

## 経皮的椎体形成術の画像評価

米虫 敦、谷川 昇、狩谷 秀治、小島 博之、庄村 裕三、徳田 貴則、  
野村 基雄、池田 耕士、播磨 洋子、澤田 敏

関西医科大学 放射線科学講座

### Diagnostic imaging for percutaneous vertebroplasty

Atsushi Komemushi, Noboru Tanigawa, Shuji Kariya, Hiroyuki Kojima, Yuzo Shomura,  
Takanori Tokuda, Motoo Nomura, Koshi Ikeda, Yoko Harima, Satoshi Sawada

Department of Radiology, Kansai Medical University

#### 抄録

経皮的椎体形成術を施行する際には、術前、術中、術後の各プロセスにおいて画像評価が重要な役割を担っている。術前には脊椎MRIにおいて椎体の骨髄浮腫を評価することが経皮的椎体形成術の適応決定に役立つ。経皮的椎体形成術施行時のイメージガイドには各施設において可能な限り高性能な透視装置を使用して、骨セメントの椎体外漏出を最小限に抑えることが必要である。術後の経過観察においても脊椎MRIで椎体の骨髄浮腫を評価することで、新規圧迫骨折を早期に診断することが可能である。本稿では、欧米におけるガイドラインや報告を基に、経皮的椎体形成術に必要な画像評価について述べる。

#### Abstract

The diagnostic image assessment has borne the key role in before, during and after percutaneous vertebroplasty procedure. It is useful for determination of the vertebra to be treated to evaluate the marrow edema of the vertebral body on spine MRI in preoperative planning of percutaneous vertebroplasty. High-quality fluoroscopy should be available for adequate visualization of the cement during percutaneous vertebroplasty procedure, for early detection of cement leaks. The new compression fracture after percutaneous vertebroplasty can be diagnosed by evaluating the bone marrow edema of the vertebral body at the early stage. In this article, the diagnostic image assessment of percutaneous vertebroplasty was described based on the guidelines and the reports.

#### Key words

percutaneous vertebroplasty, compression fracture, pain relief, osteoporosis,  
bone metastasis, diagnostic imaging

別刷請求先：〒573-1191 大阪府枚方市新町2丁目3番1号  
関西医科大学 放射線科学講座 米虫 敦  
TEL：072-804-0101 FAX：072-804-2865

## はじめに

経皮的椎体形成術は1997年に本邦において初めて施行されて以来<sup>1)</sup>、圧迫骨折の疼痛緩和への劇的な効果を背景に急速に認知されてきた<sup>2)</sup>。本法は、骨粗鬆症あるいは脊椎腫瘍により脆弱化した椎体に対して経皮的に到達させた金属針より骨セメントを注入することで骨折椎体の固定化をはかり疼痛緩和を得る手技であり、その治療効果は通常72時間以内に得られるとされる<sup>2-5)</sup>。本手技を成功させるには、術前、術中および術後の詳細な画像評価が必須である<sup>2-4)</sup>。本稿では様々なガイドライン<sup>3-5)</sup>や報告を基に、経皮的椎体形成術に必要な画像評価について述べる。

## 術前画像評価

### 1) 脊椎単純X線写真

術前の胸椎・腰椎の単純X線写真は、術後経過観察のためのBaseline Studyとなる。このため、初診時に病変が存在しないと考えられる部位も含めて、胸椎および腰椎の正面像と側面像を撮像しておく必要がある。脊椎の単純X線写真を用いて、圧迫骨折の部位、骨壊死 (Kummell's disease) の有無を評価する事が可能である<sup>2,6)</sup>。また、前屈位と後屈位または立位と臥位の側面写真を用いて、椎体の不安定性 (Instability) を評価する事ができる。一般に、骨壊死や不安定性を伴う椎体は経皮的椎体形成術の良い適応である<sup>2-5)</sup>。

### 2) 脊椎MRI

脊椎のMRIは、経皮的椎体形成術を施行する上でもっとも重要な術前画像評価である<sup>4)</sup>。脊椎MRI検査の主な目的は、脊柱管狭窄症などの他疾患の除外と病変部の正確な情報を得る事である。脊柱管狭窄症などの他疾患が原因となっている腰痛であれば、経皮的椎体形成術は適応外である<sup>2-5)</sup>。また、圧迫骨折の原因が骨粗鬆症によるものか腫瘍性病変による病的骨折であるかを評価することは治療方針に大きく係わるため重要である。悪性腫瘍の場合は椎体後面の凸面化、椎弓根に及ぶ信号変化、骨外への腫瘤形成などが特徴的である。骨粗鬆症性圧迫骨折ではT1強調画像による帯状の低信号帯、椎体内の正常骨髓残存や椎体後面の凹面化などが認められる<sup>2)</sup>。

骨粗鬆症性脊椎圧迫骨折の急性期から亜急性期には、病変部椎体の骨髓には浮腫性変化 (Bone Marrow Edema (BME)) が出現する。骨髓浮腫は

T1強調像では低信号、T2強調像では高信号に描出され<sup>4)</sup>、ガドリニウム造影剤により造影効果がある。骨髓浮腫について正確な情報を得るためには、T1強調矢状断像と脂肪抑制T2強調矢状断像の撮像が有用である<sup>7,8)</sup>。脂肪抑制T2強調像で検出不可能な骨髓浮腫がガドリニウム造影剤を用いる事で検出可能となったとする報告<sup>9)</sup>もあるが、ガドリニウム造影剤を用いても脂肪抑制T2強調画像と骨髓浮腫の検出率は変わらないとする報告<sup>7)</sup>もある。骨髓浮腫は可逆性であり、通常は1~2ヶ月で正常信号に回復する。このため、骨髓浮腫が椎体に占める割合によって圧迫骨折の病期を推定する事ができる。骨髓浮腫が認められない圧迫骨折は既に治癒が終了した陳旧性圧迫骨折であると考えられ、経皮的椎体形成術の適応とはなりがたい可能性がある。逆に圧迫骨折の受傷後数ヶ月以上が経過した椎体であっても、骨髓浮腫を伴う椎体に対しては経皮的椎体形成術がよい適応となる。脊椎単純X線写真で椎体の圧迫変形が指摘しがたい椎体でも、骨髓浮腫の所見を検出する事で初期の微細な圧迫骨折を発見する事も可能である。骨髓浮腫を伴う椎体に対する経皮的椎体形成術は、骨髓浮腫を伴わない椎体と比較して治療効果が優れている<sup>8)</sup>。(図1)

脊椎MRIを用いると、単純X線写真よりも明瞭に骨壊死を描出する事ができる。圧迫骨折における骨壊死は虚血性病変の二次性変化であり、Kummell's diseaseと呼ばれることもある<sup>6)</sup>。骨壊死を形成した部分には液貯留、ガス貯留や壊死産物が認められる。液貯留をきたした部分はT2強調像で脳脊髄液と同程度の高信号を呈する椎体内の索状影として描出され、ガス貯留をきたした部分はT1強調像、T2強調像ともに無信号となる。これらの信号変化を来した空洞は一般的にクレフト (cleft) と呼ばれ、偽関節の存在を意味する。クレフトが存在する椎体も経皮的椎体形成術の良い適応である<sup>2,4,5)</sup>。

近年、術前の脊椎拡散強調MRI画像を評価することによって、術後早期に発生する隣接椎体の骨折を予測可能であるという報告もある<sup>10)</sup>。

### 3) 脊椎単純CT

術前の脊椎CTでは、椎弓根 (pedicle) と椎体後壁の状態、骨皮質の断裂の有無、破裂骨折では骨片の偏移、クレフトの状態、腫瘍性病変では溶骨性変化と造骨性変化の状態などを評価することが可能である<sup>2,4)</sup>。



図1. 下部胸椎から腰椎のMRI画像  
(左：T1強調像、右：脂肪抑制T2強調画像)  
骨粗鬆症性の圧迫骨折が複数存在する。骨髄浮腫が存在するTh12(→)が疼痛の原因であると考えられる。Th12以外の圧迫骨折には骨髄浮腫が存在しないため陈旧性圧迫骨折であると考えられる。Th12のみに経皮的椎体形成術が施行され、良好な除痛効果を得ることが出来た。

経皮的椎体形成術において、病変椎体には経椎弓根的にアプローチする事が推奨されている<sup>11)</sup>ため、術前に椎弓根の状態を確認することは有用である。椎体後壁に骨欠損が生じている場合は、欠損部から脊柱管内に骨セメントが漏出し脊髄圧排などの重篤な合併症を来す可能性があるため、経皮的椎体形成術の適応については慎重になる必要がある。椎体骨皮質に断裂部が観察された場合は、同部より骨セメントが椎体外漏出する可能性があるため、手技施行時に留意する必要がある<sup>4)</sup>。

本邦において普及しているIVR-CTシステムを用いて手技を行う際には、経皮的椎体形成術の手技を施行する際にCTを撮像することが可能であるため、術前の脊椎CTを省略することも可能である<sup>2)</sup>。

#### 4) 骨シンチ

術前に骨シンチグラフィーを撮像することで多発骨折の症例について治療椎体を選択する報告もあるが、一般的には省略することも可能であると考えられる。骨折椎体には骨シンチにて集積像が認められる<sup>24)</sup>。

#### 5) 胸部単純X線写真

経皮的椎体形成術に関連する合併症の中でも、骨セメントによる肺塞栓は重篤となる可能性があり特に重要な合併症である<sup>4,5,11)</sup>。術前のBaseline

Studyとしての胸部単純X線写真は、術後に肺野への骨セメント漏出を評価する際の比較画像として有用である。

### 術中画像評価

#### 1) 術中イメージガイド

経皮的椎体形成術の技術的な成功には、質の高い術中イメージガイドが必要である。本手技の合併症の大部分は骨セメントの椎体外漏出に起因するものであるため、各施設において可能な限り高性能な透視装置の使用が推奨されている<sup>2-4)</sup>。本邦においてはIVR-CTシステムの普及を背景として、CTとX線透視を併用して術中画像評価を行う施設が多い。IVR-CTシステムが導入されていない施設においても、CT室に外科用イメージを搬入することでCTとX線透視の併用が可能となる<sup>2)</sup>。欧米では通常のX線透視を用いて手技を行うことが一般的であり、本邦においてもパイプライン透視を用いる施設や、シングルプレーン透視装置でアイソセンターを応用して手技を行う施設も存在する<sup>12)</sup>。今後、フラットパネルディテクタ(FPD)を用いたコーンビームCTが普及すれば、容易に透視画像とCT様画像を併用できると期待される。実際の手技では、各術者、施設ごとに十分に習熟した方法で穿刺針を経椎弓根的に椎体内へと穿刺

する。また、本邦では10%の硫酸バリウムを含有したポリメチルメタクリレート系骨セメント製剤が主に使用されており、X線透視下に骨セメントを注入する際には30%程度まで硫酸バリウムを添加して骨セメントの視認性を高めることが推奨されている<sup>24,13)</sup>。

## 2) 椎体静脈造影

椎体内の適切な部位に穿刺針が挿入された後に、椎体静脈造影を施行することについては様々な議論がある<sup>24)</sup>。椎体静脈造影は必ずしも必須の画像評価方法では無いが、針先の位置が椎体内に存在している確認、クレフトの有無、肉眼的な骨片移動の有無、椎体外への造影剤リークの経路などを確認可能である。椎体静脈造影について否定的な主な意見として、椎体内に残留した陽性造影剤がセメント注入の障害影となる点、セメントと粘度が異なる造影剤ではセメントの挙動を予想できない点、手技が煩雑となる点などが挙げられる。椎体静脈造影を施行する際には、陰性造影剤である炭酸ガスを造影剤として用いれば、椎体内に造影剤が残留してもセメント注入の障害影となることを回避できる<sup>2,14,15)</sup>。

## 術後画像評価

### 1) 脊椎単純CT

経皮的椎体形成術を施行後には、速やかに単純CTを施行する。術後の単純CTにおける評価事項は骨セメント分布の評価である。椎体の正中を超えて骨セメントが分布していなければ骨セメントを追加注入が必要とする施設も存在するが、少量の骨セメントが偏在性に分布していても臨床的效果は変わらないとする報告<sup>16)</sup>もある。過量の骨セメント注入は合併症の危険性を増すため、審美的に美しい骨セメント分布にこだわらないことが重要である。

経皮的椎体形成術において骨セメントの椎体外への漏出は比較的高頻度に認められるが、臨床的に問題となる骨セメントの椎体外漏出は低頻度である<sup>2-5)</sup>。脊柱管内や椎間孔へ漏出した骨セメントが神経を圧排すると、神経症状が発生する可能性がある。椎間板へ骨セメントが漏出すると、経過観察中に隣接椎体に新たな圧迫骨折が発生する頻度が高まると言われている<sup>17,18)</sup>。大量の骨セメントが静脈に漏出した場合は、骨セメントによる肺塞栓症が発生している

可能性がある。

骨セメントの椎体内分布は、骨梁内の間隙を染み渡るように分布する骨梁パターン (trabecular pattern) とクレフト内に一塊となって分布するクレフトパターン (cleft pattern) に分類される。クレフトパターンを呈する症例では、術後の経過観察で新規圧迫骨折の頻度が高いことが知られている<sup>19)</sup>。

### 2) 脊椎単純X線写真

経皮的椎体形成術後に、新規の圧迫骨折がしばしば出現することが知られている。これは、骨粗鬆症などの原疾患の自然歴であるとする考え方もあるが、骨セメントが注入されて補強された治療椎体と比較して他椎体が相対的に脆弱となる事や、治療による活動性の向上に起因する椎体への物理的な負荷増大によるものである可能性もある。いずれにせよ、骨粗鬆症性の圧迫骨折に対して経皮的椎体形成術を施行した患者は、更なる圧迫骨折が発生について高リスクの状態であるため、厳重な経過観察が必要である。術後の新規圧迫骨折を評価するために、脊椎単純X写真は簡便な方法である<sup>24)</sup>。

### 3) 脊椎MRI

術後の経過観察にて、新規の圧迫骨折が疑われた際には脊椎MRIを撮像する。脊椎MRIで椎体の骨髄浮腫出現を評価することにより、脊椎単純X線写真で椎体変形が出現する前に新規圧迫骨折を診断することが可能である<sup>24)</sup>。

## 最後に

経皮的椎体形成術の手技を成功させる最大のポイントは、適切な患者選択である<sup>4,5)</sup>。術前の画像評価を適切に行い、個々の症例について適応を決定することが重要である。術中のイメージガイドについては、各々の施設において最も性能の高い透視装置を使用して骨セメントの椎体外漏出を最小限とすることが肝要である<sup>2-4)</sup>。術後には一定の頻度で発生する新規の圧迫骨折を、適切な画像評価で早期診断することが必要である。今後、本手技を新たに開始しようとする術者は、経験者の手技の見学、技術教育セミナー<sup>2)</sup>や手技ビデオ<sup>20)</sup>などを利用して実際の手技に習熟することが望まれる。

## 参考文献

1. Baba Y, Ohkubo K, Hamada K, et al: Percutaneous vertebroplasty for osteolytic metastasis: a case report. *Nippon Igaku Hoshasen Gakkai Zasshi* 57: 880-882, 1997.
2. 上村昭博, 内藤晃, 下山恵司, 他: 2005日本IVR学会総会「技術教育セミナー」椎体形成術. *IVR会誌* 21: 174-205, 2006.
3. 2007 ACR Practice Guideline and Technical Standards: Practice Guideline for the Performance of Percutaneous Vertebroplasty *Res.16g,17,34,35,36-2006*: 193-202, 2007.
4. Gangi A, Sabharwal T, Irani FG, et al: Quality assurance guidelines for percutaneous vertebroplasty. *Cardiovasc Intervent Radiol* 29: 173-178, 2006.
5. McGraw JK, Cardella J, Barr JD, et al: Society of Interventional Radiology quality improvement guidelines for percutaneous vertebroplasty. *J Vasc Interv Radiol* 14: 827-831, 2003.
6. Mirovsky Y, Anekstein Y, Shalmon E, Peer A., Vacuum clefts of the vertebral bodies., *AJNR Am J Neuroradiol.* 2005 Aug;26 (7) :1634-40.
7. Maehara M, Tanigawa N, Ikeda K, et al: Gadolinium-enhanced magnetic resonance imaging after percutaneous vertebroplasty does not improve the short-term prediction of new compression fractures. *Acta Radiol* 47: 817-822, 2006.
8. Tanigawa N, Komemushi A, Kariya S, et al: Percutaneous vertebroplasty: relationship between vertebral body bone marrow edema pattern on MR images and initial clinical response. *Radiology* 239: 195-200, 2006.
9. Uemura A, Kobayashi N, Numaguchi Y, et al: Preprocedural MR imaging for percutaneous vertebroplasty: special interest in contrast enhancement. *Radiat Med* 25: 325-328, 2007.
10. Sugimoto T, Tanigawa N, Ikeda K, et al., Diffusion-weighted imaging for predicting new compression fractures following percutaneous vertebroplasty., *Acta Radiol.* 2008 May;49 (4) :419-26.
11. Nussbaum DA, Gailloud P, Murphy K: A review of complications associated with vertebroplasty and kyphoplasty as reported to the Food and Drug Administration medical device related web site. *J Vasc Interv Radiol* 15: 1185-1192, 2004.
12. Takizawa K, Yoshimatsu M, Nakajima Y, et al: Development of a new support method for transpedicular punctures of the vertebral body: the isocenter puncture method. *Cardiovasc Intervent Radiol* 30: 757-760, 2007.
13. Mathis JM, Barr JD, Belkoff SM et al: Percutaneous Vertebroplasty: A Developing Standard of Care for Vertebral Compression Fractures. *American Journal of Neuroradiology* 22: 373-381, 2001.
14. Tanigawa N, Komemushi A, Kariya S, Kojima H, Sawada S., Intraosseous venography with carbon dioxide contrast agent in percutaneous vertebroplasty., *AJR Am J Roentgenol.* 2005 Feb;184 (2) :567-70.
15. Komemushi A, Tanigawa N, Kariya S, et al., Intraosseous Venography with Carbon Dioxide in Percutaneous Vertebroplasty:Carbon Dioxide Retention in Renal Veins., *Cardiovasc Intervent Radiol.* 2008 Mar 21. [Epub ahead of print]
16. Komemushi A, Tanigawa N, Kariya S, et al., Percutaneous vertebroplasty for compression fracture: analysis of vertebral body volume by CT volumetry., *Acta Radiol.* 2005 May;46 (3) :276-9.
17. Komemushi A, Tanigawa N, Kariya S, et al: Percutaneous vertebroplasty for osteoporotic compression fracture: multivariate study of predictors of new vertebral body fracture. *Cardiovasc Intervent Radiol* 29: 580-585, 2006.
18. Tanigawa N, Komemushi A, Kariya S, et al:

- Radiological follow-up of new compression fractures following percutaneous vertebroplasty. *Cardiovasc Intervent Radiol* 29: 92-96, 2006.
19. Tanigawa N, Komemushi A, Kariya S, et al: Relationship between cement distribution pattern and new compression fracture after percutaneous vertebroplasty. *AJR Am J Roentgenol* 189: 348-352, 2007.
20. Komemushi A, Tanigawa N, Kariya S, et al: Percutaneous Vertebroplasty for Compression Fracture under IVR-CT System Guidance: Indications, Technique, Results, and Complications Presenting in an Interactive CD-ROM in HTML Format. *Radiological Society of North America 90th Scientific Assembly And Annual Meeting*, 2004.

ダウンロードされた論文は私的利用のみが許諾されています。公衆への再配布については下記をご覧ください。

### 複写をご希望の方へ

断層映像研究会は、本誌掲載著作物の複写に関する権利を一般社団法人学術著作権協会に委託しております。

本誌に掲載された著作物の複写をご希望の方は、(社)学術著作権協会より許諾を受けて下さい。但し、企業等法人による社内利用目的の複写については、当該企業等法人が社団法人日本複写権センター((社)学術著作権協会が社内利用目的複写に関する権利を再委託している団体)と包括複写許諾契約を締結している場合にあっては、その必要はございません(社外頒布目的の複写については、許諾が必要です)。

権利委託先 一般社団法人学術著作権協会  
〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル3F FAX:03-3475-5619 E-mail:info@jaacc.jp

複写以外の許諾(著作物の引用、転載、翻訳等)に関しては、(社)学術著作権協会に委託致しておりません。

直接、断層映像研究会へお問い合わせください

### Reprographic Reproduction outside Japan

One of the following procedures is required to copy this work.

1. If you apply for license for copying in a country or region in which JAACC has concluded a bilateral agreement with an RRO (Reproduction Rights Organisation), please apply for the license to the RRO.

Please visit the following URL for the countries and regions in which JAACC has concluded bilateral agreements.

<http://www.jaacc.org/>

2. If you apply for license for copying in a country or region in which JAACC has no bilateral agreement, please apply for the license to JAACC.

For the license for citation, reprint, and/or translation, etc., please contact the right holder directly.

JAACC (Japan Academic Association for Copyright Clearance) is an official member RRO of the IFRRO (International Federation of Reproduction Rights Organisations).

Japan Academic Association for Copyright Clearance (JAACC)

Address 9-6-41 Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107-0052 Japan

E-mail info@jaacc.jp Fax: +81-33475-5619