianos AG and Choi IS : Occurrence of new vertebral body fracture after percutaneous vertebroplasty in patients with osteoporosis. *Radiology.* 226 : 119-124, 2003.

- 25) Vertebroplasty for the Treatment of Fractures Due to Osteoporosis. NIH clinical trials website. <http://clinicaltrials.gov>
- 26] Weill A, Chiras J, Simon JM, Rose M, Sola-Martinez T and Enkaoua E : Spinal metastases : indications for and results of percutaneous injection of acrylic surgical cement. *Radiology*. 199 : 241-247, 1996.
- 27] Cotten A, Dewatre F, Cortet B, Assaker R, Leblond D, Duquesnoy B, Chastanet P and Clarisse J : Percutaneous vertebroplasty for osteolytic metastases and myeloma : effects of the percentage of lesion filling and the leakage of methyl methacrylate at clinical follow-up. *Radiology*. 200 : 525-530, 1996.
- 28) 経皮的椎体形成術についての第 I/II 相臨床試験 Japan Interventional Radiology in oncology Study Group. <http://jivrosg.umin.jp>
- 29) Padovani B, Kasriel O, Brunner P and Peretti-Viton P : Pulmonary embolism caused by acrylic cement : a rare complication of percutaneous vertebroplasty. *AJNR Am J Neuroradiol*. 20 : 375-377, 1999.
- 30) Monticelli F, Meyer HJ, Tutsch-Bauer E. Fatal pulmonary cement embolism following percutaneous vertebroplasty (PVP). *Forensic Sci Int*. 149 : 35-38, 2005.
- 31) Syed MI, Jan S, Patel NA, Shaikh A, Marsh RA and Stewart RV : Fatal fat embolism after vertebroplasty : identification of the high-risk patient. *AJNR Am J Neuroradiol*. 27 : 343-345, 2006.
- 32) Teng MM, Cheng H, Ho DM and Chang CY : Intraspinal leakage of bone cement after vertebroplasty : a report of 3 cases. *AJNR Am J Neuroradiol*. 27 : 224-229, 2006.
- 33) Wagner AL and Baskurt E : Refracture with cement extrusion following percutaneous vertebroplasty of a large interbody cleft. *AJNR Am J Neuroradiol*. 27 : 230-231, 2006.
- 34) Childers JC Jr : Cardiovascular collapse and death during vertebroplasty. *Radiology*. 228 : 902, 2003.
- 35) Uemura A, Numaguchi Y, Matsusako M, Kobayashi N, Saida Y and Rahman M : Effect on partial pressure of oxygen in arterial blood in percutaneous vertebroplasty. *AJNR Am J Neuroradiol*. 28 : 567-569, 2007.
- 36) Gaughen JR Jr, Jensen ME, Schweickert PA, Kaufmann TJ, Marx WF, Kallmes DF : Lack of preoperative spinous process tenderness does not affect clinical success of percutaneous vertebroplasty. *J Vasc Interv Radiol*. 13 : 1135-1138, 2002.
- 37) Maldague BE, Noel HM and Malghem JJ : The intravertebral vacuum cleft : a sign of ischemic vertebral collapse. *Radiology*. 129 : 23-29, 1978.
- 38) Maynard AS, Jensen ME, Schweickert PA, Marx WF, Short JG and Kallmes DF : Value of bone scan imaging in predicting pain relief from percutaneous vertebroplasty in osteoporotic vertebral fractures. *AJNR Am J Neuroradiol*. 21 : 1807-1812, 2000.
- 39) Oka M, Matsusako M, Kobayashi N, Uemura A and Numaguchi Y : Intravertebral cleft sign on fat-suppressed contrast-enhanced MR : correlation with cement distribution pattern on percutaneous vertebroplasty. *Acad Radiol*. 12 : 992-999, 2005.
- 40) Westesson PL, Lee RK, Ketkar MA and Lin EP : Underdiagnosis and undertreatment of osteoporosis. *Lancet*. 360 : 1891, 2002.
- 41) Gangi A, Kastler BA and Dietemann JL : Percutaneous vertebroplasty guided by a combination of CT and fluoroscopy. *AJNR Am J Neuroradiol*. 15 : 83-86, 1994.
- 42) Strub WM, Hoffmann M, Ernst RJ and Bulas RV : Sacroplasty by CT and fluoroscopic guidance : is the procedure right for your patient? *AJNR Am J Neuroradiol*. 28 : 38-41, 2007.
- 43) Tohmeh AG, Mathis JM, Fenton DC, Levine AM and Belkoff SM : Biomechanical efficacy of unipedicular versus bipedicular vertebroplasty for the management of osteoporotic compression fractures. *Spine*. 24 : 1772-1776, 1999.
- 44) Sarzier JS and Evans AJ : Intrathecal injection of contrast medium to prevent polymethylmethacrylate leakage during percutaneous vertebroplasty. *AJNR Am J Neuroradiol*. 24 : 1001-1002, 2003.
- 45) McGraw JK, Heatwole EV, Strnad BT, Silber JS, Patzilk SB and Boorstein JM : Predictive value of intraosseous venography before percutaneous vertebroplasty. *J Vasc Interv Radiol*. 13 : 149-153, 2002.
- 46) Gaughen JR Jr, Jensen ME, Schweickert PA, Kaufmann TJ, Marx WF and Kallmes DF : Relevance of antecedent venography in percutaneous vertebroplasty for the treatment of osteoporotic compression fractures. *AJNR Am J Neuroradiol*. 23 : 594-600, 2002.
- 47) Lin EP, Ekholm S, Hiwatashi A and Westesson PL : Vertebroplasty : cement leakage into the disc increases the risk of new fracture of adjacent vertebral body. *AJNR Am J Neuroradiol*. 25 : 175-180, 2004.

- 48) Hiwatashi A, Ohgiya Y, Kakimoto N and Westesson PL : Cement leakage during vertebroplasty can be predicted on preoperative MRI. AJR Am J Roentgenol. 188 : 1089-1093, 2007.
- 49) Lindsay R, Silverman SL, Cooper C, Hanley DA, Barton I, Broy SB, Licata A, Benhamou L, Geusens P, Flowers K, Stracke H and Seeman E : Risk of new vertebral fracture in the year following a fracture. JAMA. 285 : 320-323, 2001.
- 50) Kallmes DF : Randomized vertebroplasty trials : Current status and challenges. Acad Radiol. 13 : 546-549, 2006.
- 51) Kobayashi N, Numaguchi Y, Fuwa S, Uemura A, Okajima Y and Saida Y : Prophylactic cement injection into non-fractured vertebral bodies during percutaneous vertebroplasty for symptomatic osteoporotic compression fractures. 92 nd Scientific Assembly and Annual Meeting, Radiological Society of North America, Chicago, 2006.
- 52) Belkoff SM, Mathis JM, Fenton DC, Scribner RM, Reiley ME and Talmadge K : An ex vivo biomechanical evaluation of an inflatable bone tamp used in the treatment of compression fracture. Spine. 26 : 151-156, 2001.
- 53) Lieberman IH, Dudeney S, Reinhardt MK and Bell G : Initial outcome and efficacy of “kyphoplasty” in the treatment of painful osteoporotic vertebral compression fractures. Spine. 26 : 1631-1638, 2001.
- 54) Hiwatashi A, Sidhu R, Lee RK, deGuzman RR, Piekut DT and Westesson PL : Kyphoplasty versus vertebroplasty to increase vertebral body height : a cadaveric study. Radiology. 237 : 1115-1119, 2005.
- 55) Hiwatashi A, Moritani T, Numaguchi Y and Westesson PL : Increase in vertebral body height after vertebroplasty. AJNR Am J Neuroradiol. 24 : 185-189, 2003.

(参考文献のうち、数字がゴシック体で表示されているものについては、著者により重要なものと指定された分です。)

プロフィール

樋渡 昭雄 (ひわたし あきお)

九州大学医員 (大学院医学研究院 臨床放射線科学)

◆略歴 1972年鹿児島県に生れる。1997年九州大学医学部卒業。2001年 Rochester 大学神経放射線部門 Visiting Assistant Professor, 2004年同 Clinical Fellow, 2006年より現職