

5 フラッシング

搔爬やラスピングにより骨腔内部に貯留した搔爬片や血餅を摘出する。まず、一方の椎弓根孔からフラッシング用のカニューレ先端を骨腔内に挿入し、それに接続したカテーターチップシリンジで椎体内骨腔に生食水を勢いよく注入して灌流させ、骨腔内を何度もフラッシングする。大量の搔爬片が対側の椎弓根孔から溢れ出る水流とともに勢いよく外に排出される(図7)。髓核鉗子で骨腔内に残る搔爬片を摘出する。この操作を繰り返し、骨腔内にCPCの充填を妨げるものがまったくない状態を形成する。

手術のコツ、注意点

障害物がなくなれば通常フラッシング操作で生食水は勢いよく対側骨孔から排出されるため、勢いが弱い場合にはどこかに流通を妨げる軟部組織が遺残していると判断し、搔爬、ラスピング、フラッシングを追加する。

6 骨腔造影

1/2希釈した造影剤を骨腔に注入し、骨腔の広がりや適切であるかどうか、椎体外に漏れないかどうかをチェックする。

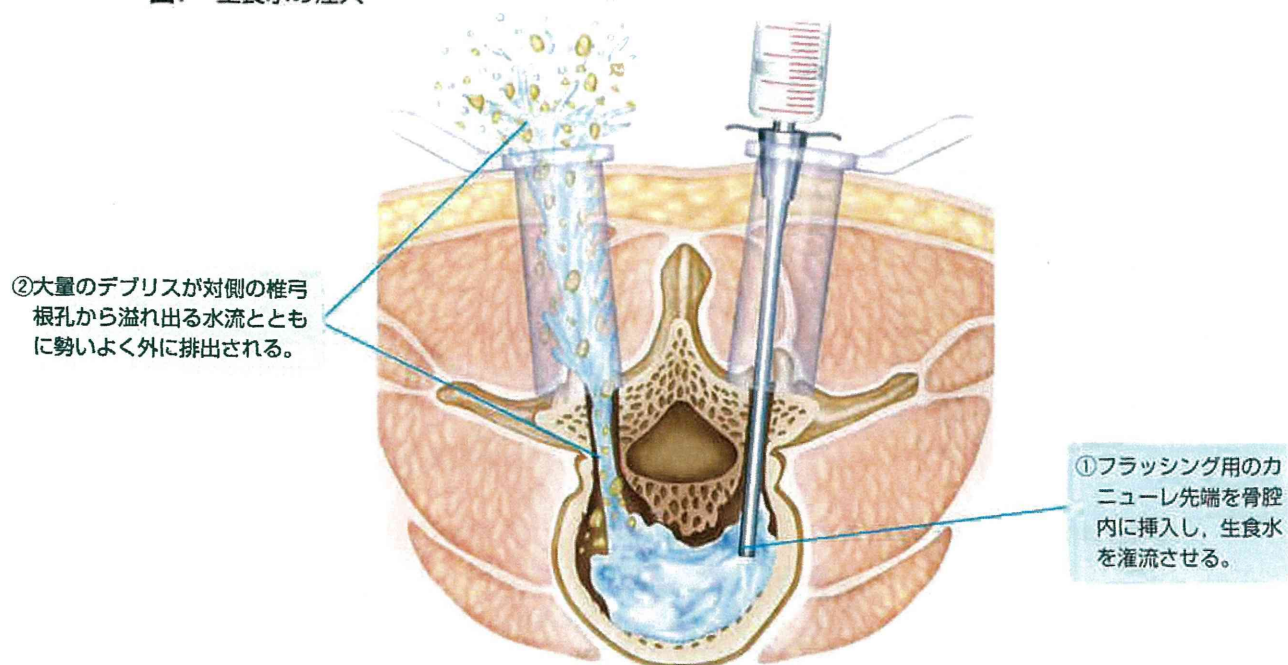
骨腔形成が不十分なら再び搔爬ラスピング処置を追加する。

造影剤を入れなくても、X線透視で骨腔の形態はair像として大まかに確認できる。

7 CPCの練和

CPCの粉体を練和容器に入れ、それに溶解液を注入してへらで十分に両者を混和する。この間、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、助手にはゆっくりとフラッシングを継続してもらおう。目的は、血腫がCPCの充填を妨げないように血腫形成を予防することと、約42℃に温めた食塩水で骨腔を満たすことで、骨腔内の温度を上昇させ、CPCの硬化反応速度を促進して、強度の立ち上がりを改善することである。

図7 生食水の注入



充填ノズルを少しカーブさせてシリンジにセットする。粘稠度の高い練和CPCを専用シリンジにへらで詰めてから、専用セメントガンにセットする。

手術のコツ、注意点

骨腔の容積は造影剤チェック時に予測できるが、ノズル内や、練和容器内に残る分も勘案して余分に準備しておく。通常は粉剤36gに液剤2.8~3.0mLを約1分20秒かけてしっかり練和する。当初はばさつき感があるが、練和を進めると粘り気が出てくる。この高粉/液比ではへらでCPCをすくっても流動しない程度の高い粘稠度であり、大血管でない限り血管内に流入するとは考えにくい。

8 CPCの充填

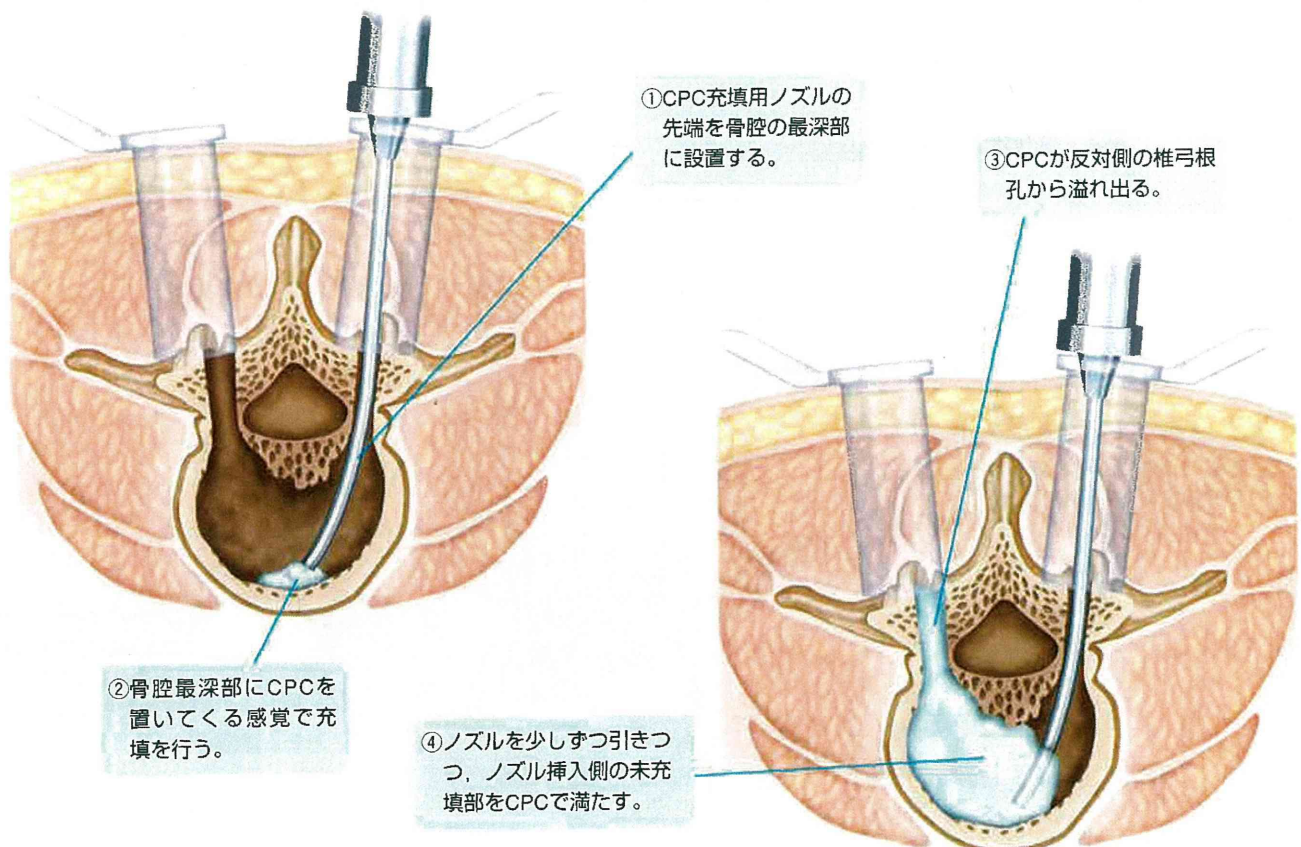


まず骨腔内に貯留する生食水や血腫などを吸引管で完全に吸引・排出する。次いでX線透視下にカーブさせたCPC充填用ノズルの先端を骨腔の最深部に設置する。そしてそこに“CPCを置いてくる”感覚で充填を行う(図8)。CPCは骨腔最深部から骨腔を満たしながら充填され、やがて反対側の椎弓根孔から溢れ出てくるので、それを確認したらノズルを少しずつ引き抜きつつノズル挿入側の未充填部もCPCで満たす。これで椎体前方荷重部に一塊となるCPC硬化体を形成する。

手術のコツ、注意点

充填ノズル先端は必ず骨腔最深部まで持って行って充填を開始する。そうすればたとえ少量の貯留血液があっても、それと混合することなく貯留液を押し出しながら骨腔をCPCで満たすことができるため、最高圧縮強度の損失を防ぐことができる⁴⁾。

図8 CPCの充填



9 洗浄と閉創

温めた生食水で余分なCPCを洗い流し、固形化するまで創を洗浄しながら待機する。数分で固形化したのを確かめてから閉創する。

手術時間は約70分、出血量は20～30mLである。

後療法

術後12時間はベッド上で荷重をかけずに臥床・安静とし、以後半硬性胸腰仙椎装具を用いて離床する。以前は72時間の非荷重安静としていたが、2010年秋より早期硬化型CPCが使用可能となり、術後安静期間は12時間に短縮している。

術後3カ月は少なくとも装具固定とする。

●文献

- 1) 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, 29：10-17, 2010.
- 2) 武政龍一, 谷 俊一：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. J Spine Res, 1：1260-1266, 2010.
- 3) 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.
- 4) 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.

骨粗鬆症性椎体骨折に対する椎体形成術 —再訪—

武政 龍一

要旨

骨粗鬆症性椎体骨折に対する即時疼痛緩和を目指した低侵襲治療法として、骨折椎体内に PMMA (Polymethyl methacrylate) 骨セメントを経皮的に充填する椎体形成術が世界的に広く普及している。さらに 1990年代の後半に開発された Balloon Kyphoplasty (BKP) は専用の balloon を椎体内で膨らませてできた空間に PMMA を充填する方法であり、圧迫骨折変形を矯正できる手技として広まっている。これまで膨大な数の論文にてこれら低侵襲処置の除痛に関する有用性が論じられてきたが、2009年にはそれを真っ向から否定した placebo-controlled RCT (Randomized controlled trial) が N Engl J Med に2報続けて掲載され、その安易な適用に警鐘をならしている。

われわれは、保存療法に抵抗し、骨癒合せずに椎体が進行性に圧潰し、腰背部痛が持続するとともに、脊柱の後弯化が進行してくる椎体骨折後癒合不全を対象として椎体形成術を行ってきた。1996年の臨床治験以来、骨伝導能を有する生体活性人工骨である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て独自の椎体形成術を行っている。CPC は PMMA と異なり、非発熱性に自己硬化し、周囲に骨形成しながらホスト骨と直接結合する利点がある。一方、血液が CPC に混入した場合、圧縮強度の低下を招き、まれに椎体内で CPC 塊の分節化を来すなどの欠点もあり、対象症例の選択や手術手技に大きく成績が左右される。2005年からは両側の椎弓根上に直径18mmのX線透過性円筒レトラクターを挿入して手術操作を行う Biportal 法に手技を変更し低侵襲化を行った。

CPC 自体も2010年には、最高強度に至るまでの時間が従来の72時間から24時間にまで改良短縮された。それに伴い術後安静期間が12時間に短縮され、術翌日から離床可能となった。本邦にも2011年はじめから BKP が導入され、低侵襲治療の選択の幅が広がった。しかし、それぞれが適応と限界を有しており、低侵襲手技では対応しきれない病態も多い。今後は保存療法を含めた骨粗鬆症性椎体圧迫骨折に対する治療戦略を再考し、病態ごとに適切な使い分けを考える時代に入ってきたといえる。

Key Words : 骨粗鬆症性椎体圧迫骨折, 椎体形成術, リン酸カルシウムセメント, kyphoplasty, 脊柱後弯変形

はじめに

骨粗鬆症性椎体骨折に対する低侵襲治療法として、椎体形成術が世界的に行われている。一般的には骨折椎体内に PMMA (Polymethyl methacrylate) 骨セメントを経皮的に充填する経皮的椎体形成術 (Percutaneous Vertebroplasty: PVP) が行われており、優れた疼痛緩和効果が報告されている [1]。しかし、1990年代の後半に米国にて開発された Balloon Kyphoplasty (BKP) は、専用の balloon を椎体内で膨らませることで椎体骨折による圧潰変形を矯正し、それによって生じた椎体内空間に PMMA を充填する方法であり、通常 PVP ではなしえなかった椎体の骨折変形の矯正がある程度可能となったことと、PVP のように椎体内にセメントを高圧で注入する必要がないため、椎体外漏出などの合併症発生頻度を抑制する方法として普及している [2, 3]。わが国においても臨床治験が行われ、椎体後壁損傷を併発

していない保存療法抵抗性の原発性骨粗鬆症性椎体骨折症例に単椎体にのみ使用承認が得られており、2011年より臨床使用可能となった [4].

これまで、きわめて多数の論文が、これらのPVPやBKPが即時的な除痛効果を有し、早期日常生活の機能回復に役立っていることを肯定してきたが、2009年には、sham手術を施したcontrol群と実際にPVPを行ったPVP群との効果を比較する無作為化比較試験がNew England Journal of Medicineに2報続けて掲載された [5, 6]. いずれもPVPがsham手術によるplacebo効果を上回る臨床成績が得られていなかったという衝撃的な結果が発表され、その安易な適用に警鐘をならしている。この結果に疑問を投げかけ、従来からの有効性を支持する論文 [7, 8] も続々と発表されており、いまだこの低侵襲手技は、世界的に継続して行われ続けている。

このような低侵襲手術もそれを対象とした病態や用いた手技の違いにより、その臨床成績は異なってくるため、圧迫骨折の病期、病態によっては保存療法と対比した場合にそれほど臨床的な有用性が認められない場合もあると考えられ、本術式においても他の術式同様に、適切に症例を選択して行うことがその有効性を発揮する最大のポイントであると思われる。すなわち保存療法でも十分早期に除痛され、骨癒合が得られるような症例に、安易にこの低侵襲手技を適用することだけは戒めねばならない。

● リン酸カルシウムセメントを用いた椎体形成術

われわれは、保存療法が行われたにもかかわらず、骨癒合せずに椎体が進行性に圧潰し、腰背部痛が持続して脊柱の後弯化が進行してくる椎体骨折後癒合不全（偽関節 / 遷延治癒）を対象として椎体形成術を行ってきた [9, 10]. 1996年の臨床治験以来、骨伝導能を有する生体活性人工骨であるリン酸カルシウムセメント（Calcium Phosphate Cement : CPC）を補強材料として、骨折部の修復と安定化、および椎体変形の矯正を目指して手術を行っている（図1）。

CPCはPVPやBKPで補強材料として用いられるPMMAと異なり、非発熱性に自己硬化するため、万が一、神経組織周辺にCPCが漏出したとしても、熱による神経障害が発生する心配がない。また、骨伝導能を有するため、周囲に骨形成しながらホスト骨と直接結合する利点がある。欠点としては、血液がCPCに多量に混入した場合、圧縮強度の低下を招き、椎体内でCPC塊の分節化（fragmentation）が発生する場合があることなどであり、手術手技の成否に大きく成績が左右される。

● CPC椎体形成術の変遷

CPC椎体形成術は開発当初は脊椎正中部を切開して展開するopen surgeryとして始まったが、2005年には、両側の椎弓根上に約2.5cmの皮膚切開を加え、直径18mmのX線透過性円筒レトラクターを挿入して手術操作を行うBiportal法 [11] に手技を変更した。これにより、術後の創痛は減少し、低侵襲化に成功した（図2）。

術式の特徴は、両側の経椎弓根アプローチから椎体内骨腔を専用の鋭匙やラスプなどを用い

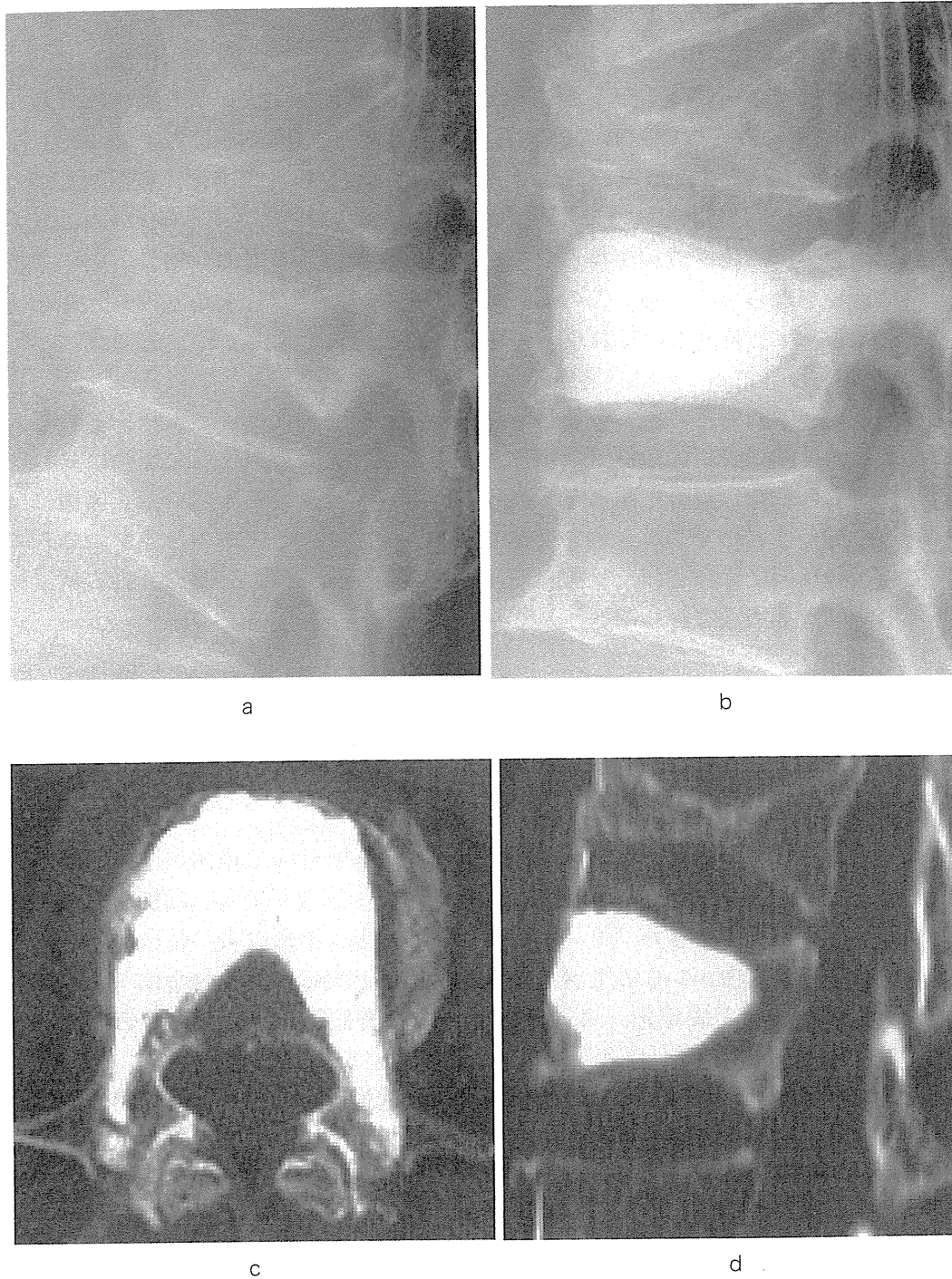


図1 第1腰椎椎体偽関節に対するCPCを用いた椎体形成術

a：術前，b：術後6カ月側面，c：L1高位CT横断像，d：CT矢状断像。

われわれは骨導能を有する生体活性人工骨であるCPCを偽関節椎体内に充填し，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術式を行っている。

て徹底的に搔爬して，偽関節腔内部に存在する壊死骨や瘢痕組織を摘出し，椎体内にCPCを充填するための十分な容積を有する骨腔を形成することである。偽関節椎体ではしばしば，頭尾側の終板を残して，その間に骨腔が形成されることになる。この操作により，充填されたCPCは軟部組織ではなく骨と直接接することになり，骨と生体活性を有するCPCの直接結合に有利な条件となり，矯正損失もほとんどみられなくなった。また，椎体の後壁損傷を有する

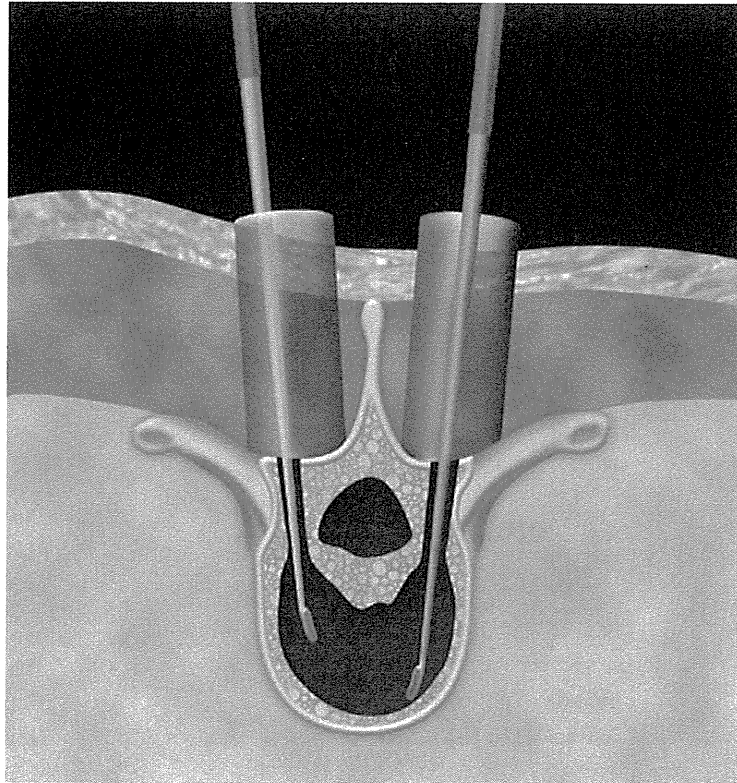


図2 Biportal 椎体形成術

CPC 椎体形成術は開発当初は脊椎正中部を切開して展開する open surgery として始まったが、2005年には、両側の椎弓根上に約2.5cmの皮膚切開を加え、直径18mmのX線透過性円筒レトラクターを挿入して手術操作を行う Biportal 法に手技を変更した。

椎体でも本法は適応禁忌とはならない。偽関節椎体など後壁損傷を合併する椎体に BKP を行うと、バルーンの椎体内での拡張とともに後壁骨片を脊柱管内に押し出して神経麻痺が発生する可能性が指摘されているが [12]、偽関節内部を搔爬する本法では、そのような心配がない。実際、椎体偽関節症例では90%以上の症例に椎体後壁損傷が合併しているが [13]、これまで後壁損傷合併椎体にこの術式を行って後壁骨片が脊柱管内に突出した症例を1例も経験していない。BKP はわが国では原発性骨粗鬆症性圧迫骨折の急性期を対象としており、後壁損傷を有する症例は適応禁忌とされている。

もう一つの特徴は、そもそも偽関節椎体の痛みの原因となっている骨折部の異常可動性の存在を逆に利用し、体位を工夫して椎体楔状変形を最大限矯正し、さらに椎体内部から終板エレベーターを用いて骨折椎終板を慎重に押し開いて前方開大させる力を作用させるなどして整復操作を追加し、それによって得られた最大整復位でセメント固定することである。それにより、椎体高は可及的に復元し、骨折により生じた脊柱後弯変形が矯正される (図3)。脊柱後弯変形は、頑固な慢性腰背部痛を惹起して歩行能力などの活動性を大きく制限するばかりでなく、肺機能障害や胃食道逆流症を引き起こし、高齢者の QOL を著明に低下させ、生命予後にも悪影響を与えることが知られており、さらに後弯のため体軸重心が前方にシフトすることでさらなる骨折を誘発して障害度が増してゆくいわゆる Downward Spiral といった悪循環を形成する [14-22]。生命予後への悪影響も報告されており、後弯変形の矯正は少しでもこれらの症状の低減に役立つ可能性がある。

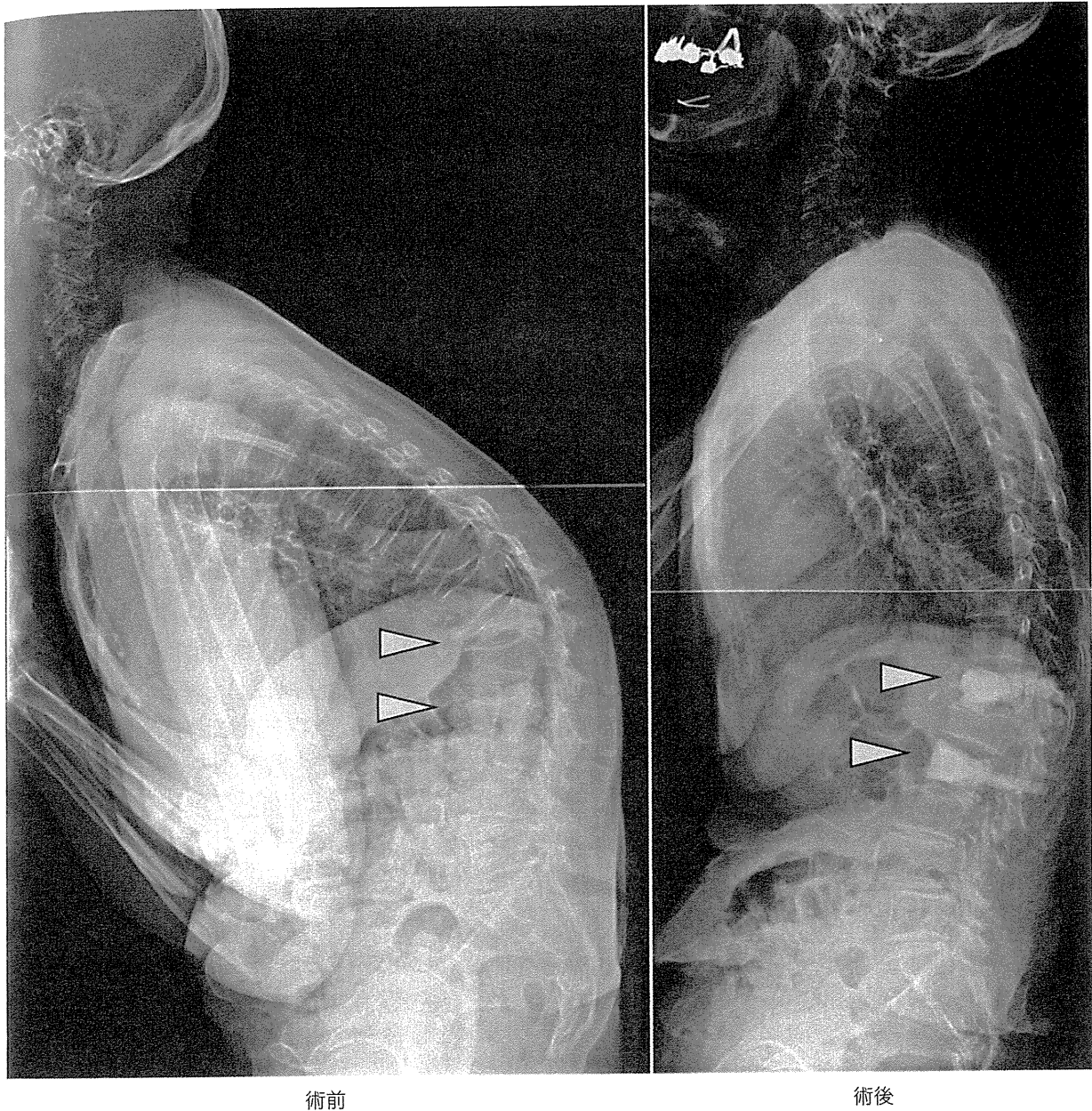


図3 脊柱後弯変形の矯正

CPC 椎体形成術では、骨折部の異常可動性の存在を利用し、体位を工夫して椎体楔状変形を最大限矯正し、さらに椎体内部から終板エレベーターを用いて整復を追加し、その状態でセメント固定を行っている。それにより、椎体高は可及的に復元し、骨折により生じた脊柱後弯変形が矯正される。本例ではT12、L2の椎体圧潰に対し、2椎体の椎体形成術を行い全脊柱矢状面バランスが著明に改善した。

● Biportal 法の手術成績

Biportal 法で手術した椎体骨折後の骨癒合不全（偽関節・遷延治癒）78例83椎体の調査結果を紹介する。症例の手術時平均年齢は79歳、発症から手術まで平均9カ月を経過し、種々の保存療法に抵抗した慢性例が対象であり、観察期間は平均24カ月であった。83処置椎体中、

椎体後壁損傷による骨片の脊柱管内突出は75椎体90%に存在し、処置した骨折椎体以外に既存骨折を複数（平均2.4椎体）認める症例が多く、処置椎体以外に既存骨折のない症例はわずか14例18%であった。腰椎 BMD の平均 T 値は-2.7であった。

手術時間は1椎体あたり平均86分、出血量は29mlであった。腰背部痛を Visual Analogue Scale (VAS) で評価すると、平均 VAS 値は術前80mmと、高度の腰背部痛を認めていたが、調査時には16mmと改善した。

椎体の前縁高が後縁高に占める割合 (%) を椎体楔状率とすると、平均椎体楔状率は術前32%と高度の楔状化を示していたが、術後1週時には76%にまで矯正された。最終調査時には72%と若干の矯正損失を認めた。

このように本術式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いた。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、骨折部不安定性を示す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。自験例では、患者の腰背部痛は寝起き動作時に最も強く、骨折部の異常可動性に起因すると思われる腰背部痛は、椎体形成術で骨折部を安定化させることで術直後から劇的に減少している。

合併症においては肺塞栓や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、椎体側壁からの無症候性 CPC 漏出を4椎体5%に認めたのみであった。

PVP では骨折部や周囲の骨梁を PMMA にて機械的に固定することで骨折部の安定化を図る必要があるため、骨内に PMMA をある程度圧入することが避けられない。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来す [23]。そのほとんどは無症候性と報告されているが、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報告されている。本術式では両側椎弓根直上に設置したポータル内の空間と、椎弓根孔を介して交通する椎体内の骨腔が、大気圧と等しい状態に維持される。したがって、CPC をセメントガンにて骨腔の最深部から注入充填をする際にも、骨腔内圧が上昇することはなく、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、PVP や BKP のような経皮の手技よりもアプローチ自体の侵襲は増すものの、セメント充填の際の内圧上昇がないため、椎体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、さらに静脈系への漏出は1例も発生せず、セメント漏出における安全性がきわめて高いことが特徴である [24]。

新規の椎体骨折は、平均24カ月の経過観察で、21例（うち隣接椎体は17例）に生じていた。これらの続発性骨折は術後早期に生じる傾向があり、術後3カ月以内に10例に発生し、そのうち9例が隣接椎体であった。手術時の平均年齢が79歳と高齢で、処置椎体以外に平均2.4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 [25] 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、ある程度の新規椎体骨折の発生は自然経過と考えられなくもないが、術後経過を見るうえで、疼痛再発の主たる因子となっていた。新規椎体骨折は再び保存療法で対処しており、骨癒合後は疼痛は緩和されている。今後は骨折発生予防策として、PTH 製剤も使用可能となっており、術後骨折の発生抑制効果が期待されている。

● CPC 椎体形成術の最近の進歩

Biportal 法の手技が確立し、安定したセメント充填が可能となり、血液の混入による CPC

硬化体の fragmentation の発生はみられなくなった。また、CPC も椎体形成術用途に改良が加えられ、これまで最高圧縮強度に達するまでに72時間を要していたものが、2010年後半から24時間に短縮された。12時間を経過した時点でも約60MPa と十分な強度となるため、離床開始時期を手術後12時間経過時とした後療法プログラムに変更しているが、その後 CPC 硬化体が fragmentation するなどの不具合事象にはまだ遭遇していない。

従来なら扁平椎などの圧潰があまりにも高度な椎体には CPC 椎体形成術に後方からの pedicle screw instrumentation を併用して、CPC の fragmentation を予防していたが、新しく改良された CPC では椎体形成術単独で対処が可能となった (図4)。今後慎重に経験を積み重ねて、その限界を見きわめてゆく必要がある。

おわりに

2011年1月からわが国にも BKP がいくつかの条件付で導入され、低侵襲治療の選択の幅は確実に広がった。保存療法の方法も、これまで各施設の古くからの直伝の手段などが各地で行われ、標準とする治療法が確立していないのが現状であるが、少しずつ科学的な検証がなされはじめてきた。また、低侵襲手技では対応しきれない病態も多くあり、椎体形成術を併用した後方再建術のように比較的侵襲の少ない後方再建術や、椎体の骨切り術や椎体置換術などの大きな侵襲を伴う代わりに著明な脊柱変形矯正効果を有する手術手技なども格段の発展を遂げている。

今後は保存療法を含めた骨粗鬆症性椎体圧迫骨折に対する治療戦略を再考し、病態ごとに適切な使い分けを考える時代に入ってきたといえる。

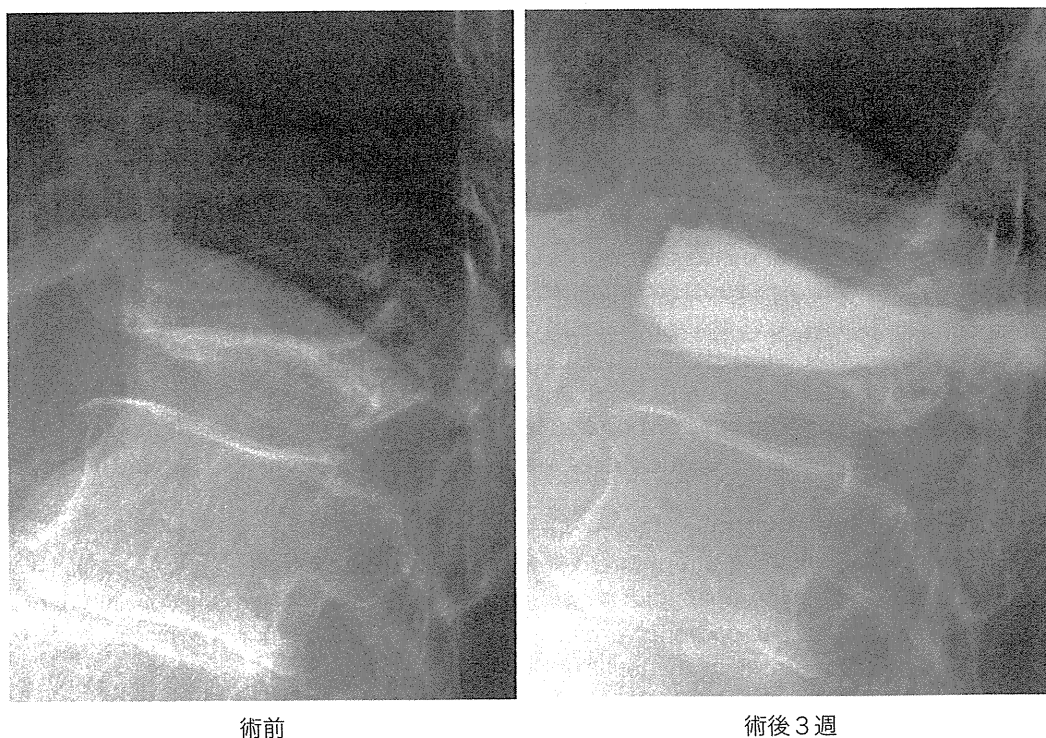


図4 新しい早期硬化型 CPC を用いた椎体形成術

従来なら扁平椎などの圧潰があまりにも高度な椎体には CPC 椎体形成術に後方からの pedicle screw instrumentation を併用して、CPC の fragmentation を予防していたが、新しく改良された CPC では扁平椎となった L1 椎体圧潰に対しても椎体形成術単独で対処が可能であった。

●文 献●

- 1) McGirt AF, Parker SL, Wolinsky JP, et al. Vertebroplasty and kyphoplasty for the treatment of vertebral compression fractures : an evidenced ?based review o the literature. *Spine J* 2009 ; 9 : 501-508.
- 2) Lieberman IH, Dudeney S, Reinhardt MK, et al. Initial outcome and efficacy of “Kyphoplasty” in the treatment of painful osteoporotic vertebral compression fractures. *Spine* 2001 ; 26 : 1631-1638.
- 3) Wardlaw D, Cummings SR, Van Meirhaeghe J, et al. Efficacy and safety of balloon kyphoplasty compared with non-surgical care for vertebral compression fracture (FREE) : a randomized controlled trial. *Lancet* 2009 ; 373 : 1016-1024.
- 4) 戸川大輔. 原発性骨粗鬆症性圧迫骨折に対する Balloon Kyphoplasty 日本の臨床試験成績. *J Spine Res* 2011 ; 2 : 1485-1493.
- 5) Kallmes DF, Comstock BA, Heagerty PJ, et al. A randomized trial of vertebroplasty for osteoporotic spinal fractures. *N Engl J Med* 2009 ; 361 : 569-579
- 6) Buchbinder R, Osborne RH, Ebeling PR, et al. A randomized trial of vertebroplasty for painful osteoporotic vertebral fractures. *N Engl J Med* 2009 ; 361 : 557-568.
- 7) Klazen CA, Venmans A, deVries J, et al. Vertbroplasty versus conservative treatment in acute osteoporotic vertebral compression fractures (Vertos II) : an open-label randomised trail. *Lancet* 2010 ; 376 : 1085-1092
- 8) Edidin AA, Ong KL, Lau E., et al. ortality risk for operated and non-operated vertebral fracture patients in the Medicare population *J Bone Miner Res* 2011 : 10. 1002/jbmr.353.
- 9) 武政龍一, 谷 俊一. 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 *J.Spine Res* 2010 ; 1 : 1260-1266.
- 10) 武政龍一. リン酸カルシウムセメントによる椎体形成術. *整形外科* 2011 ; 62 : 703-712
- 11) 武政龍一. 骨粗鬆症性椎体圧潰に対する CPC 椎体形成術. 馬場久敏 (編), *OS Now Instruction No.18 腰椎の手術 ベーシックからアドバンスまで必須テクニック*. 東京 ; メジカルビュー社 ; 2011 ; 140-146.
- 12) Patel AA, Vaccaro AR, Martyak GG, et al. Neurologic deficit following percutaneous vertebral augmentation. *Spine* 2007 ; 32 : 1728-1734.
- 13) 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* 2010 ; 29 : 522-529.
- 14) Gold DT. The clinical impact of vertebral fractures : Quality of life in women with osteoporosis. *Bone* 1996 ; 18 : 185s-189s.
- 15) 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* 1997 ; 12 : 663-675.
- 16) Leech JA, Dulberg C, Kellie S, et al. Relationship of lung function to severity of osteoporosis in women. *Am Rev Respir Dis* 1990 ; 141 : 68-71.
- 17) Gold DT. The nonskeletal consequences of osteoporotic fractures : Psychologic and social outcomes. *Rheum Dis Clin North Am* 2001 ; 27 : 255-262.
- 18) Coelho R, Silva C, Maia A, et al. Bone mineral density and depression: A community study in women. *J Psychosom Res* 1999 ; 46 : 29-35.
- 19) Cooper C, Atkinson EJ, Jacobsen SJ, et al. Population-based study of survival after osteoporotic fracture. *Am J Epidemiol* 1993 ; 137 : 1001-1005.
- 20) Silverman SL. The clinical consequences of vertebral compression fracture. *Bone* 1992; 13 (Suppl 2) ; S27-31.
- 21) Kado DM, Lui L-Y, Ensrud KE, et al. Hyperkyphosis predicts mortality independent of vertebral osteoporosis in older women. *Ann Intern Med* 2009 ; 150 : 681-687.
- 22) Suzuki N, Ogikubo O, Hansson T. The prognosis for pain, disability, activities of daily living and quality of life after an acute osteoporotic vertebral body fracture: its relation to fracture level, type of fracture and grade of fracture deformation. *Eur Spine J* 2009 ; 18 : 77-88.
- 23) Nieuwenhuijse MJ, Van Erkel AR, Dijkstra S. Cementleakage in percutaneous vertebroplasty for osteoporotic compression fractures : identification of risk factors. *Spine J* 2011 ; 11 : 839-848.
- 24) 喜安克仁, 武政龍一, 谷 俊一ら. 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* 2006 ; 49 : 961-962.
- 25) Trout AT, Kallmes DF, Lane JI, et al. Subsequent vertebral fractures after vertebroplasty: association with intraosseous cleft. *AJNR Am Neuroradiol* 2006 ; 27 : 1586-1591.

骨粗鬆症性椎体圧潰に対する椎体形成術

高知大学医学部整形外科学 武政 龍一

はじめに

骨粗鬆症性椎体骨折後の進行性椎体圧潰では、新鮮圧迫骨折と比べて高度の局所後弯が形成され、椎体内骨折部に cleft が生じて異常可動性を呈することにより、耐え難い腰背部痛が持続する場合がある。

組織学的には椎体内部は癒痕組織や壊死骨などによって満たされ、新生骨の形成に乏しい偽関節の状態である。自験例 100 椎体の術前 CT による評価では 93% の症例で椎体後壁損傷を合併し、脊柱管内へ突出する骨片を認めている。

本邦でも 2011 年 1 月から使用承認を得た Balloon Kyphoplasty (BKP) の適応は、原発性骨粗鬆症による 1 椎体の急性期脊椎圧迫骨折で、十分な保存療法によっても疼痛が改善されない症例であり、CT で椎体後壁損傷を認めるものは適応禁忌とされている。すなわち本病態のほとんどは BKP の適応禁忌に含まれている。

高度の椎体楔状変形と大きな骨折部異常可動性が椎体圧潰の主病態ならば¹⁾、治療においては椎体骨折変形の整復と、骨折部の安定性・耐荷重性の獲得が必要となる。しかし治療対象の多くは高齢者であり、合併症も数多く全身状態が不良な場合も少なくなく、instrumentation を用いた大がかりな再建術はためらわれる場合が少なくない。したがって手術には低侵襲性が求められるが、一方で高齢者故に安全性にも十分な配慮が必要である。

椎体圧潰に対するわれわれの椎体形成術の特徴

1. リン酸カルシウムセメント (CPC) の使用

これらの要件を満たす手術を目指して、われわれはリン酸カルシウムセメント

(CPC)を用いた椎体形成術を行ってきた^{2,3)}。CPCはPMMA(polymethyl methacrylate)と異なり、非発熱性に自己硬化するため、神経組織に近接する脊椎に使用しても、熱による神経障害が発生する心配がない。椎体内に充填されたCPCは、経時的に周囲に骨伝導しながらホスト骨と直接結合する。血行状態の不良な偽関節椎体内に充填されたセメントでも、どこか部分的にでもホスト骨と癒合して安定化した状態で存在することは長期的予後を安定させるためにも必要である。偽関節部の癒痕組織内にセメントが充填されれば、骨伝導能のないPMMAはもとより、CPCであっても骨との結合は期待できない。十分に偽関節部を搔爬して周囲のホスト骨と直接接するように充填されたCPC塊は、fragmentationした例を除けば、少なくとも周囲のいずれかの部分でホスト骨と結合し、CPC塊が椎体内で安定して存在するため、骨折椎体のcortical shellが再建される過程を阻害することはない。

また従来のCPCでは、使用時のペースト状態から自己硬化して最高圧縮強度に至るまでに72時間を要しており、まだ強度が不十分な時点での早期荷重によるCPCのfragmentationが問題となっていたが、2010年にはCPCに画期的な改良がなされ、特に椎体形成術に使用しやすくなった。すなわち改良型CPCでは約24時間で80MPa以上の圧縮強度になるように強度の立ち上がりが大幅に改善された。練和後12時間でも約60MPaの圧縮強度となるため、現在では術後非荷重安静期間を12時間に短縮し、手術翌日の朝に起床してもらっているが、それでもfragmentationなどの問題は発生しなくなった。

しかし、適切な術式で行えば問題はないが、硬化前のCPCに血液が多量に混入した場合には、CPCの硬化反応が妨げられ、想定される最悪のシナリオではCPCが全く硬化せず、血流に流されてwash-outされるなどの不具合が発生する可能性もあり、手術成績はその手技に大きく依存する傾向がある。

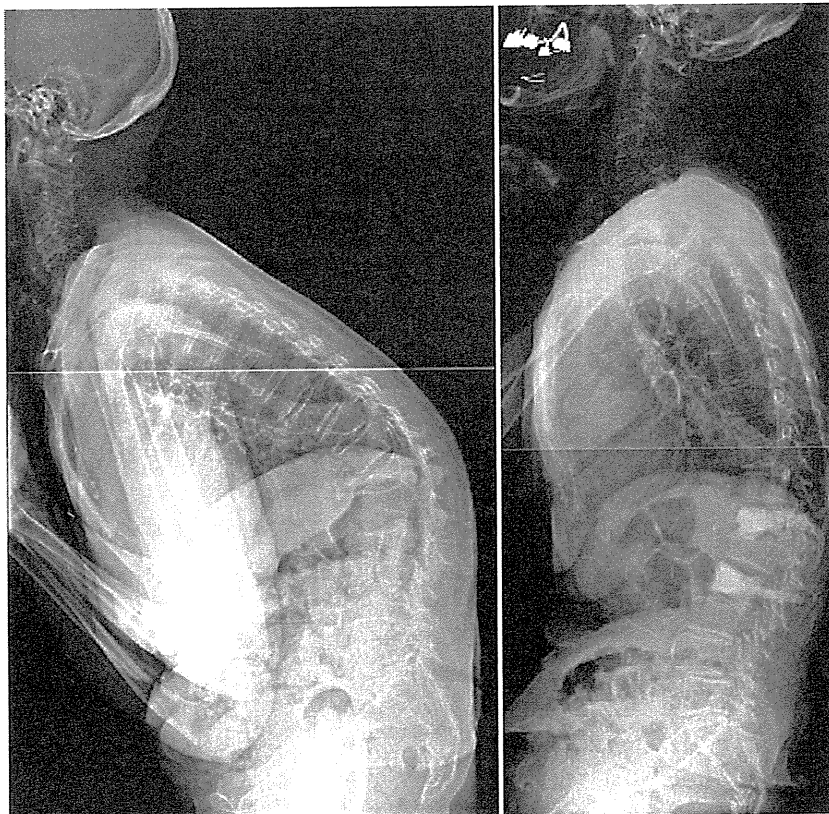
2. 椎体楔状変形の矯正

本術式の特徴として、著者らは椎体楔状変形を整復し、脊柱矢状面バランスを改善させることも重視している(図1)。骨癒合不全椎体では仰臥位になると椎体内にcleftが生じて変形が整復される。この骨折部不安定性を利用して、術中の腹臥位姿勢でも体位を工夫して変形を矯正し、偽関節部の徹底的な搔爬により癒痕組織などによる線維性の結合を完全に解離し、さらに終板エレベーターで骨折終板を前方が開大するように押し広げる操作を追加して整復を試みている。BKPとの比較はできていないが、術直後の整復状態は、術前仰臥位での最大整復位よりも椎体楔状率で5-10%ほど矯正されている。

3. 安全性の確保

合併症で問題となるのはセメントの椎体外漏出である。静脈を介する致命的なセメント肺塞栓や脊柱管内への漏出による脊髄圧迫は絶対に回避しなければならない。本術式では両側椎弓根直上に設置したポータル内の空間と、椎弓根孔を介して交通する椎体内の骨腔が、大気圧と等しい状態に維持される。したがってCPCをセメントガンにて骨腔の最深部から注入充填をする際にも、骨腔内圧が上昇することはなく、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

図1 脊柱後弯変形の矯正



術前

術後

CPC 椎体形成術では、痛みの原因となる骨折部の異常可動性を逆に利用し、体位を工夫して椎体楔状変形を最大限矯正する。さらに椎体内部の線維性癒合を完全に解離した後で、終板エレベーターを用いた整復操作を追加し、その状態でCPCを充填している。それにより、椎体高は可及的に復元し、骨折により生じた脊柱後弯変形は矯正される。本例ではT12、L2の椎体圧潰に対し、2椎体の椎体形成術を行い全脊柱矢状面バランスが著明に改善した。

の椎弓根孔より溢れ出てくる。この方法では経静脈性の椎体外漏出と後壁損傷部から脊柱管内に直接漏出した症例は過去に1例もなく、きわめて安全性が高いことが特徴である。

CPC 椎体形成術の手術手技⁴⁾

1. 体位の工夫による椎体変形の矯正

骨癒合不全椎体の骨折部可動性を最大限利用する。骨盤を軽く尾側へ牽引しながら股関節をクッションなどで最大限伸展させて、4点支持フレーム上に腹臥位とし、椎体楔状変形を可及的に整復する(図2)。

2. ポータルの設置

椎弓根直上に約2.5 cmの皮膚切開を加え、dilatorで段階的に創部を開大し、直径18 mmのX線透過性円筒レトラクターを2つ設置固定する(図3)。

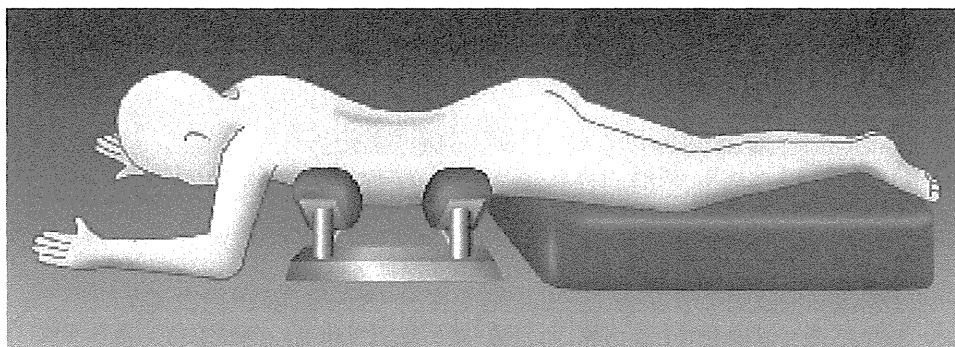
3. 経椎弓根椎体内骨腔へのアプローチ

小さなオウルを椎弓根に刺入し、椎体内の偽関節骨腔まで到達する小孔を穿つ。その小孔を椎弓根孔 dilator にて、それをツイストさせながら拡大する。これにてポータル内と椎体内骨腔は完全に交通する。

4. 骨腔搔爬およびラスピング

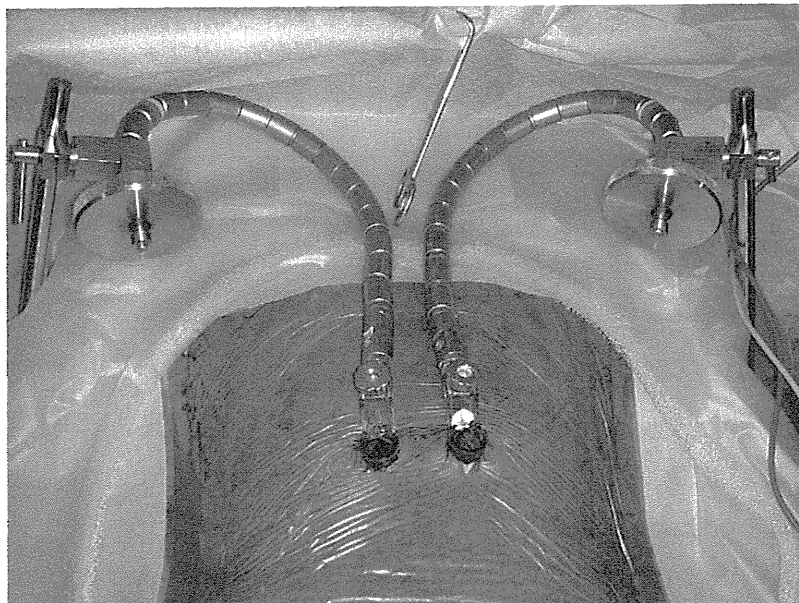
椎体圧潰では椎体内 cleft 部に癒痕・壊死組織が豊富に存在する。それらを鋭匙鉗子およびラスプにて搔爬摘出する。先が緩やかにカーブした鋭匙やラスプを用いると、椎体後壁に近い部分を除いて、椎体内の中央部から前の部分は完全に搔爬

図2 体位の工夫による椎体変形の矯正



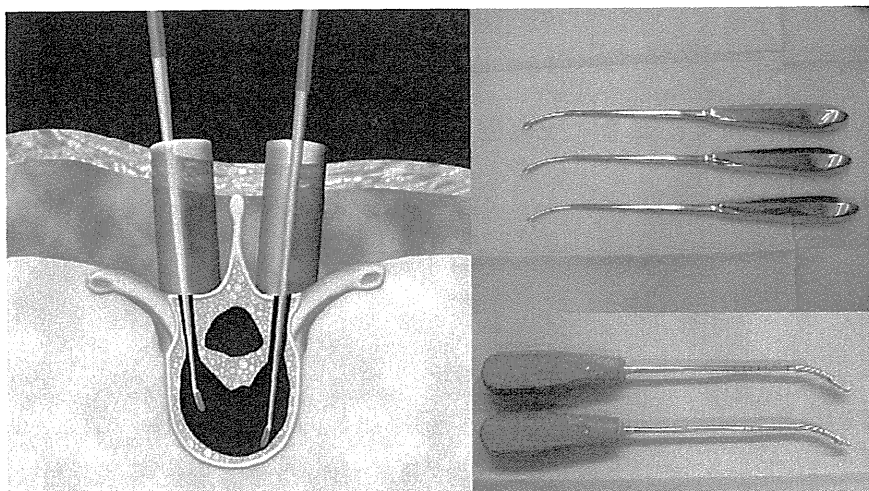
骨癒合不全椎体の骨折部可動性を最大限利用する。骨盤を軽く尾側へ牽引しながら股関節をクッションなどで最大限伸展させて、4点支持フレーム上に腹臥位とし、椎体楔状変形を可及的に整復する。

図3 ポータルの設置



椎弓根直上に約 2.5 cm の皮膚切開を加え、dilator で段階的に創部を開大し、直径 18 mm の X 線透過性円筒レトラクターを 2 つ設置固定する。

図4 椎体内偽関節部の搔爬とそれに用いる手術器具



椎体圧潰では椎体内 cleft 部には癒痕・壊死組織が豊富に存在する。それらを鋭匙鉗子およびラスプにて摘出する。先が緩やかにカーブした鋭匙やラスプを用いると、椎体後壁に近い部分を除いて、椎体内の中央部から前の部分は完全に搔爬することが可能である。椎体後壁骨片の脊柱管内突出を避けるため、椎体後壁に近い部分の搔爬は行わない。

することが可能である。椎体後壁骨片の脊柱管内突出を避けるため、椎体後壁に近い部分の搔爬は行わない(図 4)。骨腔の内面は適切に新鮮化し、後に充填する CPC と骨腔内面の骨との direct contact を達成する。整復された椎体の前方あるいは側壁にはところどころ骨欠損部が存在するが、前縦靱帯を含む軟部組織で被覆されているので、それを穿孔することなく CPC を一塊として充填すれば、術中および術後経過中にも椎体外に漏れは生じない。ラスプや椎体終板のエレベーターを用いて慎重に椎体終板を開大させることで更なる変形矯正処置を追加する。これらの手術器具は CPC メーカーから貸し出しもされている。

5. フラッシング

搔爬やラスピングにより骨腔内部に遺残した debris や血餅を排出するには、一方の椎弓根孔からフラッシング用のカニューレ先端を骨腔内に挿入し、カテーテルチップシリンジにて生理食塩水を勢いよく注入するフラッシングを何度も繰り返す(図 5)。通常は大量の debris が対側の椎弓根孔から水流とともに勢いよく外に排出される。勢いが弱い場合には骨腔のどこかに流通を妨げる軟部組織が遺残していると判断し、搔爬、ラスピングを追加する。この操作を繰り返し行い、骨腔内に CPC の充填を妨げるものが全くない状態を形成する。

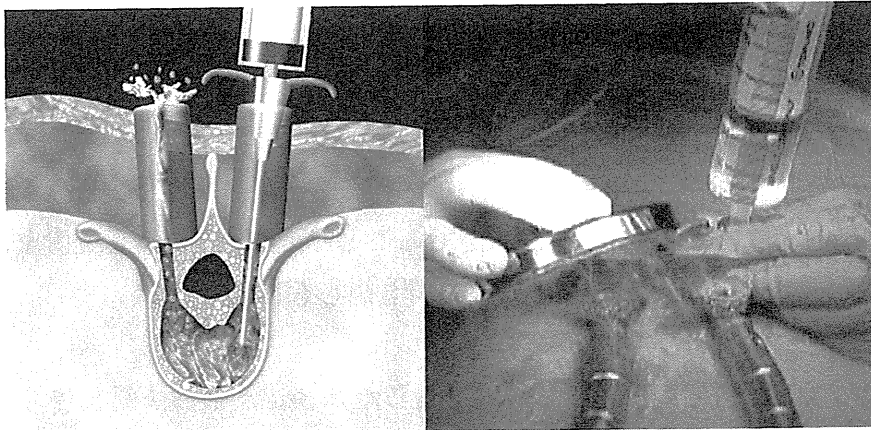
6. 骨腔造影

造影剤を骨腔に注入し、椎体外への漏れのないこと、および骨腔の広がりをチェックする。術者のイメージ通りの造影所見ではなく、骨腔形成が不十分と判断すれば、思い通りの骨腔造影像が得られるまで、再び搔爬ラスピング処置を根気よく追加する。造影剤を用いずとも、X 線透視で骨腔の形態は air 像として大まかに確認できる。

7. CPC の練和

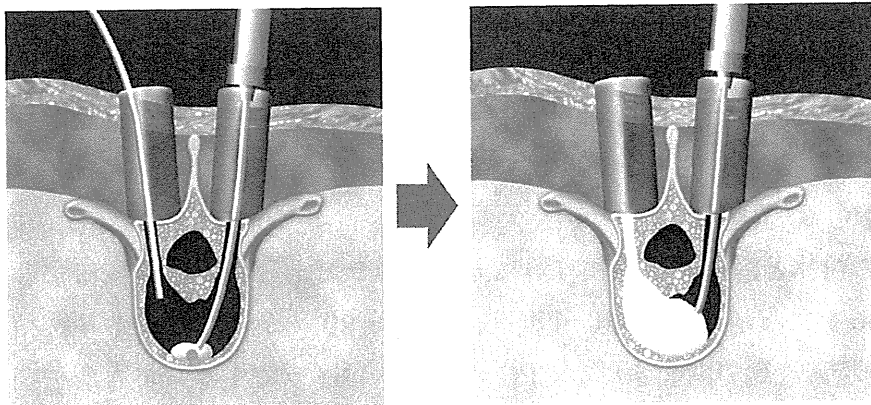
CPC の粉体と溶解液を練和容器に入れ、ヘラで十分に両者を混和する。通常は粉剤 36 g に液剤を 8.8-9.0 ml 混ぜ、約 1 分 20 秒かけてしっかり練和する。この高い粉/液比で調製される CPC ペーストはヘラですくっても形を変えない程の粘稠度が高い状態であり、血管内に流入することは考えにくい。この間、麻酔医に一時的に低血圧処置をお願いして骨髄出血を抑制する。助手にはフラッシングを継続してもらい、CPC の充填を妨げる椎体内の血腫形成を予防する。その際、われわれは約 42 度に暖めた食塩水で骨腔を満たし、骨腔内の温度を上昇させて、CPC の初期硬化反応速度を促進している。充填ノズルを少しカーブさせてシリンジにセットし、粘稠度の高いペースト状 CPC を専用シリンジに詰め、専用セメントガンにセットする。

図5 フラッシング



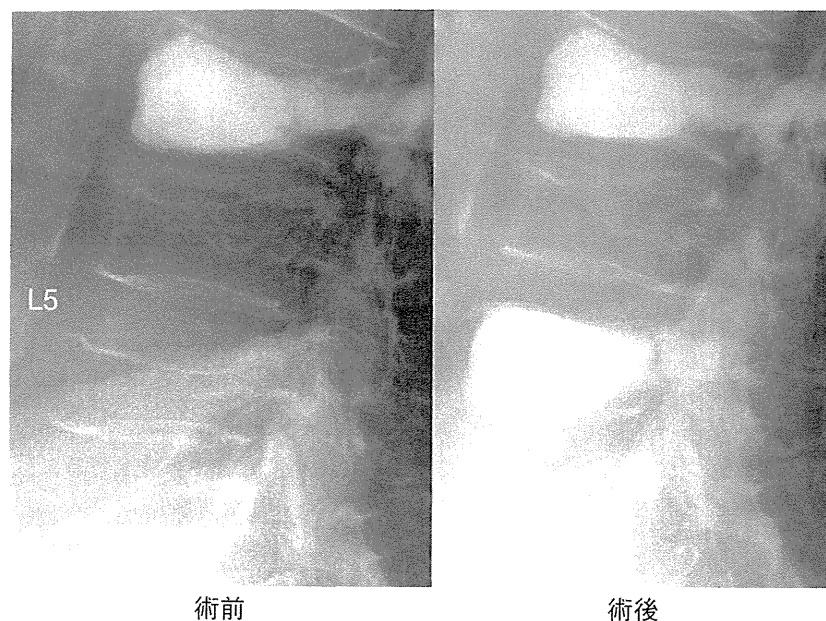
搔爬やラスピングにより骨腔内部に貯留した debris や血餅を排出するには、一方の椎弓根孔からフラッシング用のカニューレ先端を骨腔内に挿入し、カテテルチップシリンジにて生理食塩水を勢いよく注入するフラッシングを何度も繰り返す。通常は大量の debris が対側の椎弓根孔から水流とともに勢いよく外に排出される。勢いが弱い場合には骨腔のどこかに流通を妨げる軟部組織が遺残していると判断し、搔爬、ラスピングを追加する。この操作を繰り返す行い、骨腔内に CPC の充填を妨げるものが全くない状態を形成する。

図6 CPC の充填



骨腔内に貯留している生食水や血腫などを吸引管にて完全に吸引排出する。次いでカーブさせた CPC 充填用ノズルの先端を X 線透視下に必ず骨腔の最深部に設置する。そうすればたとえ少量の貯留血液があっても、それと混合することなく貯留液を押し出しながら骨腔を CPC で満たすことができるので、血液混入による強度の損失を防ぐことができる。充填は CPC を“そこに置いてくる”感覚にて行う。CPC は骨腔最深部から骨腔を満たしながら充填され、やがて反対側の椎弓根孔からあふれ出てくる。それを確認したらノズルをすこしずつ引き抜きながらノズル挿入側の未充填部も CPC で満たす。

図7 椎体前方荷重部に一塊となる CPC 硬化体の形成



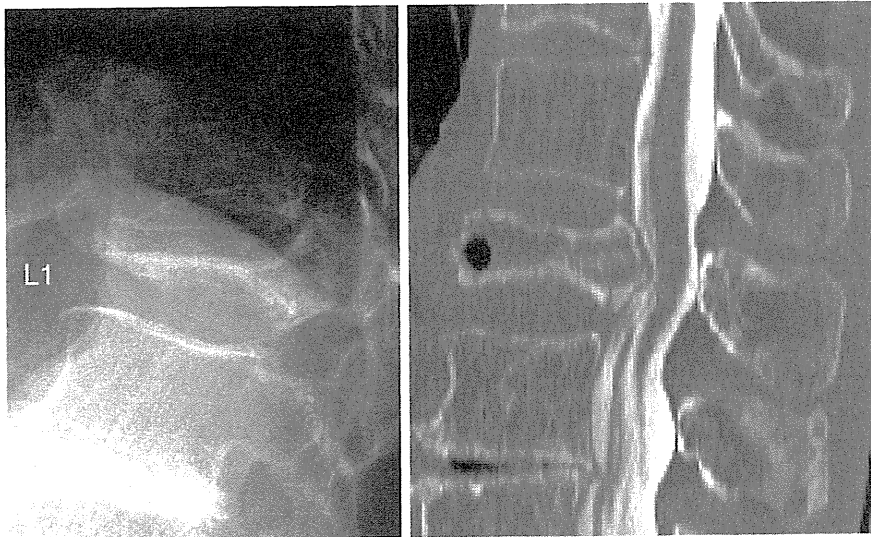
81歳・女性 過去にL3にCPC椎体形成術が行われている。新たに生じたL5椎体圧潰に対し本術式を施行した。L5椎体の前方荷重部に一塊となるCPC硬化体が形成されている。

8. CPCの充填

骨腔内に貯留している生食水や血腫などを吸引管にて完全に吸引排出する。次いでカーブさせたCPC充填用ノズルの先端をX線透視下に必ず骨腔の最深部に設置する。そうすればたとえ少量の貯留血液があっても、それと混合することなく貯留液を押し出しながら骨腔をCPCで満たすことができるので、血液混入による強度の損失を防ぐことができる⁵⁾。

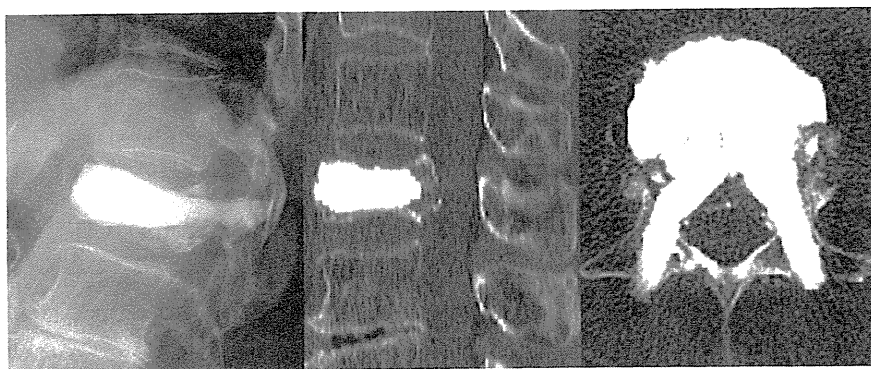
充填はCPCを“そこに置いてくる”感覚にて行う。CPCは骨腔最深部から骨腔を満たしながら充填され、やがて反対側の椎弓根孔からあふれ出てくる。それを確認したらノズルをすこしずつ引き抜きながらノズル挿入側の未充填部もCPCで満たす(図6)。このように骨腔と左右のポータル内の空間が椎弓根孔を介して完全に交通していると、セメント充填の際に骨腔の内圧が上昇せず、椎体内静脈にCPCが圧入されたり、骨欠損部から椎体外に漏れ出ることが防止できる。この操作にて椎体前方荷重部に一塊となるCPC硬化体を形成する(図7)。手術時間は約70分、出血量は20-30mlである。

図 8 症例 1 : 82 歳・女性 L1 椎体圧潰 (術前)



椎体圧潰が高度で椎体は扁平椎化していた。寝起きの動作時に最も強い激しい腰痛が主訴であった。仰臥位で撮像した脊髓造影 CT では、圧潰椎体内に vacuum cleft が生じて整復されていた。後壁損傷を認め、脊柱管内突出骨片が脊髓円錐部レベルを軽度圧迫するも、膀胱直腸障害をはじめ下肢の神経症状を認めなかった。

図 9 症例 1 : L1 椎体圧潰に対する CPC 椎体形成術後 (術後 2 週)



立位側面

CT 矢状断像

CT 横断像

本例に CPC 椎体形成術を行った。術後 12 時間で体幹装具装着下に離床し、腰痛は著明に減少して歩行を開始できた。術後 2 週時の X 線や CT でも CPC 塊に fragmentation を認めなかった。このような扁平椎では、椎体前側壁の cortical shell が完全に破綻しており、術後それが再建されるまでの間、椎体内部に充填された CPC が主として荷重を担うことになる。術後 1 年まで経過観察しているが、CPC の不具合は生じていない。