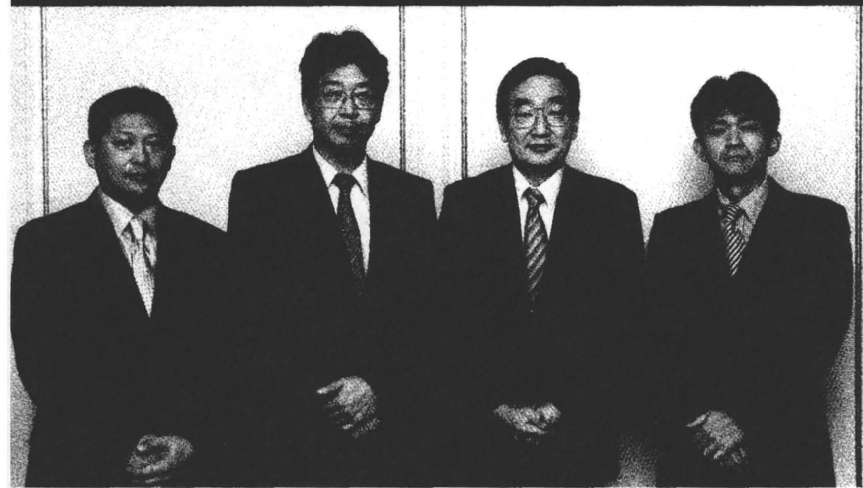


# 骨粗鬆症性脊椎骨折に対する 椎体形成術NOW



■出席者（発言順、敬称略）

**徳橋 泰明**（写真右から2人目）  
日本大学医学部整形外科系整形外科学分野 教授

**中村 博亮**（写真左から2人目）  
大阪市立大学大学院医学研究科整形外科 教授

**戸川 大輔**（写真左端）  
函館中央病院脊椎センター 医長

**松木 健一**（写真右端）  
東松山市立市民病院整形外科 医長

## 椎体形成術の手技および適応と限界

**徳橋** 近年、骨粗鬆症性脊椎骨折に対して早期除痛や早期離床および椎体変形の矯正を目的に椎体形成術が施行されていますが、手技の違いや健康保険適用の問題などにより少し変則的なかたちで進行しているのが現状です。そこで今回は、椎体形成術の経験豊富な先生方にお集まりいただき、骨粗鬆症性脊椎骨折に対する椎体形成術の現状について討議したいと思います。まず、先生方各自の手技および適応と限界についてご説明いただきます。

**中村** 当施設では、生体活性のないアクリル性骨セメント（polymethylmethacrylate：PMMA）ではなく、骨伝導能を有するリン酸カルシウム骨セメント（calcium phosphate cement：CPC）を用いた椎体形成術を行っています。全身麻酔下で骨折椎体の椎弓根直上に約2cmの皮切を左右別々に加え、筋膜切開後、筋層間を剥離して椎弓後面に到達します。その後イメージ透視下に椎弓根を再度同定し、オウル、プローブ、タップを使用して経椎弓根的に椎体内に到達します。次にウロマチックバルーンを挿入して、椎体内に空間を作製、また椎体高の可及的整復をします。その後、内視鏡を片側の椎弓根から挿入し、他側の椎弓根からカンシあるいはエイヒを挿入して、偽関節腔内の結合組織を搔爬します（図1）。その後CPCを充填します。

適応は、椎体骨折後十分な保存療法を行っても奏効しなかった偽関節例（3ヵ月以上経過しても疼痛が遷延して

いる偽関節例）で、椎体内に不安定性が残る症例に限っています。ただ、下肢の神経症状が強い場合、具体的には運動麻痺が強い症例に対しては、椎体形成術単独では限界があります。逆に、疼痛や感覚障害が強くても、運動麻痺がなければ椎体形成術の適応となり得ます。

**戸川** 我々の手技であるballoon kyphoplasty（バルーン椎体形成術）は、1椎体に対して5～6mmの皮切が2ヵ所所で可能な低侵襲脊椎手術です。従来の経皮的椎体形成術では圧潰した骨折椎体を経皮的に整復することが困難で、痛みは改善しても骨折椎体の楔状化が残存したままとなります。Balloon kyphoplastyは、骨折した椎体内に拡張可能で圧センサーモニターのついた整形外科用バルーンを挿入し、それを拡張することで潰れた椎体を整復し、それによってできた空洞部分に骨セメントを充填することで局所の固定、安定化を図ります。適応については、わが国の治験ベースの適応と欧米での適応が大きく異なっており、今後この手技が展開されるに伴って、原発性および二次性の骨粗鬆症性圧迫骨折、骨髄腫、溶骨性の転移性脊椎症へと広がっていくと考えています。

わが国の現時点での臨床試験では、8週間の保存療法抵抗性を示す原発性の骨粗鬆症性脊椎圧迫骨折が対象で、治療椎体は1椎体のみと限定されています。除外症例は、骨セメントの脊柱管への嵌入が危惧されるような著しい後壁損傷が認められる場合、カニューラが通る椎弓根に著しい骨折が認められる場合、CT画像で椎体壁に大きな欠損が認められる場合です。

松木 我々は、HA block(ハイドロキシアパタイトによる人工骨)を用いて椎体形成術を施行しています。HA blockは気孔率30%のHA顆粒を5mm径の直方体様に加工したもので、一面が斜めになっていることで充填時に椎体内において石垣状に収束します(図2)。1本の容器に6個のHA blockが収められており、通常の骨粗鬆症椎体においては1椎体あたり20~35本の充填を目標とします。充填量が少ないと術後の矯正損失が増大し、後弯変形を残す原因となるため注意が必要です。通常は全身麻酔下で約5cmの正中切開を加え、経椎弓根的にHA blockを挿入し、充填したブロックが椎弓根から脱落しないようHA plugにて椎弓根に栓をします。

現段階では、基本的に椎体変形率が60%以上ある新鮮例を適応としています。60%未満の場合はHA blockの逸脱がなくても20%以上の矯正損失を認める頻度が高いことから、60%未満ではインストゥルメンテーションを使用した脊椎固定を併用しています。HA blockによる矯正損失は2ヵ月以内に起こることが多く、術後3ヵ月以上経過してから新たに矯正損失や圧潰が生じたケースは今まで1例もありません。HA blockはあくまで骨折椎体に骨新生ができるまでの補助的な材料だと考えていますので、骨折椎体に骨新生を期待できない偽関節例では脊椎固定が必要になることが多く、この点がHA blockの限界と考えています。

しかし、HA blockの場合は、骨セメントの成分が血管内に流れ込むことによる肺塞栓症、心筋梗塞、脳血管

障害や、脊柱管内への漏出による脊髄障害などの重篤な合併症の心配がなく、また血液などの混入による圧縮強度の低下もありませんので、発症3ヵ月以内の新鮮例にはよい適応になると思います。

徳橋 経皮的椎体形成術が臨床上非常に有意義であるにもかかわらず、健康保険での扱いが各国で異なりますね。

戸川 米国では、65歳以上の高齢者に対するMedicare、および65歳以下でも重篤な身体障害者に対する保険の

Medicaid(米国の公的医療保険制度)がありますが、州ごとに椎体形成術の必要性に対する認識の違いがあります。つまり経皮的椎体形成術に対する認識は全米統一ではなく、現段階では地域や施設により診療費用が異なっています。

わが国でも経皮的椎体形成術の手技に対する診療報酬の保険点数は定められておらず、どの診療コードで請求するかに関しては、各施設あるいは都道府県ごとにバラツキがあります。骨セメントによる椎体形成術が厚生労

## 徳橋 泰明氏

日本大学医学部整形外科学系  
整形外科学分野 教授

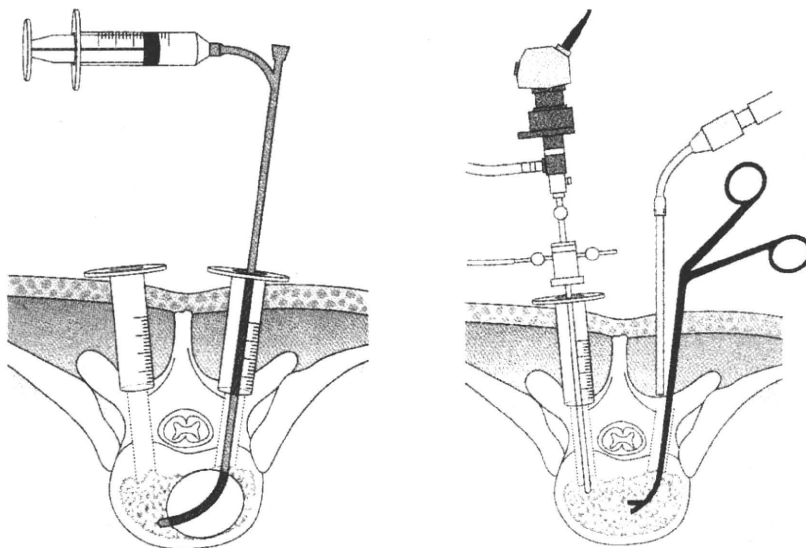


図1. バルーンと内視鏡を用いた椎体形成術

中村 博亮 氏

大阪市立大学大学院  
医学研究科整形外科 教授



働省から先進医療として承認されているのは現在36施設に限られています。

また、balloon kyphoplastyについても現在術後2年の治療成績が審査され、ようやく条件付(日本整形外科学会からのガイドライン作成)で承認されたばかりで、現時点では自由に臨床で施行できません。

**徳橋** 現在、日本整形外科学会としても経皮的椎体形成術を承認するよう申請中です。

は約3%でした。

**戸川** Balloon kyphoplastyでは、骨折椎体上下の正常な椎体を参照して骨折前の椎体高を推定算出し、その後骨折でどの程度失われ、手技によりどの程度戻ったかの矯正度を計算しました。

今回の臨床治験における81症例のデータでは、患者が骨折で失った椎体高の約1/3(平均31%)が復元でき、80%以上の症例で損失椎体腔の10%以上の回復を認めています。この回復率は必ずしも満足できる結果ではなかったのですが、治験対象には受傷後8週以降あるいは12週以降の症例が多く、骨折の慢性度が椎体の整復度を大きく左右したとも考えられます。

ところで、矯正の意義についてですが、本当に厳しい楔状骨折であればその1椎体の変形だけでも全体的な矢状面脊椎アライメントが悪化しますし、それが原因の後弯の進行は当然上下あるいはそれに影響された椎体の続発性骨折を惹き起こすことになります。したがって著しい後弯を抑制することが重要で、骨折した椎体をできるだけ元の形に復元・矯正して固定することが骨折治療の基本となります。

もう1点は、椎体の中に空洞を形成して骨セメントを安全に充填するかです(図3)。骨セメントそのもののリスクや、骨セメントの漏洩による合併症は少なからず存在しますので、重合度の高いfree monomerの少ない骨セメントの使用と、漏洩を妨げる組織の壁をもった空洞の形成が骨セメントの合併症防止を考える上で重要です。

矯正損失については、私が留学していたCleveland Clinicでは患者が遠方から来られるケースが多くて十分なfollow upデータが集積されておらず、あまり参考にはなりません。わが国の治験データについても、残念ながらまだ公表できる段階ではありません。

各手技における矯正度と長期経過について

**徳橋** 次に、矯正度と矯正損失について先生方の実状およびお考えをお聞かせください。

**中村** 基本的に神経症状がある場合は除圧の後、インストゥルメンテーションを使用します。一方、下肢の神経症状がない場合に椎体形成術を単独で行います。骨折椎体の椎体高比率を隣接非骨折椎体との比率で求め、その推移を検討しますと、椎体形成術単独の場合、術前の椎体高比率は平均約50%で、術後72%前後に矯正されます。また、術後1年の比率は約64%で、8%前後の矯正損失がみられます。さらに、インストゥルメンテーションを併用した場合は椎体高比率の増加が約30%で、矯正損失

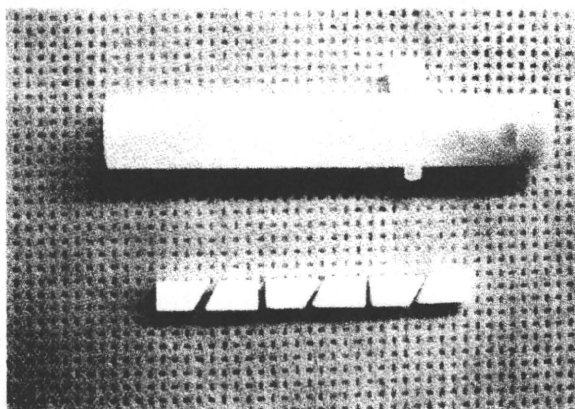


図2. HA block

1本につき気孔率30%、5mm径の直方体様HA顆粒が6個入っており、1椎体あたり通常20~35本使用する。

**松木** HA blockは、矯正を回復しそれを維持するという点では、一部の症例に対し限界があり、急性期症例に対し早期の除痛と後弯の変形を残さないようにする目的で行っています。椎体高の前縁部/後縁部の平均楔状変形率は、術前74.7%、術後88.2%、最終的には78.7%で、矯正損失としては約9.5%になります。椎体外にHA blockが逸脱しない症例だけを対象とすると矯正損失は約6.4%です。HA blockはあくまで補助的な材料ですので、矯正回復が優先される症例では、脊椎の固定つまりインストゥルメンテーションの併用が必要だろうと考えます。

**徳橋** 矯正度については、対象が1椎体だけでは限度があると考えますが、先生方は実際には何椎体を対象とされているのですか。

**中村** 当施設での対象は偽関節例で、ほとんどの症例が1椎体です。稀に2椎体偽関節の症例があり、その場合は2椎体を対象に行うこともあります。椎体骨折が2椎体にみられても、偽関節が1椎体のみである場合は、その椎体にのみ椎体形成術を施行し、偽関節でない椎体に適応することはありません。

**戸川** Balloon kyphoplastyのわが国の臨床治験では対象を1椎体と限定していますが、一般的に欧米では少なくとも2椎体まで行われています。2椎体までというのは、骨セメントの合併症を危惧してのことです。ただ、多発性骨髄腫では腫瘍に侵されていない椎体がほとんどない症例も多く、このような患者に対しては2椎体ずつ何回も手術するよりも、4~5椎体を一度に手術せざるを得ないこともあるようです。

**松木** X線所見で1椎体の骨折だと判断しても、MRIでは2椎体に輝度変化がみられる症例は結構ありますので、

2椎体手術を行うこともあります。稀に3椎体を対象に行うこともありますが、統計的には2椎体例が全体の20~30%程度で、基本はやはり1椎体です。

**徳橋** 戸川先生の留学施設では長期的follow upが難しかったとのことでしたが、他の手技の長期経過についてお伺いしたいと思います。

**中村** CPC使用に関しては、術後1年のCT画像において骨ペーストの周辺部が部分的に吸収されていることが確認できます。その吸収された部位、椎体の前方あるいは側方部には骨形成がみられる傾向があります。

**戸川** 治験における術後2年のデータによれば、続発性椎体骨折が22%で、そのうち10%が隣接椎体骨折です。過去の自然経過の報告では1年以内に20%前後新規骨折が起こることから、balloon kyphoplastyを施行したからといって骨折率が高くなるという印象は、この治験からはうかがえません。また、術後2年の治療椎体の再骨折も認められません。

**松木** 我々の手技では、術後5ヵ月ほどは硬性・軟性コルセットを使用しており、術後3ヵ月以降に今までなかった矯正損失や圧潰を新たに認めた症例は119椎体中1例もありませんでした。したがって、術後6ヵ月頃の再診で矯正損失や圧潰がなければ、その後に当該部位が悪化することは基本的にないものと考えます。

CT画像でHA blockの周囲に骨新生がみられるかを確認したところ、3~6ヵ月でHA block周囲に新生骨が認められています。隣接椎体骨折については、119椎体中7椎体(5.8%)にみられました。他の充填材料に比べて隣接椎体骨折が少ないのは、HA blockの力学的強度が弱いことがかえって奏効したものと考えられます。

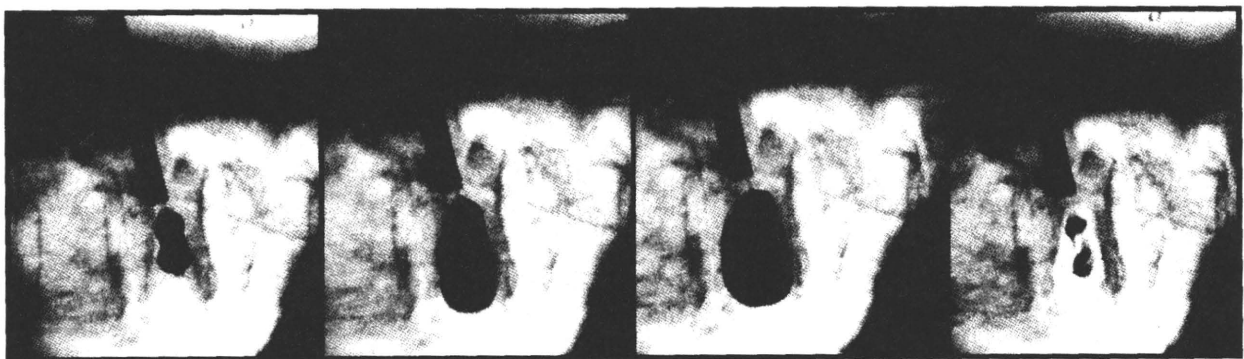


図3. Balloon kyphoplastyにおける骨折椎体の整復と空洞形成

患者を腹臥位とし、経椎弓根性にカニューラを椎体内へ挿入し、造影剤をバルーンに注入しながら拡張する。拡張圧は付属のモニターで確認できる。整復後は、バルーン内の造影剤をシリンダーへ引き戻すことでバルーンが収縮する。骨折椎体は整復され、椎体内には組織の壁をもつ空洞が形成される。この空洞に粘調性の高い骨セメントを圧をかけずに充填する。

## 戸川 大輔 氏

函館中央病院  
脊椎センター 医長



### 初期シリーズからの 変更点と今後の課題

**徳橋** それぞれの手技については初期シリーズからいろいろな工夫をされていることと思います。そのような工夫あるいは変更点についてご紹介ください。

**中村** CPCの骨ペーストについては、できるだけ粘稠性の高いペーストになるように工夫をしています。また、椎体内の結合組織を搔爬する際に、容易に操作できるように

特殊な機械(先端部が自由に曲がるような特殊な鉗子)を作っています。皮切についても紆余曲折がありましたが、現在は椎弓根開孔部を直接みて操作ができるように、約2cmの皮膚切開を行っています。

今後の課題は適応をどこまで広げるかです。特に、下肢の神経症状がどの程度あっても対処可能かを見極めることが重要かと考えています。

**戸川** Balloon kyphoplastyにおける技術的な工夫としては、Cアームでのポジショニングの設定があります。骨折椎体の正面像や側面像を同時にみるのに適切な位置に2つのCアームを固定して手術を行えば、1椎体につき20~30分で終わることが出来ますので、このCアーム設定は非常に重要です。また、挿入途中でもパベルの向きによって進行方向を制御できるようなカニューラや、一部が変形癒合していて持ち上がらない椎体内の骨折を改善するような新しいデバイスなどの開発も行われており、安全で有効な椎体高の復元や空洞の形成に貢献できるようになってきています。

今後の課題は、手技向上の意義やトレーニングをいかに考えるかです。米国では従来のPMMAによる椎体形成術が、放射線科医、麻酔科医、あるいは脳外科医によっても行われています。それに比べて、骨折の整復によりアライメントを向上させることや安全に空洞を形成することがどの程度価値あることかを調べるためのランダム化比較試験(RCT)が実施されており、米国脊椎外科学会ではその結果を米国食品医薬品局(FDA)に報告して交差しようとしています。もちろん、わが国でも的確なデータを収集して対応していく必要があります。わが国の最も重要な問題点としてはトレーニングをいかに行うかです。現在、わが国以外の国では本手技について実際の手術の前に必ず一度はcadaver(屍体)を使ってトレーニングを

行います。しかし、わが国では通常cadaverが入手困難で、このようなトレーニングができないことから、今後どのような形で経験を積んでいくかを検討している最中です。

さらに、重篤な合併症を惹き起こさない最適なマテリアルの開発も望めます。海外では、骨セメントによる重篤な合併症が起こる確率は少ない上、経済効果にも優れている(PMMAのコストが安価である)ことから現在使用されているマテリアル(PMMA)で十分ではないかという議論になっていますが、死亡する可能性もある重篤な心肺合併症を避けるためにも、やはり骨セメント以外のマテリアルが開発されれば理想的だと考えています。

**徳橋** 中村先生は、今のご意見に対してどのようにお考えですか。

**中村** CT所見において椎体の輪郭から少しでもはみ出しているものを漏出と捉えると、CPCを使った我々の手技による術後1年の骨セメント漏出は約15%でした。塞栓症を含む大きな合併症を起こした症例は1例もありませんでした。ただ、合併症を未然に防ぐためには事前のトレーニングが必要で、戸川先生が指摘されておられるように、cadaverを使ってのトレーニングが最適だと思います。しかし、わが国ではcadaverを使用することが難しく、この点については今後の課題かと思っています。

**徳橋** 松木先生のご意見をお聞かせください。

**松木** HA blockは骨セメントで危惧されるような重篤な合併症の心配はありませんが、強度的にはあまり強くないため骨折椎体の周囲に骨新生ができる可能性のある新鮮例(発症後約1~2ヵ月)を適応としています。HA blockの強度をもう少し強くできれば適応がもう少し広がるかもしれませんが、現段階ではHA blockは新鮮例、PMMAあるいはCPCは偽関節という棲み分けが相応しいと考えます。最近では、高齢者の多くが手術に積極的になっていますが、周術期に全身状態が悪化する可能性も考慮し、高齢者に対しては必ず術前に心エコーを行ってから施術するぐらいの注意が必要でしょう。

**徳橋** 最近、New England Journal of Medicineに、経皮的椎体形成術とプラセボにおいて結果に有意差がなかったという論文が2報続けて掲載されました。1報目はBuchbinderらがオーストラリアで行ったRCTで、通常の椎体形成術群と針の挿入刺激を椎体に与える偽手術群を比較したもの、2報目はKallmesらがMayo Clinicを中心に行ったRCTで、通常の椎体形成術群と骨セメントの独特のにおいをかがせた偽手術群を比較したものです。この2論文についてどのようにお考えですか。

**中村** これらは、sham手術を対照とした初めての無作為化試験で画期的な論文だとは思いますが、問題は症例数がそれほど多くないことです。1報目は78例の患者登録で、追跡期間を終了した71例中、椎体形成術群35例、偽手術群36例でした。また施行時期が受傷後平均9週間と早い

ことも問題です。

また、2報目は131例中椎体形成術群68例、偽手術群63例ですが、受傷後手技施行までの期間がばらばらな症例が混在しています。これらの2論文の報告のみで、椎体形成術の位置づけを決定することは、適切ではないと思いますが、いずれにしてもその適応は慎重であるべきかと思えます。

戸川 同感です。RCTであるというインパクトは大きいですが、統計学的有意差を出すためにこの症例数で十分なのかという疑問がまず一つあります。さらにこのstudyへの登録に拒否した症例は登録された症例の倍近くあります。

また、疼痛スコアの改善に注目した場合、Buchbinderらの1報目でも椎体形成術群がプラセボ群に比べてやや改善傾向がみられていますし、INVESTと名付けられたKallmesらの2報目もベースラインから30%以上の有意な疼痛スコアの改善を認めた割合は椎体形成術群の方が高い傾向にありました。症例が少なかったことで、この傾向が統計的有意差につながらなかったという印象ですね。

さらに、2報目のstudyで面白いのはクロスオーバーを許している点です。3ヵ月経過時点で現行の治療に満足できない場合にもう一方の治療を受けることができるのですが、クロスオーバー治療を希望する率は椎体形成術群の方が対照群に比べて有意に低かったことを考えると、椎体形成術の疼痛緩和効果が実際にあるものと考えます。

松木 椎体形成術の目的は何とんでも痛みを取ることですが、もう1点、変形した椎体をできるだけ元の形に復元すること、あるいは今後それ以上圧潰しないように保持することです。2報のRCTの対照群は針の偽挿入や骨セメントのにおいて誤魔化した結果を比較していますが、仮に疼痛スコアの結果に有意差がないとしても、変形を残さないあるいは元に近い形態に復元するという意味では、椎体形成術は有効な方法であるといえます。

徳橋 高齢社会に立ち向かうためにも、骨粗鬆症性脊椎骨折の疾患が見直され、病態に合わせた治療法を的確に行っていくことが重要です。その中で、この椎体形成術がいかに市民権を得ていくかというのは非常に大事な問題だと思います。今日は、先生方から貴重なご意見をいただき有意義な座談会となりました。ありがとうございました。

## 松木 健一氏

東松山市立市民病院  
整形外科 医長



## 座談会を終えて

徳橋 泰明 (司会)

骨粗鬆症性脊椎骨折に対する椎体形成術は、最近マスコミにも取りあげられ、放射線科や脳神経外科でも行われるようになりました。しかし、骨折治療のプロである整形外科がリーダーシップをとるべきと思っています。今回の3人の椎体形成術は、対象とする病態や適応は異なりますが、それぞれの手技の利点と限界についてわかりやすくお話しいただきました。骨粗鬆症性脊椎骨折は、骨折時期や病態にかなりの多様性があり単独の手技ですべてを解決できないことも明らかです。そのため、それぞれの手技の適応と利点を生かしながら発展していくことを期待しています。

# 特集 脊椎インストゥルメンテーションのリスクとベネフィット

## 椎弓根スクリュー固定後の脊椎骨折

上井 浩\* 徳橋 泰明

**要旨**：脊椎変性疾患に対し椎弓根スクリューを併用した脊椎後方固定術の、術後の脊椎骨折に関しての報告は少なく、脊椎インストゥルメンテーションによる影響を分析した報告は非常に少ない。今回、脊椎後方固定術を施行した70歳以上の高齢女性に発生した椎体骨折の発生部位、頻度、病態などを調査し、その危険因子を調査した。70歳以上の高齢者での術後新規椎体骨折の発生は46.8%と対照と比べると著しく高率であり、70歳未満と比較して有意に骨折の危険性が高かった。閉経後の女性の骨密度低下は全般的であり、経年的に偶発的に椎体骨折が生じた可能性も否定できない。術後椎体骨折に関して、後方固定術式の種類、固定椎間数、transverse fixator 使用の有無、術前の骨密度に有意な危険因子はなかったが、仙椎固定の有無のみに有意差を認めた。70歳以上の女性に対して脊椎インストゥルメンテーション固定を行う場合は椎体骨折を起こす危険性が高いことを意識することが重要である。

### はじめに

脊椎変性疾患に対し、椎弓根スクリュー（以下、PS）を併用した脊椎後方固定術は、強力な初期固定性により近年広く高齢者にも適応されるようになってきたが、脊椎インストゥルメンテーションによる強固な固定に起因する隣接椎間障害も問題となっている。しかし脊椎固定術後の脊椎骨折に関しての報告は少なく、特に骨粗鬆症の椎体に対しての脊椎インストゥルメンテーションによる影響を分析した報告は非常に少ない。今回の研究の目的は、脊椎後方固定術を施行した70歳以上の

高齢女性に発生した椎体骨折の発生部位、頻度、病態などを調査し、その危険因子を明確にすることである。

### I. 対象ならびに方法

1997年4月から2006年3月までに脊椎変性疾患に対して椎弓根スクリューを併用した脊椎後方固定術を施行した70歳以上の女性94例と、同時期に椎弓根スクリューを併用した脊椎後方固定術を施行した70歳未満の女性98例を対象とした（表1）。両群とも全例術前にdual energy X-ray absorptiometry (DXA) を施行した。調査項目は、①術後の椎体骨折発生率と発生時期、②後方固定術式の種類と椎体骨折発生率、③固定椎間数と椎体骨折発生率、④仙椎固定の有無と椎体骨折発生率、⑤transverse fixator の使用の有無と椎体骨折発生率、⑥椎体骨折発生の有無と術前の椎体(L2-L4)骨密度とした。なお、統計学的検定は $\chi^2$ 検定、2群間の検討ではt検定を行い、有意水準

\* Hiroshi UEI et al, 日本大学医学部, 整形外科学分野

Vertebral fracture after posterior fusion with pedicle screw fixation for degenerative spine diseases

**Key words** : Vertebral fracture, Pedicle screw fixation, Complication

表 1 症例の内訳

| 項目                    | 70歳以上女性<br>(n=94) | 70歳未満女性<br>(n=98) |
|-----------------------|-------------------|-------------------|
| 年齢                    | 70~86歳<br>(平均75歳) | 50~69歳<br>(平均61歳) |
| 疾患の内訳                 |                   |                   |
| 変性すべり症                | 30例               | 42例               |
| 脊柱管狭窄症                | 34例               | 39例               |
| 変性後側弯                 | 16例               | 12例               |
| 分離すべり症                | 1例                | 3例                |
| 外傷後後弯                 | 14例               | 2例                |
| 術式                    |                   |                   |
| 後側方固定術単独              | 30例               | 27例               |
| 後方進入椎体間固定術単独          | 19例               | 26例               |
| 後側方固定術+<br>後方進入椎体間固定術 | 30例               | 39例               |
| 骨切り術+後方固定術            | 15例               | 6例                |
| 固定椎間数                 |                   |                   |
| 1椎間                   | 17例               | 24例               |
| 2椎間                   | 23例               | 35例               |
| 3椎間                   | 29例               | 20例               |
| 4椎間以上                 | 25例               | 19例               |
| 術後経過観察期間              | 3~11年<br>(平均6.6年) | 3~11年<br>(平均6.2年) |

は  $p < 0.05$  を採用した。

## II. 結 果

### 1. 術後の椎体骨折発生率

70歳以上の女性の術後の椎体骨折発生は44例(46.8%, 73骨折)であった。対照の70歳未満の女性では28例(28.5%, 39骨折)で、両群間の発生率に有意差が認められた( $p=0.008$ , 表2)。椎体骨折発生のオッズ比は相対危険度が2.2(95% CI: 1.2-3.9)であった。骨折高位・型は一部の症例で重複したが、固定隣接椎体骨折では70歳以上で16骨折, 70歳未満で10骨折であった。遠隔高位椎体骨折はそれぞれ16骨折と9骨折, 固定頭側端椎体骨折は7骨折と2骨折, 固定尾側端椎体骨折は11骨折と5骨折, 固定中間部椎体骨折は2骨折と2骨折, PSのcut outは3骨折と4骨折であった(図1)。骨折判明時期は70歳以上で1カ月から9年(平均3年4カ月), 70歳未満で1

表 2 70歳以上, 70歳未満での骨折の有無

|       | 骨折あり*     | 骨折なし | 合計  |
|-------|-----------|------|-----|
| 70歳以上 | 44(46.8%) | 50   | 94  |
| 70歳未満 | 28(28.5%) | 70   | 98  |
| 合計    | 72        | 120  | 192 |

\* 骨折発生率の $\chi^2$ 検定;  $p=0.008$

カ月から10年(平均4年1カ月)であった。

### 2. 後方固定術式の種類と椎体骨折発生率

骨折発生率は固定椎間数の増加に伴い各術式とも増加したが、術式間では有意差は認められなかった(表3)。

### 3. 固定椎間数と椎体骨折発生率

固定椎間数別の椎体骨折発生率は1椎間で7例(41.1%), 2椎間で6例(26%), 3椎間で16例(55.1%), 4椎間以上の多椎間固定で15例(60%)



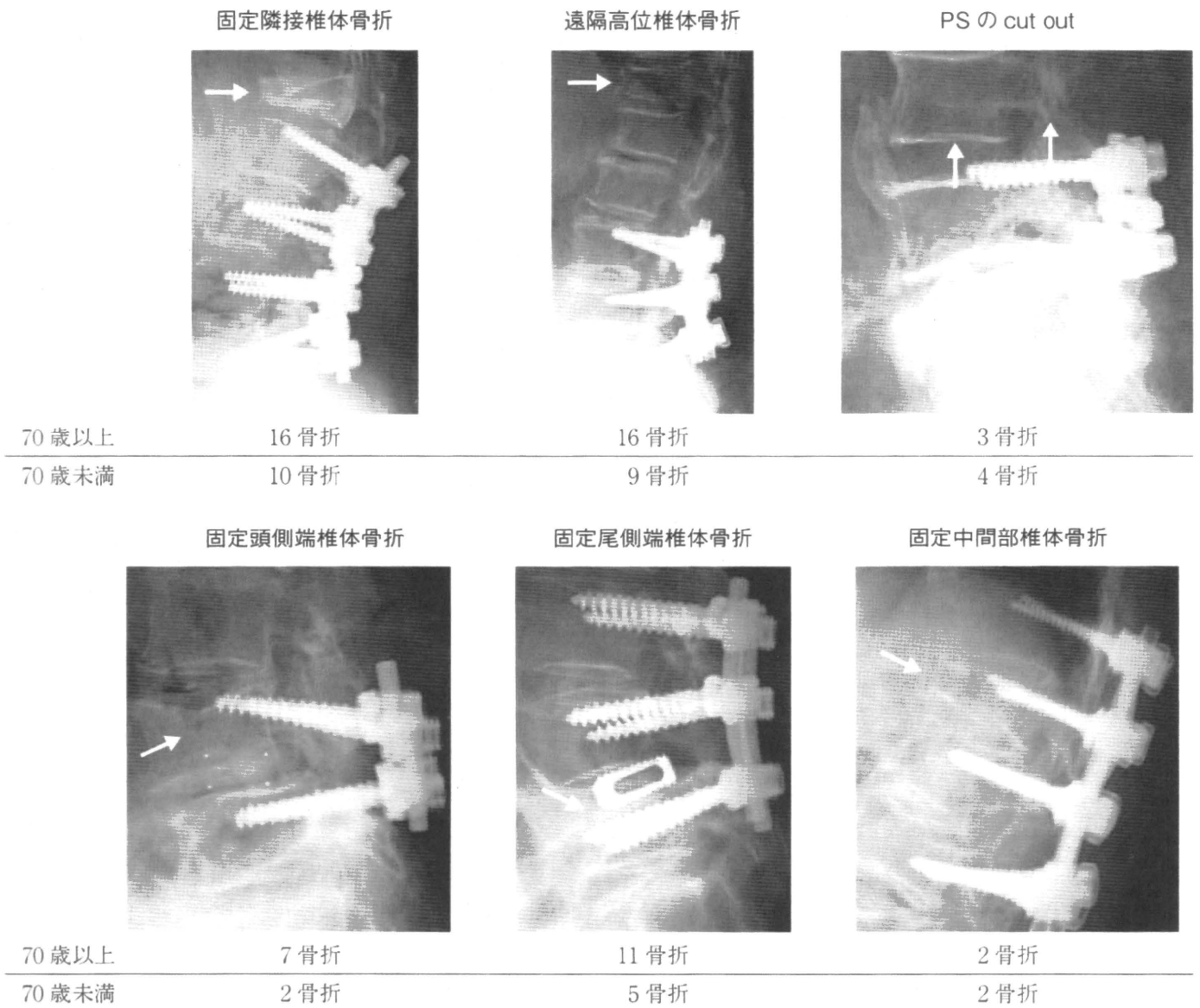


図 1 術後の椎体骨折形式と発生数  
骨折部および PS の cut out (矢印)。

であった。骨折発生率は固定椎間数の増加に伴い増加傾向を示したが、有意差は認められなかった ( $p=0.08$ , 表 3)。

#### 4. 仙椎固定の有無と椎体骨折発生率

仙椎固定を含むか否かによる椎体骨折発生率では、固定椎間数の増加に伴い、それぞれ増加傾向を示した。また、全体で明らかな有意差を示した ( $p=0.038$ , 表 4)。

#### 5. Transverse fixator 使用の有無と椎体骨折発生率

Transverse fixator 使用の有無では、椎体骨折発生率は固定椎間数の増加に伴い増加したが、全

体では明らかな有意差を示さなかった (表 5)。

#### 6. 椎体骨折発生の有無と術前の椎体 (L2-L4) 骨密度 ( $\text{mg}/\text{cm}^3$ )

骨折発生群の骨密度は平均  $0.70 \text{ mg}/\text{cm}^3$  (91.4%YAM 値) で、非骨折群の平均  $0.69 \text{ mg}/\text{cm}^3$  (87.1%YAM 値) と有意差はなかった。しかし、対照の 70 歳未満では、骨折発生群の骨密度は平均  $0.59 \text{ mg}/\text{cm}^3$  (76.8%YAM 値) に対し、非骨折群で平均  $0.69 \text{ mg}/\text{cm}^3$  (88.8%YAM 値) と有意差を認めた ( $p=0.004$ , 表 6)。

表 3 後方固定術式の種類および固定椎間数と椎体骨折発生率

| 固定椎間数    | 1 椎間         | 2 椎間        | 3 椎間          | 4 椎間以上      | 合計            |
|----------|--------------|-------------|---------------|-------------|---------------|
| PLF 単独   | 1/3 (33.3%)  | 2/10 (20%)  | 6/9 (66.6%)   | 5/8 (62.5%) | 14/30 (46.6%) |
| PLIF 単独  | 6/14 (42.8%) | 1/3 (33.3%) | 2/2 (100%)    | n/a         | 9/19 (47.3%)  |
| PLF+PLIF | n/a          | 3/10 (30%)  | 5/9 (55.5%)   | 6/10 (60%)  | 14/29 (48.2%) |
| 骨切り+PF   | n/a          | n/a         | 3/9 (33.3%)   | 4/7 (57.1%) | 7/16 (43.7%)  |
| 合計*      | 7/17 (41.1%) | 6/23 (26%)  | 16/29 (55.1%) | 15/25 (60%) |               |

PLF：後側方固定術，PLIF：後方進入椎体間固定術，PF：後方固定術

\* 固定椎間数の  $\chi^2$  検定； $p=0.08$

表 4 仙椎固定の有無と椎体骨折発生率

| 固定椎間数  | 1 椎間         | 2 椎間        | 3 椎間        | 4 椎間以上       | 合計*           |
|--------|--------------|-------------|-------------|--------------|---------------|
| 仙椎固定含む | 0/2 (0%)     | 2/3 (33.3%) | 3/4 (75%)   | 9/12 (75%)   | 14/21 (66.6%) |
| 仙椎固定なし | 7/15 (46.6%) | 4/20 (20%)  | 13/25 (52%) | 6/13 (46.1%) | 30/73 (41%)   |

\* 合計の  $\chi^2$  検定； $p=0.038$

表 5 Transverse fixator 使用の有無と椎体骨折発生率

| 固定椎間数 | 1 椎間       | 2 椎間         | 3 椎間        | 4 椎間以上       | 合計*           |
|-------|------------|--------------|-------------|--------------|---------------|
| あり    | 1/2 (50%)  | 2/9 (22.2%)  | 10/20 (50%) | 7/15 (46.6%) | 20/46 (43.4%) |
| なし    | 6/15 (40%) | 4/14 (28.5%) | 6/9 (66.6%) | 8/10 (80%)   | 24/48 (50%)   |

\* 合計の  $\chi^2$  検定；有意差なし

### Ⅲ. 考 察

脊椎変性疾患に対し PS を併用した脊椎インストゥルメンテーション固定術は、強力な初期固定性による隣接椎間障害が問題となることがある<sup>1)~3)</sup>。しかし脊椎インストゥルメンテーション固定術後の脊椎骨折は比較的好くみられる合併症であるにもかかわらず、その病態についての報告は少ない。Etebar ら<sup>4)</sup> は脊椎インストゥルメンテーション固定術を施行した 125 例のうち 5 例 (4%) に隣接椎体の疲労骨折が認められ、閉経後の女性に対するインストゥルメンテーション固定の危険性を報告している<sup>4)</sup>。また豊根ら<sup>5)</sup> は特に年齢別の検討は加えてはいないが、術後新規脆弱性椎体骨折は女性 49 例中の 11 例 (22%)、19 椎にみられ、隣接椎骨折は術後 8 カ月以内に、遠隔

表 6 椎体骨折発生の有無と術前の椎体 (L2-L4) 骨密度 (mg/cm<sup>3</sup>)

|        | 骨折発生群     | 非骨折群      | p     |
|--------|-----------|-----------|-------|
| 70 歳以上 | 0.70±0.27 | 0.69±0.18 | NS    |
| 70 歳未満 | 0.59±0.13 | 0.69±0.14 | 0.004 |

椎骨折は 8~22 カ月で発生し、固定椎から距離が遠くなるほど遅く発生すると報告している。Watanabe ら<sup>6)</sup> は脊椎インストゥルメンテーション固定術後の椎体骨折を固定最上位椎体骨折と、固定隣接椎体の骨折の 2 つのタイプに分けている。前者は術後早期に発症し、手術によるアライメントの急激な矯正や仙椎固定などの剛性の高い固定が原因であるとしており、後者は術後長期経過後に発症し、自然経過によるものであると述べてい

る。通常の自然経過と考えられる椎体骨折に関しては、Hashimotoら<sup>7)</sup>が日本人の40歳代の女性の椎体骨折が生じた割合は2.1%であったが、50歳代で10.2%、60歳代で14.0%、70歳代で44.9%と報告している。しかし、骨密度と関連させて術後の椎体骨折を調べた報告はない。われわれの今回の結果では70歳以上の高齢者での術後新規椎体骨折の発生は46.8%と対照の70歳未満と比較して著しく高率であり、有意に骨折の危険性が高かった。このことから閉経後の女性の骨密度低下は全般的であり、経年的に偶発的に椎体骨折が生じた可能性も否定できない。しかし、70歳未満においては骨折群と非骨折群で骨密度の数値に明らかな有意差があり、骨密度の低下は術後椎体骨折の危険因子であると考えられる。

また、佐野ら<sup>8)</sup>は腰椎変性疾患に対してインストゥルメンテーション固定術を施行した550例中9例(1.6%)で固定椎体もしくは隣接椎体の骨折が生じ、剛性の高いインストゥルメントの使用が関与していたと報告している。今回の結果では、脊椎後方固定術式別での発生率には有意差は認められなかった。また、3椎間以上の多椎間固定で椎体骨折発生率が高かったが、明らかな有意差を示さず、transverse fixator使用の有無でも明らかな有意差を示さなかった。しかし、仙椎固定を含む症例で有意に椎体骨折発生率が高かった。このことはいずれの後方固定術式でも隣接椎体などへの負荷があまり変わらないことを示唆しているが、transition zoneである腰仙椎での固定は、やはり固定上位椎に明らかな負荷がかけられていることが考えられる。一方、transverse fixator使用の有無は椎体骨折に対する影響は比較的少ないものと考えられた。

70歳以上の女性に対して脊椎インストゥルメ

ンテーション固定を行う場合は、いずれの術式、固定椎間数であっても椎体骨折を起こす危険性が高いことを意識すること、また仙椎への固定は可及的に避けることが術後椎体骨折を防ぐのに重要である。また通常自然経過である椎体骨折を防ぐためには骨密度の増加は図るべきである。

## 文 献

- 1) Aota Y et al : Postfusion instability at the adjacent segment after rigid pedicle screw fixation for degenerative lumbar spinal disorders. *J Spinal Disord* **8** : 464-473, 1995
- 2) Lee CK et al : Accelerated degeneration of the segment adjacent to a lumbar fusion. *Spine* **13** : 375-377, 1988
- 3) Phillips FM et al : Intervertebral disc degeneration adjacent to a lumbar fusion ; an experimental rabbit model. *J Bone Joint Surg* **84-B** : 289-294, 2002
- 4) Etebar S et al : Risk factors for adjacent-segment failure following lumbar fixation with rigid instrumentation for degenerative instability. *J Neurosurg* **90** : 163-169, 1999
- 5) 豊根知明ほか : 胸腰椎固定術後に発生する脆弱性椎体骨折—脊椎インストゥルメンテーションの時間的空間的影響. *臨整外* **43** : 327-330, 2008
- 6) Watanabe K et al : Proximal junctional vertebral fracture in adults after spinal deformity surgery using pedicle screw constructs. *Spine* **35** : 138-145, 2010
- 7) Hashimoto T et al : Epidemiology of osteoporosis in Japan. *Osteoporos Int* **7** (Suppl 3) : 99-102, 1997
- 8) 佐野茂夫 : 胸腰椎変性疾患に対する spinal instrumentation 後の固定・非固定移行部の障害—特に障害の病態, 部位, および instrument rigidity の関係について. *臨整外* **32** : 1291-1298, 1997

\*

\*

\*

## 骨粗鬆症性椎体骨折癒合不全に対する CPC 椎体形成術の長所と短所

Clinical Efficacies and Limitations of Calcium Phosphate Cement Vertebroplasty for Osteoporotic Vertebral Fracture Non-union

武政 龍一 谷 俊一

Ryuichi Takemasa, Toshikazu Tani

### 要 旨

われわれは腰背部痛の著しい骨粗鬆症性椎体骨折後の骨癒合不全(偽関節/遷延治癒)を対象とし、リン酸カルシウムセメント(CPC)を用いて骨折部の修復と安定化、および椎体変形の矯正を目指した椎体形成術を行ってきた。Biportal法で手術した67例71椎体の術後平均20ヵ月の追跡調査を行った。

CPC充填時に骨腔内圧が上昇しない本法は、セメント椎体外漏出の発生リスクが少なく安全である。臨床的にも著明な除痛効果と良好な椎体楔状変形の矯正がなされており、高齢者の椎体後壁損傷を高率に合併する椎体骨折後骨癒合不全に対して有効であった。椎体不安定性が遅発性両下肢不全麻痺発症の主因と考えられた15例に対しても本法にて麻痺の改善が得られ、歩行機能が再獲得された。課題は全身麻酔を要すること、血液の多量混入や粉碎破裂型骨折例でCPCが十分に硬化する前に荷重するとCPC塊のfragmentationが生じることがあること、および臨床成績が手術手技の成否に依存する傾向があることなどである。

### Abstract

We have used calcium phosphate cement (CPC) for vertebroplasty to repair, stabilize, and reduce the vertebral nonunion (pseudarthrosis/delayed union) following osteoporotic vertebral fractures. Sixty-seven patients with 71 nonunions underwent the CPC vertebroplasty with a biportal technique and followed up for 20 months in average. This treatment was effective for early pain relief and significant deformity correction of severely collapsed vertebral fractures with a low rate of cement leakage and complications. Using this technique, patients with posterior vertebral wall destruction could be treated successfully without an epidural cement leakage. Fifteen patients with delayed-onset paraparesis associated with a marked local instability of progressive vertebral collapse recovered from their neurologic deficits following the vertebroplasty by at least 1 grade of modified Frankel grading system, and regained their ambulatory ability.

There were some disadvantages such as a fragmentation of the CPC mass, or a refracture of the treated vertebra. The CPC-specific surgical technique may be essential to obtain the excellent clinical outcomes.

**Key words** : 骨粗鬆症性椎体骨折 (osteoporotic vertebral fracture) 椎体形成術 (vertebroplasty) リン酸カルシウムセメント (calcium phosphate cement)

高知大学医学部整形外科(〒783-8505 南国市岡豊町小蓮) Department of Orthopaedic Surgery, Kochi Medical School, Kochi University

## 緒言

骨粗鬆症性椎体骨折に対する低侵襲手術には種々の方法があり、対象とする症例や用いた手技などによりその成績は異なる<sup>15)</sup>。われわれは腰背部痛の著しい骨粗鬆症性椎体骨折後の骨癒合不全(偽関節/遷延治癒)を対象とし、リン酸カルシウムセメント(CPC)を用いて骨折部の修復と安定化、および椎体変形の矯正を目指した椎体形成術を行ってきた(図1)<sup>16)</sup>。CPCはPMMAと異なり、非発熱性に自己硬化して、約72時間で皮質骨強度に迫る80MPaほどの圧縮強度に至り、周囲に骨伝導しながらホスト骨と直接結合することが知られているが、血液が多量に混合すると硬化が妨げられたり、血流に流されてwash-outされるなどの欠点もあり<sup>6,11)</sup>、その成否は手術手技に大きく依存する<sup>1,7)</sup>傾向がある。本稿ではCPC椎体形成術の長所と短所を評価し報告する。

## 対象および方法

われわれは2005年より全身麻酔下に罹患椎体両側椎弓根上に直径18mmのX線透過性円筒レトラクターを2つ設置するbiportal法を行っている<sup>17)</sup>(図2)。偽関節など骨癒合不全椎体の骨折可動性を利用して、体位の工夫と椎体内での整復用器具による矯正操作により椎体楔状変形を可及的

に整復する。そしてCPCの骨伝導作用を期待するため偽関節腔に存在する瘢痕・壊死組織を専用器具で搔爬摘出し、骨腔内面を新鮮化してCPCと骨とのdirect contactを達成する。骨腔内部に残るdebrisや血餅は、一方の椎弓根孔から生理食塩水を勢いよく注入し、骨腔内をフラッシングすることで、対側の椎弓根孔から溢れ出る水流とともに完全に排出し、骨腔内にCPCの充填を妨げるものがない状態を形成する。その後、麻酔医に一時的に低血圧処置をお願いして骨髄出血をできるだけ抑制し、骨腔内に貯留する生食水や血腫などを完全に吸引排出する。最後に高粘性CPC(粉/液比=4.0-4.1g/ml)をセメントガンにて、必ず骨腔の最深部から充填を開始して骨腔を満たし、椎体前方荷重部に一塊となるCPC硬化体を形成することで骨折部の力学的安定化と変形矯正位の維持を図っている。

調査対象はbiportal法で手術した椎体骨折後の骨癒合不全67例71椎体(偽関節55/遷延治癒16)であり、手術時平均年齢は80(61~92)歳、発症から手術まで平均9.2ヵ月で、腰椎BMDの平均Tscoreは-2.7、観察期間は6ヵ月以上平均20ヵ月であった。手術高位はT11が6、T12が24、L1が23、L2が9、L3が7、L4が2椎体であった。椎体後壁損傷による後壁の脊柱管内突出は71椎体中66椎体(93%)に存在し、CT矢状断像での脊柱管内最大突出率は平均35.2%であった。本症例には処置椎

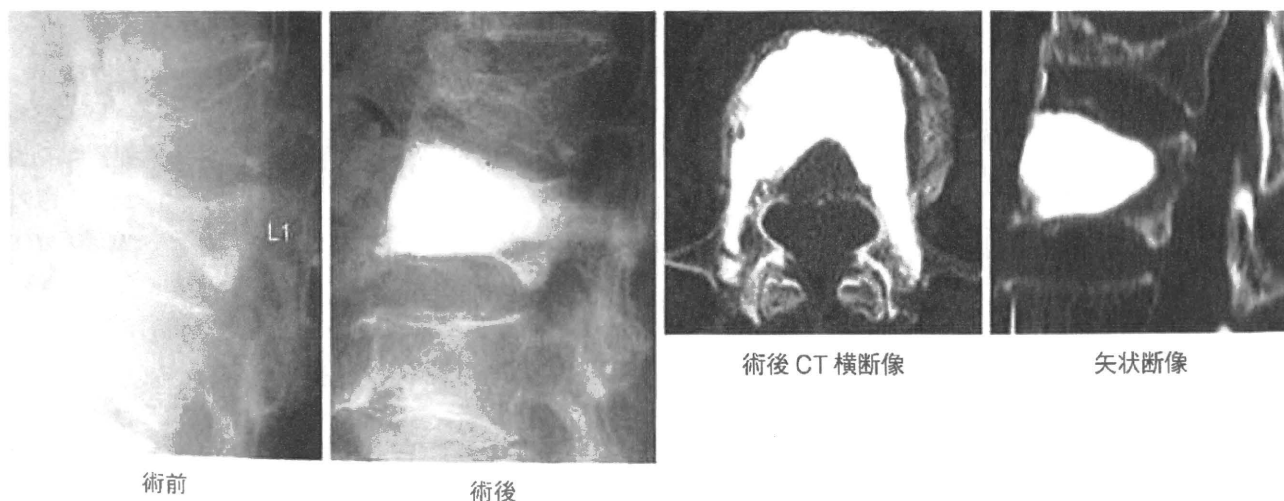


図1 L1椎体偽関節に対するリン酸カルシウムセメント(CPC)を用いた椎体形成術  
われわれは腰背部痛の著しい骨粗鬆症性椎体骨折後の骨癒合不全(偽関節/遷延治癒)を対象とし、リン酸カルシウムセメント(CPC)を用いて骨折部の修復と安定化、および椎体変形の矯正を目指した椎体形成術を行っている。

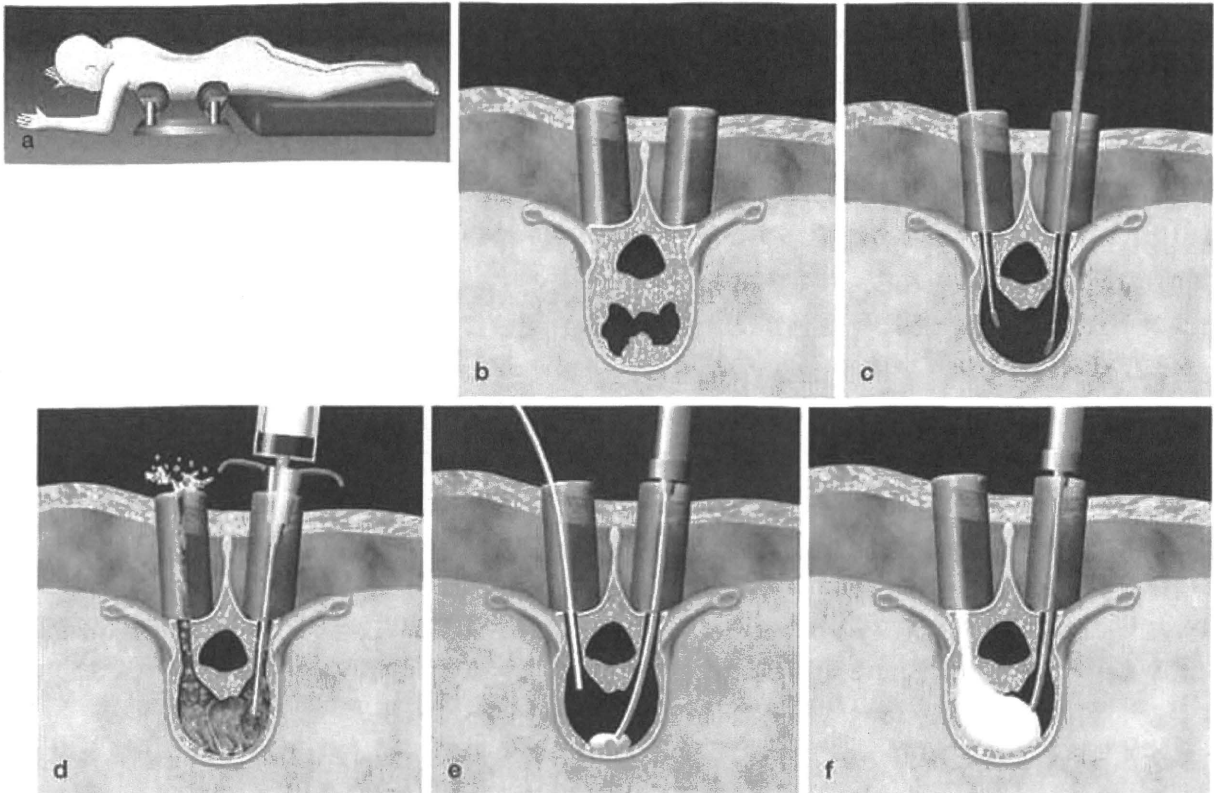


図2 Biportal法によるCPC椎体形成術式

- a: 偽関節など骨癒合不全椎体の骨折可動性を利用し、体位の工夫により椎体楔状変形を可及的に整復する。
- b: 罹患椎体両側椎弓根上に直径18mmのX線透過性円筒レトラクターを2つ設置する。
- c: CPCの骨伝導作用を期待するため偽関節腔に存在する癒痕・壊死組織を専用器具で搔爬摘出し、骨腔内面を新鮮化してCPCと骨とのdirect contactを達成する。椎体内で終板を開大させる変形整復操作も追加する。
- d: 骨腔内部に残るdebrisや血餅は、一方の椎弓根孔から生理食塩水を勢いよく注入し、骨腔内をフラッシングすることで、対側の椎弓根孔から溢れ出る水流とともに完全に排出し、骨腔内にCPCの充填を妨げるものがない状態を形成する。
- e: 麻酔医に一時的に低血圧処置をお願いして骨髄出血をできるだけ抑制し、骨腔内に貯留する生食水や血腫などを完全に吸引排出した後、充填用ノズルを骨腔最深部に設置する。
- f: 高粘性CPC(粉/液比=4.0-4.1g/ml)をセメントガンにて、必ず骨腔の最深部から充填を開始して骨腔を満たし、椎体前方荷重部に一塊となるCPC硬化体を形成する。

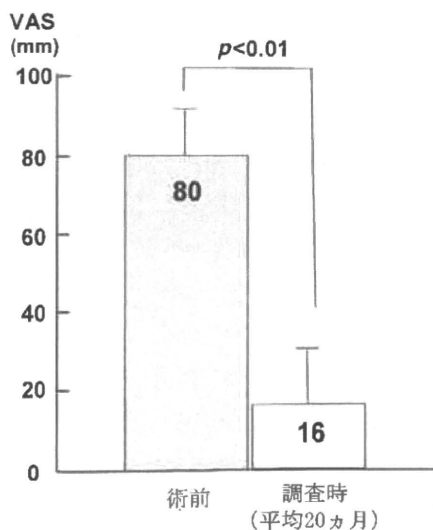


図3 腰背部痛の評価(100mm法によるVAS)  
腰背部痛のVASは術前 $80 \pm 13$ mmが調査時 $16 \pm 14$ mmと有意に改善していた。(値は平均 $\pm$ 標準偏差)。

体以外にも既存骨折が平均2.5椎体認められ、多発骨折例が多く含まれていた。これらの症例に対し、手術時間、術中出血量、100mm法で評価した腰背部痛のvisual analog scale (VAS)、椎体変形の指標として椎体楔状率(椎体前縁高が後縁高に占める割合)、頭尾側の椎体と椎間板を含めた局所後弯の指標として局所後弯角(側面X線像における隣接頭側椎体の頭側終板と隣接尾側椎体の尾側

表1 椎体形成術による椎体および局所後弯変形に対する変形矯正効果

|          | 術前         |            | 術後1週       | 最終調査時      |
|----------|------------|------------|------------|------------|
|          | 荷重位        | 仰臥位        |            |            |
| 椎体楔状率(%) | 30.0(17.1) | 69.5(18.2) | 75.2(14.7) | 71.0(16.3) |
| 局所後弯角(度) | 35.4(13.5) | 14.4(15.0) | 20.8(13.2) | 24.7(12.3) |

値は平均値(標準偏差)

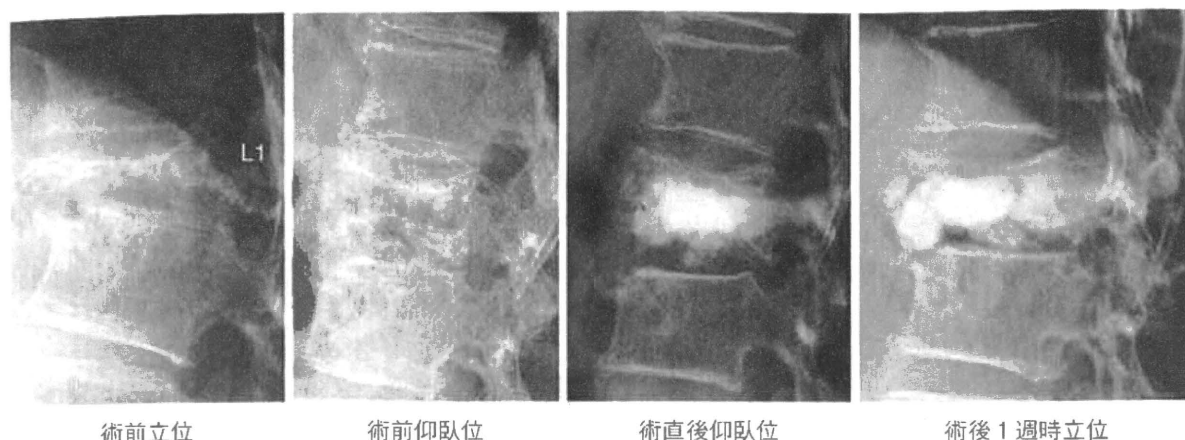


図4 L1椎体形成術後におけるCPC塊の術後早期 fragmentation

L1椎体は頭尾側終板および前側壁ともに粉碎骨折し、加えてL1/2椎間板も圧潰して立位で椎間板腔が消失するが、仰臥位では椎間板腔が大きく開大する椎体間不安定性も合併していた。本例に椎体形成術を行ったが、術後1週でCPC塊 fragmentationを認め、腰背部痛の緩和効果も不十分であった。このような矯正損失を伴うCPC塊の術後早期 fragmentationが71椎体中3椎体で発生していたが、患者要因として、椎体側壁や終板の高度粉碎や、隣接椎間板の圧潰などによる椎体間の高度不安定性、術後せん妄などによるCPCの硬化不十分時の早期荷重などが含まれていた。

終板のなす角度)、術後CTによるCPCの椎体外漏出率、合併症、術後の新規椎体骨折の発生頻度について調査した。統計解析には統計ソフトPASW Statistics 18(SPSS, Tokyo)を用い、Shapiro-Wilk testで正規性の検定を行い、正規分布とみなせるものにはPaired-t testを、正規分布に従わないものにはWilcoxon signed rank testで検定した。有意水準は5%とした。

## 結果

測定値は平均±標準偏差で示す。手術時間は1椎体あたり86±24分、出血量は26±20mlであった。腰背部痛のVASは術前80±13mmが調査時16±14mmと有意に改善した( $p<0.01$ ) (図3)。椎体楔状率は術前には荷重位(立位または座位)で30±17%であったが、仰臥位になると椎体内にクレフトが生じて70±18%にまで矯正され( $p<0.01$ )。椎体内での骨折可動性が著しかった。前述

手技での手術により、術後には術前仰臥位での整復位よりも更なる矯正が得られ、術後1週時の荷重位での楔状率は75±15%であった( $p<0.01$ )。最終調査時は71±16%で、術直後と有意差はなく、矯正位は良好に維持されていたが、若干の矯正損失の原因は、CPC塊の fragmentation や処置椎体の再骨折などであった。局所後弯角は、術前35±13度が術後21±13度(術後1週時)に矯正された( $p<0.01$ )。最終調査時には椎体楔状率の矯正損失以外に、隣接椎体の骨折や隣接椎間板の楔状化などにより25±12度にまで矯正が失われた( $p<0.01$ )。それでも術前と比べ平均10度の矯正が獲得されていた(表1)。

椎体周辺の静脈塞栓や肺塞栓、および神経合併症は発生せず、術後CTでの評価でも脊柱管内への漏出はなく、椎体外壁から外へ膨隆する形態での無症候性CPC漏出を4椎体4.5%に認めた。矯正損失を伴うCPC塊の術後早期 fragmentationが3椎体に(図4)、術後にはCPC硬化体も形成さ

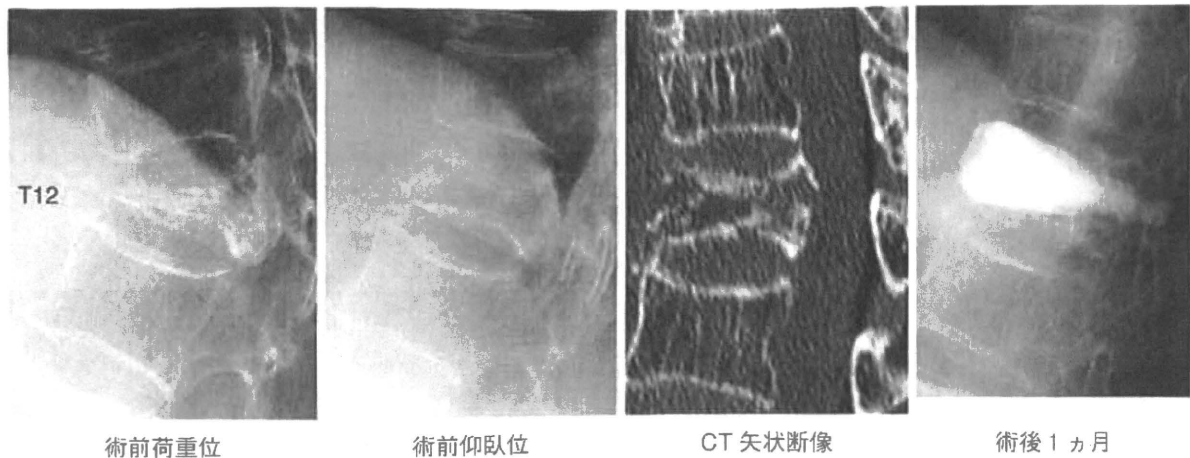


図5 両側下垂足を呈し歩行不能となったT12椎体圧潰後遅発性脊髄麻痺に対する椎体形成術

T12椎体の進行性圧潰のため遅発性に両側下垂足を呈して歩行不能となった症例である。局所の不安定性は大きいが、CT椎体後壁の脊柱管内突出は軽度であった。下位腰椎に狭窄はなく、T12レベルの脊髓円錐上部障害が両側下垂足の原因と考えられた。本例は後壁突出骨片の直接除圧を行わない椎体形成術を行い速やかな神経麻痺の完全回復と正常な歩行機能の再獲得が可能であった。

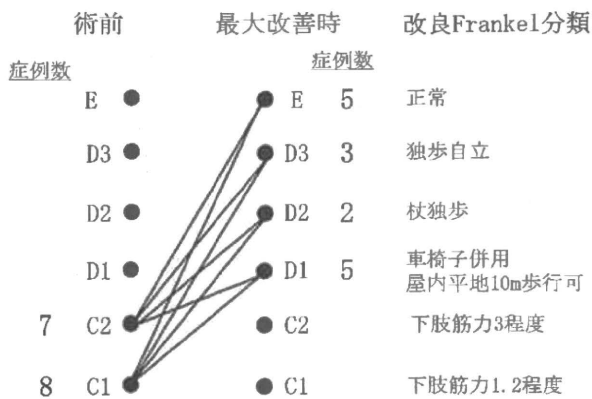


図6 遅発性両下肢運動不全麻痺を呈した椎体圧潰に対する椎体形成術の神経機能評価(改良フランケル分類)

椎体後壁の後方突出よりも局所の不安定性が神経障害の発生により大きく関与していると考えられた椎体圧潰15例に対し、低侵襲性に椎体形成術を行った結果、術後の最大改善時には、Frankel gradeで1段階以上の麻痺の改善と腰背部痛の著明な減少が得られ、杖やシルバーカーでの歩行を含めると全例で歩行機能が再獲得されていた。

れて除痛も良好であったが、日常生活に復帰し、再び転倒などの外傷により処置椎体に再骨折をきたした症例を4例4椎体に認めた。平均20ヵ月の経過観察で、新規に椎体骨折が16例(うち隣接椎体には14例)に生じていた。追加手術を行ったのは fragmentation をきたした3例中2例、処置椎体の再骨折をきたした4例中2例、新規椎体骨折が骨癒合不全に陥って再び椎体形成術を行った4例

であった。

両側の下垂足など遅発性に両下肢運動不全麻痺を呈し、術前に歩行不能であった15例に対し、椎体形成術で治療した結果(図5)、術後の最大改善時には、Frankel gradeで1段階以上の麻痺の改善と腰背部痛の著明な減少が得られ、最大改善時には、杖やシルバーカーでの歩行を含めると全例で歩行機能が再獲得されていた(図6)。

## 考 察

経皮的椎体形成術では骨折部や周囲の骨梁をPMMAにて interdigitation することで骨折部の安定化を図る必要があるため、必然的に骨内にPMMAを圧入することになる。そのため骨内での cement flow を制御できず、高率に椎体外への漏出をきたす<sup>20)</sup>。そのほとんどは無症候性であるが、肺塞栓や脊柱管内への漏出による神経麻痺発生などの重篤な合併症も発生する<sup>12)</sup>。両側椎弓根直上に設置したポータル内に空間を確保し、椎弓根孔を介して椎体骨腔内を大気圧と等しい状態に維持する本術式では、CPC注入充填時に骨腔内圧が上昇せず、骨腔深部より充填開始されたCPCは骨腔を満たした後、対側の椎弓根孔より溢れ出てくる。本術式は、経皮の手技よりも侵襲は増すものの、内圧上昇がないため後壁損傷のある症例



にも脊柱管内漏出を生じさせることなく骨腔充填が可能であり、かつ静脈系への漏出は完全に抑制できており、安全性がきわめて高いことが特徴である<sup>8)</sup>。

臨床評価では、著明な疼痛の緩和と椎体楔状変形の矯正が低侵襲性に達成できており、高齢者の椎体骨折後骨癒合不全に対して有効であった。われわれは椎体形成術における主たる除痛メカニズムは、不安定性を呈する骨折椎体を力学的に安定化することであると考えている。自験例での調査では、患者の腰背部痛は寝起き動作時に最も強く、そのおそらく骨折部の異常可動性に起因する腰背部痛は、椎体形成術で骨折部を安定化させることで直後から劇的に減少した。しかし偽関節などで椎体圧潰および楔状化が高度となって著明な局所後弯を呈する場合、後弯化した矢状面 alignment 不良による腰背部痛症状が加わってくるため、長時間の立位や歩行での腰背部の疲労痛などの訴えが多くなる。また椎体の楔状変形は、脊柱の矢状面バランスを悪化させ、更なる骨折を招く可能性がある。後弯変形は QOL の低下を引き起こし、肺機能障害や胃食道逆流症の発症とも関連が深く、生命予後をも悪化させる因子であることが示されている<sup>2,4,10)</sup>。骨癒合不全に陥って、すでに椎体が高度に圧潰した症例に保存療法を継続しても、いったん生じた局所後弯は矯正不能である。したがって、圧潰し楔状化した椎体を単に安定化するだけでなく、椎体の楔状変形の矯正ができれば、理論上、より優れた治療効果が期待できる。自験例では局所後弯角で評価すると平均で術後には14度、最終調査時でも10度の改善が得られており、これが臨床症状の改善に役立っている可能性がある(図7)。

遅発性神経麻痺を有する椎体圧潰は、これまで侵襲の大きい脊柱再建術の適応とされてきた<sup>5)</sup>。麻痺の発生には椎体後壁の破綻による脊柱管内への突出が前提であるが、突出があっても麻痺のない症例は少なくない。むしろ楔状化による局所後弯の頂椎における椎体内不安定性が麻痺発生に大きく関与している場合があり<sup>14)</sup>、その場合に限れば、椎体形成術単独でも椎体安定化と変形矯正により、理論上、麻痺の回復効果が期待できる<sup>3,9)</sup>。



図7 T12椎体偽関節に対するCPC椎体形成術の後弯矯正効果

偽関節にて椎体楔状化が高度となって著明な局所後弯を呈する場合、後弯化した矢状面 alignment 不良による腰背部痛症状が加わるばかりでなく、更なる骨折を招く可能性がある。また後弯変形は QOL や肺機能を低下させ、胃食道逆流症の発症とも関連が深く、生命予後をも悪化させる因子である。したがって、圧潰し楔状化した椎体を単に安定化するだけでなく、椎体の楔状変形の矯正ができれば、椎体形成術でも理論上、より優れた治療効果が期待できる。自験例では局所後弯角で評価すると平均で術後には14度、最終調査時でも10度の改善が得られており、これが臨床症状の改善に役立っている可能性がある。

事実、本法単独でも麻痺の改善と、いったん失われた歩行能力が再獲得されており、適用条件の制約はあるものの、一般に椎体形成術の禁忌とされる遅発性脊髄麻痺の中に椎体形成術だけで著明な改善が得られる症例が存在することは事実である。

本術式の問題点は、術後早期に発生するCPC塊の fragmentation や処置椎体の外傷性再骨折などであり、腰背部痛の再発や矯正損失の原因ともなっていた。CPC塊の早期 fragmentation は71椎体中3椎体で発生していたが、患者要因として、椎体側壁や終板の高度粉碎、隣接椎間板の圧潰などによる椎体間の高度不安定性、術後せん妄などによるCPCの硬化不十分時における超早期荷重などが含まれる。その場合は椎体形成術に加えて

instrumentation を併用する等の対策が必要である<sup>18)</sup>。

隣接椎体の骨折は14例に、遠隔部位に2例発生し、疼痛再発の原因となっていた。手術時の平均年齢が80歳と高齢で、処置椎体以外に平均2.5椎体の既存骨折があり、隣接椎体骨折の発生するリスクが高いとされる椎体内クレフトを有する症例<sup>19)</sup>を対象としているなど、続発性椎体骨折発生リスクの高い群での結果であり、日本人に対するPMMAを用いた椎体形成術の報告<sup>13)</sup>での発生率と比べると、CPCでは新規椎体骨折の発生が少ない可能性がある。それを証明するには対照比較試験が必要である。

## 結 語

CPC 充填時に骨腔内圧が上昇しない本法は、セメント椎体外漏出の発生リスクが少なく安全である。臨床的にも著明な除痛効果と良好な椎体楔状変形の矯正が低侵襲性に得られており、高齢者の椎体後壁損傷を高率に合併する椎体骨折後骨癒合不全に対して有効であった。椎体不安定性が遅発性神経麻痺の主因である症例に対しては本法のみで麻痺の改善が得られる場合がある。課題は全身麻酔を要すること、血液の多量混入や粉碎破裂型骨折例でCPCが十分に硬化する前に荷重するとCPC塊のfragmentationが生じることがあること、および臨床成績が手術手技の成否に依存する傾向があることなどである。

## 文献

- 1) Blattert TR, Jestaedt L, Weckbach A : Suitability of a calcium phosphate cement in osteoporotic vertebral body fracture augmentation : a controlled, randomized, clinical trial of balloon kyphoplasty comparing calcium phosphate versus polymethylmethacrylate. *Spine* 34 : 108-114, 2009
- 2) Gold DT : The clinical impact of vertebral fractures : Quality of life in women with osteoporosis. *Bone* 18 : 185s-189s, 1996
- 3) 井上真輔, 武政龍一, 谷 俊一ほか : 神経麻痺を呈した骨粗鬆症性椎体圧潰に対するリン酸カルシウム骨セメント椎体形成術. *中部整災誌*50 : 79-80, 2007
- 4) Kado DM, Lui L-Y, Ensrud KE et al : Hyperkyphosis predicts mortality independent of vertebral osteoporosis in older women. *Ann Intern Med* 150 : 681-687, 2009
- 5) Kaneda K, Asano S, Hashimoto T et al : The treatment of osteoporotic-posttraumatic vertebral collapse using the Kaneda device and a bioactive ceramic vertebral prosthesis. *Spine* 17 : S295-303, 1992
- 6) 喜安克仁, 武政龍一, 谷 俊一ほか : 血液と粉液比の違いがリン酸カルシウム骨セメント硬化体の圧縮強度に与える影響 : 椎体形成術モデルを用いた検討. *Orthopaedic Ceramic Implants* 25 : 63-66, 2006
- 7) 喜安克仁, 武政龍一, 谷 俊一ほか : 血液存在下における注入充填方法の違いがリン酸カルシウム骨セメント硬化体の圧縮強度に与える影響—椎体形成術モデルを用いた検討—. *中部整災誌*50 : 61-62, 2007
- 8) 喜安克仁, 武政龍一, 谷 俊一ほか : リン酸カルシウム骨セメントを用いた椎体形成術—治療成績と合併症—. *中部整災誌*49 : 961-962, 2006
- 9) 喜安克仁, 武政龍一, 川崎元敬ほか : 遅発性脊髄麻痺を生じた骨粗鬆症性椎体圧潰に対する椎体形成術. *中四整会誌*21 : 269-275, 2009
- 10) Leidig-Bruckner G, Minne HW, Schlaich C et al : Clinical grading of spinal osteoporosis : Quality of life components and spinal deformity in women with chronic low back pain and women with vertebral osteoporosis. *J Bone Miner Res* 12 : 663-675, 1997
- 11) 武者芳郎, 梅田智広, 水谷一裕 : リン酸カルシウム骨セメントへの血液混入の影響. *骨・関節・靭帯*16 : 529-534, 2003
- 12) Stricker K, Orlor R, Yen K et al : Severe hypercapnia due to pulmonary embolism of polymethylmethacrylate during vertebroplasty. *Anesth Analg* 98 : 1184-1186, 2004
- 13) Tanigawa N, Komemushi A, Kariya H et al : Radiological follow-up of new compression fractures following percutaneous vertebroplasty. *Cardiovasc Intervent Radiol* 29 : 92-96, 2006
- 14) 武政龍一 : 骨粗鬆症性椎体骨折の病態—骨折急性期から骨癒合不全および遅発性神経麻痺発症の病態まで—. *関節外科*29 : 522-529, 2010
- 15) 武政龍一 : 椎体形成術—vertebroplasty と kyphoplasty—. *日脊会誌*18 : 760-769, 2007
- 16) 武政龍一 : 高齢者骨粗鬆症性椎体骨折の問題点と対策. *日整会誌*80 : 957-969, 2006
- 17) 武政龍一 : 骨粗鬆症性椎体骨折に対する椎体形成術—リン酸カルシウムセメント(CPC)を用いた修復術—. *日本整形外科学会企画・監修 整形外科卒後教育研修用ビデオ FXD-53*, 2006
- 18) 武政龍一, 谷 俊一, 喜安克仁ほか : 神経麻痺と局所後弯を呈する骨粗鬆症性椎体圧潰に対するリン酸カルシウムセメント椎体形成術を併用した posterior short fusion. *脊椎脊髄*22 : 617-623, 2009
- 19) Trout AT, Kallmes DF, Lane JJ et al : Subsequent vertebral fractures after vertebroplasty : association with intraosseous clefts. *AJNR Am Neuroradiol* 27 : 1586-1591, 2006
- 20) Yoem JS, Kim WJ, Choy WS et al : Leakage of cement of percutaneous transpedicular vertebroplasty for painful osteoporotic compression fractures. *J Bone Joint Surg* 85B : 83-89, 2003

特集

骨粗鬆症性椎体骨折の治療戦略

# 骨粗鬆症性椎体骨折 の病態

—骨折急性期から骨癒合不全および  
遅発性神経麻痺発症の病態まで—

Clinical pathophysiology of osteoporotic  
vertebral fractures

—acute phase, fracture non-union, and  
late-onset paraparesis associated with  
progressive vertebral collapse—

武政龍一

R. Takemasa : 高知大学医学部整形外科

## Key words

- 骨粗鬆症性椎体骨折 (osteoporotic vertebral fractures)
- 病態生理 (pathophysiology)
- 骨癒合不全 (fracture nonunion)
- 遅発性神経麻痺 (late-onset neurologic compromise)

## はじめに

骨粗鬆症性椎体圧迫骨折は、骨粗鬆症による骨強度の低下を基盤として発生する脊椎椎体の圧潰型骨折であり、高齢者のQOLを大きく低下させる代表的疾患である<sup>1),2)</sup>。

本稿では骨折の急性期から骨癒合に至るもの、骨癒合に至らず疼痛が遷延する椎体骨癒合不全、そのなかでも頻度は少ないが重症度の高い、遅発性に神経麻痺が発症する病態など、多岐にわたる椎体骨折の病態について自検例での検討を交えて紹介する。

## 骨粗鬆症性椎体骨折の 臨床症状と病態

### ■臨床症状

高齢者の椎体骨折は<sup>3)</sup>、転倒や尻もちをつくなどの軽微な外傷でしばしば発生するが、明らかな外傷がないことも少なくない。胸腰椎移行部が骨折の好発部位であり、多くの場合は椎体の楔状変形をきたす。そのため椎体高の減少と脊柱後弯変形により身長も低下するが、急性期の臨床症状は骨折による腰背部痛が主体である。自検例の調査では、腰背部痛は臥位からの起き上がり動作や、坐位からの臥床動作などの寝起き動作時に最も強く、臥床安静時には消失する。痛みは骨折部周辺の脊椎に限定して存在するとは限らず、むしろ骨折部よりも尾側および側方へ痛み領域が分布する場合が多い。胸椎骨折では側胸腹部へ、胸腰椎移行部骨折では殿部や仙骨・尾骨部へ、腰椎骨折では大腿部にまで痛みを訴える場合がある。

### ■病態

椎体形成術で骨折部を安定化させると寝起き動作時の腰背部痛は直後から劇的に緩和されることから<sup>4)</sup>、この痛みは主として骨折部が不安定に動くことに由来する痛みではないかと考え

られる(図1)。また椎体終板の骨折は隣接椎間板の変性を促進する因子となり、椎体の楔状化は当該椎体の椎間関節の不適合を惹起して体動時の痛みの原因となる可能性がある。

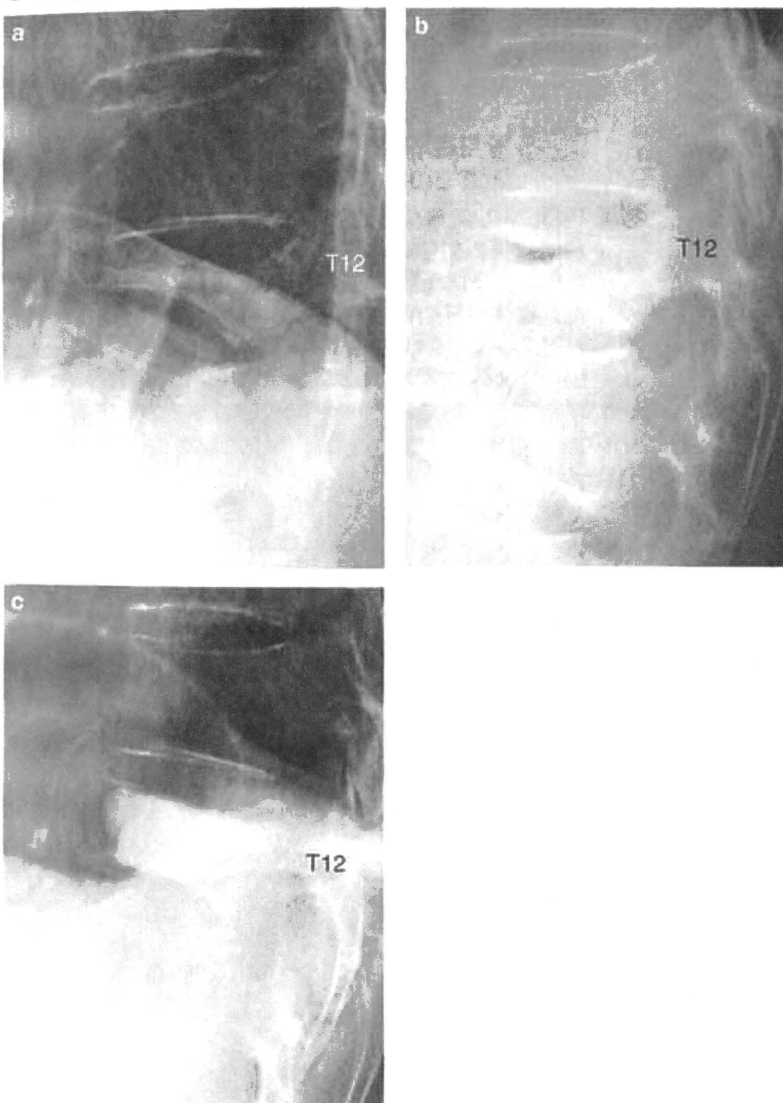
椎体の楔状化に伴い脊柱に後弯変形が発生すると(図2)、たとえ骨癒合に至った後でも腰背部の慢性痛や易疲労感、日常生活動作(ADL)の制限や容姿の悪化などの身体症状のほかに、抑うつ気分が助長するなどの心理的、精神的影響や、

呼吸機能の低下、腹部膨満や胃食道逆流症などの消化器症状を招くことがある<sup>5)~7)</sup>。また椎体骨折による脊柱後弯変形は、新たな骨折が発生しやすい生体力学的な環境を形成することになる。すなわちその後弯変形が患者の矢状面での重心軸を前方に移動させるため、脊柱後弯の頂椎周辺に、より大きな屈曲-曲げモーメントを生じさせ、さらなる後弯変形を増大させたり、新しい骨折が発生しやすい素地を形成する。後

### 図1 T12椎体骨折に対するリン酸カルシウムセメントを用いた椎体形成術

a: 術前立位。b: 術前仰臥位。c: 椎体形成術後立位。

受傷後8週を経過しても椎体内に異常可動性があり、寝起き動作時の著明な腰背部痛を訴えるT12椎体骨折症例も、椎体形成術で骨折部が安定化すると、術直後から寝起き動作時の腰背部痛が劇的に緩和された。この痛みは主として骨折部が不安定に動くことに由来する痛みではないかと考えられる。



### 図2 複数の胸腰椎移行部椎体骨折に伴う脊柱後弯変形

椎体の楔状化に伴い脊柱に後弯変形が発生すると、たとえ骨癒合に至った後でも腰背部の慢性痛や易疲労感、ADLの制限や容姿の悪化などの身体症状のほかに、抑うつ気分が助長するなどの心理的、精神的影響や、呼吸機能の低下、腹部膨満や胃食道逆流症などの消化器症状を招くことがある。

