骨粗鬆症性椎体骨折における診断と リハビリテーションを含めた治療の変遷

[Past and Current Status in Diagnosis and Treatment Strategy
Including Rehabilitation for Osteoporotic Vertebral Fracture]

高橋真治* Shinji Takahashi 星野雅俊* Masatoshi Hoshino 中村博亮* Hiroaki Nakamura

大阪市立大学大学院医学研究科整形外科

Key words : 骨粗鬆症性椎体骨折 / 診断 / 保存治療 / リハビリテーション / 手術

はじめに

骨粗鬆症および椎体骨折に関する論文は経年的に増加傾向にある（図 1, 2）が、骨粗鬆症性椎体骨折の診断、治療に関してはいまだに不明な部分が多い。65 歳以上の高齢者比率はすでに 28% を超えたといわれており、本邦は超高齢社会に突入している。それに伴って、骨粗鬆症有病者数は増加の一途にある。骨折が生じた場合、日常生活は高度に制限されるが、その中でも特に骨粗鬆症性椎体骨折は、最も頻度がその高い。Sakuma ら¹⁾の最近の研究によれば、骨粗鬆症性椎体骨折は大腿骨近位部骨折と比較しても、約 2 倍の頻度でみられる。また、大規模疫学研究である ROAD study²⁾では、40 歳以上の年齢層での有病率は 2015 年の人口構成において、半定量的評価法の Grade 1 以上が 1,460 万人、Grade 2 以上が 470 万人と推定されている。これらの椎体骨折は日常生活の制限のみならず生命予後に影響する³⁾ともいわれており、包括的な治療体系の構築が急務である。今回は骨粗鬆症性椎体骨折の診断とリハビリ

テーションを含めた治療の変遷というテーマで講演を依頼していただいたので、誌面を借りて報告する。

診断の変遷

骨粗鬆症性椎体骨折の診断として、1990 年代前半までは単純 X 線による椎体高の定量的評価が使用されていた⁴⁾が、撮影時の X 線の入射角度の影響や評価に時間がかかるという問題があった。そこで、より簡便で高い精度を有する方法として Genant ら⁵⁾が半定量的評価法を提唱し、疫学や臨床研究、実臨床に用いられるようになった。本邦の椎体骨折評価基準（2012 年度改定）⁶⁾でも半定量的評価法が追記された。椎体の形態異常で grading され、Grade 1 以上であれば骨折と診断される。目視で前壁、中央、後壁のいずれかで 20～25% 以上の椎体高あるいは面積の減少があれば Grade 1、25～40% であれば Grade 2、40% 以上であれば Grade 3 としている。しかし、単純 X 線では形態骨折や既存骨折が混在する症例においては、新鮮な臨床椎体骨折を診断することは困難である。そこで MRI の有用性が報告されるようになった。MRI による新鮮椎体骨折の診断について中野ら⁷⁾が以下の 3 項目を提案し、感度・特異度ともに 99% であったと報告した。① T1 強調画像で椎体の一部あるいはほぼ全体が低信号域であり、低信号域は椎体の前壁から後壁に及んでいること。

* 大阪市立大学大学院医学研究科整形外科
【連絡先】〒545-8585 大阪府大阪市阿倍野区旭町 1-4-3 大阪市立大学大学院医学研究科整形外科 高橋真治
E-mail : shinji@med.osaka-cu.ac.jp
DOI : 10.2490/jjrmc.57.836

図1 骨粗鬆症の論文数の推移

図2 骨粗鬆症性椎体骨折の論文数の推移

②この低信号域と正常域との境界は細かく入り組み、かつやや不鮮明であること。③ STIR 像では椎体全体が高信号域になること、である。

われわれは MRI 画像を受傷 2 週以内、1 カ月、3 カ月、6 カ月、1 年に撮影して、その経時の変化を検討した⁸⁾。6 カ月以上追跡できた症例は 153 例（女性 125 例、男性 28 例）であった。このうち 66 例は 1 年間の追跡が可能であった。MRI 所見の経時の変化は図 3～5 に示すとおりである。T1 強調

像（図 3）では、受傷時にみられる低信号領域は 1 カ月時までその面積の拡大を示し、その後徐々に縮小する。6 カ月時点でもほとんどの症例に低信号変化が残存し、1 年時点でも 68% に信号変化がみられた。STIR 像（図 4）では受傷時すべての症例で高信号性変化を示し、この変化は受傷後 3 カ月時点まで持続した。さらに、受傷後 6 カ月までは信号変化は残存し、1 年時でも 64% で信号変化を示していた。一方、T1 強調画像での信号変化の

図3 MRI所見の経時的変化 (T1 強調像)

受傷時には、低信号領域が椎体内の一部に限局している限局型と椎体全体に及んでいる広範囲が半数ずつみられるが、1カ月後にはほぼすべての症例が広範囲になる、すなわち、低信号性変化を示す範囲が経時的に拡大し、その後徐々に縮小していくのがわかる。

図4 MRI所見の経時的変化 (STIR 像)

受傷時すべての症例で、椎体の高信号性変化を示すが、この変化は受傷後3カ月程度までは継続する。その後徐々にこの変化を示す症例比率は減少する。

回復を検討すると、3カ月で30%、6カ月で74%が後壁の信号変化の改善を示した (図5)。T2強調画像に関しては等信号、限局型低信号、広範囲型低信号、限局型高信号に分類できる (図6)。これらの変化は受傷後のいずれの時点においても観察されるため、後述する予後予測因子としての応用

への可能性も考えられた。

MRIの骨折予後予測への有用性

骨粗鬆症性椎体骨折後6カ月を経過しても骨癒合が得られない症例が13~20%^{9, 10)}にみられると

図5 T1強調像における椎体後壁信号の経時的変化

椎体の後壁における信号変化をみると、受傷後1カ月の時点では全例で低信号性変化を示し、3カ月後から徐々に正常化する。

図6 MRI所見の経時的変化 (T2強調像)

受傷後いずれの時点においてもさまざまな信号変化を示す。最も頻度が高いのは低信号限局型であるが、一見遷延治癒を疑わせる高信号限局型の信号変化を受傷時から示す症例も存在する。

報告されている。われわれは、急性期の T2 限局型高信号と広範囲型低信号が遷延治癒の危険因子であり、それぞれオッズ比が 32.4 (95%信頼区間: 11.0-94.9), 6.8 (2.5-18.3) と上昇を認めたことを報告した⁹⁾。さらに、遷延治癒の予測精度を以下に示す¹⁰⁾と、T2 限局型高信号: 感度 53%, 特異度 89%, PPV 70%, NPV 80%, 正確度 78%。T2 広範囲型低信号: 感度 8%, 特異度 96%, PPV 50%,

NPV 69%, 正確度 68%であった。一方、T1 強調像について検討すると、受傷 1 カ月時点で限局型に低信号を示す症例では遷延治癒に移行するものではなく、最終的な圧潰も軽度であった。したがって、1 カ月時点の T1 低信号限局型は予後良好を示すものと判断できる。

また、疼痛残存や椎体圧潰に関する危険因子を報告した review¹¹⁾では、疼痛残存については椎体

圧潰の程度、遷延治癒・偽関節などを挙げている。一方、椎体圧潰の危険因子としては T2 低信号広範囲型、AO type A2 や A4、後壁損傷などが報告されている。われわれは腰痛に関して、急性期には椎体圧潰率、慢性期には椎体可動角、T2 高信号が関連すると報告した¹²⁾。また、25° 以上の後弯変形、遷延治癒・偽関節が腰痛に関与するとしている報告もある¹³⁾。

保存療法

1. 装具療法

受傷後、神経症状がなければ基本的には保存療法が第一選択となる。治療目標は臨床的には除痛、受傷前の ADL の獲得であり、画像的には椎体変形の予防、骨癒合である。千葉ら¹⁴⁾は硬性コルセット、軟性コルセット、ギプスの効果を RCT により比較して、明らかな治療間の差はなかったと 2011 年に報告した。2014 年に Kim ら¹⁵⁾は軟性コルセット、硬性コルセット、装具なしによる治療成績を RCT で比較したが、やはりいずれも明らかな差は認められなかった。各国のガイドラインをみても装具に関しては weak evidence となっている¹⁶⁾。それ以降に Kato ら¹⁷⁾が大規模 RCT を実施し、硬性装具と軟性装具を比較したが、偽関節や椎体圧潰率に差はなかったと 2019 年に報告している。現時点で装具の有効性に関する明確な evidence は存在しない。

2. 運動療法

運動療法によって骨密度の増加やバランス能力の改善、転倒予防が期待される。椎体骨折の発生予防に関しては腹筋よりも背筋力の強化が有効であると 1984 年に Sinaki ら¹⁸⁾が報告した。また、Sinaki ら¹⁹⁾は腹臥位で腹部にクッションを入れて背部に重りを乗せるという背筋筋力トレーニングを週 5 日間、2 年間実施した群とコントロール群を

10 年間追跡し、運動療法により椎体骨折の発生率に差があったことを報告している。Hongo ら²⁰⁾も RCT を実施し、背部の重りを除いた低負荷の背筋運動でも QOL の改善が得られたことを報告した。

急性期では強い疼痛のためにやむを得ず安静臥床を強いられた場合、臥床期間が長いと深部静脈血栓症や褥瘡、呼吸器合併症、尿路感染の原因となる²¹⁾。早期からのリハビリテーションによる治療を行い、廃用症候群を予防することは、筋力維持のみでなく、骨密度増加や転倒予防による骨折のリスク減弱に有用である¹⁵⁾。臥床で骨密度が 1 週間あたり 0.25% 減少するという報告もある²²⁾。安静臥床による椎体圧潰予防効果も明らかではなく¹⁴⁾、早期離床は妥当と考えられている。疼痛が強ければ長期安静臥床が余儀なくされ筋肉の萎縮をきたしやすいため²³⁾、離床が困難場合でも床上での下肢運動を中心に行う。疼痛が許容できれば早期に装具装着下で立位や歩行訓練を実施する。また、受傷前の運動習慣は椎体骨折発生後の ADL の維持に重要である²⁴⁾。

椎体形成術の変遷

保存加療に抵抗する症例に対しては、外科的治療介入を考慮しなければならない。椎体形成術は Galibert ら²⁵⁾が acrylic cement を椎体内血管腫に使用したとする報告が最初である。その後 1990 年代初頭から骨粗鬆症性椎体骨折に対しても適応されるようになった^{26, 27)}。これらの方法では polymethylmethacrylate (PMMA) が椎体内補填材料として用いられていたが、PMMA にはモノマーの毒性があること、重合熱が発生することから、本邦では独自の方法で発展を遂げた。その 1 つとして calcium phosphate cement を使用した椎体形成術が Nakano ら²⁸⁾により 2002 年に報告されている。その後、2011 年からは本邦で PMMA を使用した balloon kyphoplasty が保険承認され、急速にその

症例数が増加し、現在に至っている。

2009年に椎体形成術の効果を sham 手術と比較して疑問視する2つのRCT^{29, 30)}が報告された。しかし、その後椎体形成術の有効性を支持する論文も数多く発表された³¹⁻³⁴⁾。Kaufmannら³⁵⁾は、椎体形成術は罹病期間にかかわらず有効であったが、罹病期間が長いほど術後鎮痛剤の使用頻度が高かったと報告している。われわれは発生後8週以内、8週以降にBKPを実施した症例の成績を比較したが、8週以内の群のほうが術後の椎体高や楔状変形が保たれていた³⁶⁾。そのため、椎体形成術を行う場合、早期の介入が望ましいが、骨粗鬆症性椎体骨折の多くは保存治療に対する反応が良好であるため、BKPの有効性を最大限に生かすためには、適応症例を選定する必要がある。そこで、われわれは上述したMRIのT2高信号限局型あるいは低信号広範囲型といった予後不良因子を有する症例に対してのみ早期にBKPを実施し、保存群に比べ良好な成績を得ている³⁸⁾。

手術療法の変遷

骨粗鬆症性椎体骨折の手術療法の本邦における変遷について、まずShikataら³⁸⁾が1980年代にHarrington rodを用いた後方からの矯正固定術による手術手技を報告した。前方固定についてはKanedaら³⁹⁾が1992年にその良好な成績を報告している。骨粗鬆症性椎体骨折後遅発神経麻痺の22症例に実施し、後弯角度は27.8°から13.3°に改善し、臨床症状についても良好な結果が得られたと報告している。2000年にはSaitaら⁴⁰⁾により後方からの短縮骨切りが報告された。2010年にはUchidaら⁴¹⁾が椎体形成術を併用した後方固定術を報告し、前方固定と同等の矯正率が得られたとしている。同術式の他の報告⁴²⁾によると、術前と術後2年時の局所後弯角は同等であったが、16°以上の後弯矯正が隣接椎体骨折や矯正損失が生じる

リスクとしている。

2010年前後までは、骨粗鬆症性椎体骨折に対する手術療法、いわゆるmajor surgeryは下肢神経症状の有無がその適応判断基準になっていたが、そののち後弯変形が適応に加味されるようになってきた。成人脊柱変形においては、global alignmentの評価法が国外から報告され^{43, 44)}、これを正常化するために種々の手術法が報告されている。その中で後方からの骨切り術はSchwabら⁴⁵⁾により1-6にgradingされている。Grade3のpedicle subtraction osteotomyは骨切り上下の椎間板を温存するため偽関節率が高く、Grade4あるいは5の骨切り術が適していることが多い。骨切り術の適応については骨折形態に応じた手法を選択する。しかし、高齢者のインプラントを使用した手術では合併症のリスクが高まる⁴⁶⁾ため、高齢者では高侵襲の手術適応は慎重に決定しなければならない。Yoshidaら⁴⁷⁾は年齢や手術時間などを考慮した広範囲矯正固定術の許容範囲を検討しているが、80歳以上では手術時間3時間、出血500 mL以下としている。本術式の適応については、今後さらなる検討が必要である。

今後の展望

予後不良な骨折を急性期に予測するには現状ではまだ不十分であり、さらなる研究によりその精度を高める必要がある。それにより漫然とした保存治療ではなく効率的な外科的治療による介入も可能となる。一方で、それぞれの患者の全身状態、ADL、骨密度・骨質、既存骨折、脊柱変形の程度などにより治療戦略は大きく左右される。外科的治療は複数の選択肢があるが、高齢者における固定範囲の問題や治療目標の設定がいまだに明らかになっていない。保存療法についても明確なevidenceは不足しており、装具の有無による治療成績の比較、早期離床群と非早期離床群の比較を

RCTで検証できれば、より保存治療の標準化に寄与できるものと考える。

まとめ

骨粗鬆症性椎体骨折における診断、治療の変遷について述べた。装具治療に関しては明らかなevidenceはないが、運動療法に関しては定期的な背筋を含めたトレーニングが椎体骨折の予防に役立つ可能性が示唆されている。手術適応とその方法に関しては明確な基準はなく、手術侵襲、術式、固定範囲を考慮して個々の症例に合わせた手術法を選択する必要がある。

COI 開示

中村博亮：第一三共（株）、シオノギ製薬（株）、大正製薬（株）、イーライリリー（株）、アステラス製薬（株）、エーザイ（株）、帝人ファーマ（株）、旭化成ファーマ（株）、ファイザー株式会社 AC、大阪市立大学大学院医学研究科整形外科教室同門会、田辺中央病院、東生駒病院、白庭病院、西宮渡辺病院、東住吉森本病院、守口生野記念病院、貴島病院本院

文 献

- 1) Sakuma M, Endo N, Oinuma T, Miyasaka D, Oguma Y, Imao K, Koga H, Tanabe N : Incidence of osteoporotic fractures in Sado, Japan in 2010. *J Bone Miner Metab* 2014 ; **32** : 200-205
- 2) Horii C, Asai Y, Iidaka T, Muraki S, Oka H, Tsutsui S, Hashizume H, Yamada H, Yoshida M, Kawaguchi H, Nakamura K, Akune T, Tanaka S, Yoshimura N : Differences in prevalence and associated factors between mild and severe vertebral fractures in Japanese men and women : the third survey of the ROAD study. *J Bone Miner Metab* 2019 ; **37** : 844-854
- 3) Kado DM, Browner WS, Palermo L, Nevitt MC, Genant HK, Cummings SR : Vertebral fractures and mortality in older women : a prospective study. Study of Osteoporotic Fractures Research Group. *Arch Intern Med* 1999 ; **159** : 1215-1220
- 4) Black DM, Cummings SR, Stone K, Hudes E, Palermo L, Steiger P : A new approach to defining normal vertebral dimensions. *J Bone Miner Res* 1991 ; **6** : 883-892
- 5) Genant HK, Wu CY, van Kuijk C, Nevitt MC : Vertebral fracture assessment using a semiquantitative technique. *J Bone Miner Res* 1993 ; **8** : 1137-1148
- 6) 森 諭史, 宗圓 聰, 萩野 浩, 中野哲雄, 伊東昌子, 藤原佐枝子, 加藤義治, 徳橋泰明, 戸川大輔, 遠藤直人, 澤口 毅 : 椎体骨折評価基準 (2012 年度改訂版). *Osteoporos Japan* 2013 ; **21** : 25-32
- 7) 中野哲雄, 稲葉大輔, 高田興志 : 新鮮椎体骨折のMRIによる診断の正診率と自然経過. *Osteoporos Japan* 2003 ; **11** : 747-750
- 8) Takahashi S, Hoshino M, Takayama K, Iseki K, Sasaoka R, Tsujio T, Yasuda H, Sasaki T, Kanematsu F, Kono H, Toyoda H, Nakamura H : Time course of osteoporotic vertebral fractures by magnetic resonance imaging using a simple classification : a multicenter prospective cohort study. *Osteoporos Int* 2017 ; **28** : 473-482
- 9) Tsujio T, Nakamura H, Terai H, Hoshino M, Namikawa T, Matsumura A, Kato M, Suzuki A, Takayama K, Fukushima W, Kondo K, Hirota Y, Takaoka K : Characteristic radiographic or magnetic resonance images of fresh osteoporotic vertebral fractures predicting potential risk for nonunion. *Spine (Phila Pa 1976)* 2011 ; **36** : 1229-1235
- 10) Takahashi S, Hoshino M, Takayama K, Iseki K, Sasaoka R, Tsujio T, Yasuda H, Sasaki T, Kanematsu F, Kono H, Toyoda H, Nakamura H : Predicting delayed union in osteoporotic vertebral fractures with consecutive magnetic resonance imaging in the acute phase : a multicenter cohort study. *Osteoporos Int* 2016 ; **27** : 3567-3575
- 11) Muratore M, Ferrera A, Masse A, Bistolfi A : Osteoporotic vertebral fractures : predictive factors for conservative treatment failure. A systematic review. *Eur Spine J* 2018 ; **27** : 2565-2576
- 12) Ahmadi SA, Takahashi S, Hoshino M, Takayama K, Sasaoka R, Tsujio T, Yasuda H, Kanematsu F, Kono H, Toyoda H, Nakamura H : Association between MRI findings and back pain after osteoporotic vertebral fractures : a multicenter prospective cohort study. *Spine J* 2019 ; **19** : 1186-1193
- 13) Iwata A, Kanayama M, Oha F, Shimamura Y, Hashimoto T, Takahata M, Iwasaki N : Is bone nonunion, vertebral deformity, or spino-pelvic malalignment the best therapeutic target for amelioration of low back pain after osteoporotic vertebral fracture? *Spine (Phila Pa 1976)* 2020 ; **45** : E760-E767
- 14) 千葉一裕, 吉田宗人, 四宮謙一, 里見和彦, 赤木繁夫, 紺野慎一, 田口敏彦, 田中靖久, 馬場久敏, 角間辰之, 米本孝二, 中山健夫, 河原和夫, 白土 修, 松崎浩巳, 百島祐貴, 新井嘉容, 永田見生 : 骨粗鬆症性椎体骨折に対する保存療法の指針策定 : 多施設共同前向き無作為化比較パイロット試験の結果より. *日本整形外科学会雑誌* 2011 ; **85** : 934-941
- 15) Kim HJ, Yi JM, Cho HG, Chang BS, Lee CK, Kim JH, Yeom JS : Comparative study of the treatment outcomes of osteoporotic compression fractures without neurologic injury using a rigid brace, a soft brace, and no brace : A prospective randomized

- controlled non-inferiority trial. *J Bone Joint Surg Am* 2014 ; **96** : 1959-1966
- 16) Parreira PCS, Maher CG, Megale RZ, March L, Ferreira ML : An overview of clinical guidelines for the management of vertebral compression fracture : a systematic review. *Spine J* 2017 ; **17** : 1932-1938
  - 17) Kato T, Inose H, Ichimura S, Tokuhashi Y, Nakamura H, Hoshino M, Togawa D, Hirano T, Haro H, Ohba T, Tsuji T, Sato K, Sasao Y, Takahata M, Otani K, Momoshima S, Tateishi U, Tomita M, Takemasa R, Yuasa M, Hirai T, Yoshii T, Okawa A : Comparison of rigid and soft-brace treatments for acute osteoporotic vertebral compression fracture : A prospective, randomized, multicenter study. *J Clin Med* 2019 ; **8** : 198
  - 18) Sinaki M, Mikkelsen BA, Beth A : Postmenopausal spinal osteoporosis : flexion versus extension exercises. *Arch Phys Med Rehabil* 1984 ; **65** : 593-596
  - 19) Sinaki M, Itoi E, Wahner HW, Wollan P, Gelzcer R, Mullan BP, Collins DA, Hodgson SF : Stronger back muscles reduce the incidence of vertebral fractures : a prospective 10 year follow-up of postmenopausal women. *Bone* 2002 ; **30** : 836-841
  - 20) Hongo M, Itoi E, Sinaki M, Miyakoshi N, Shimada Y, Maekawa S, Okada K, Mizutani Y : Effect of low-intensity back exercise on quality of life and back extensor strength in patients with osteoporosis : A randomized controlled trial. *Osteoporos Int* 2007 ; **18** : 1389-1395
  - 21) Slavici A, Rauschmann M, Fleege C : Conservative management of osteoporotic vertebral fractures : an update. *Eur J Trauma Emerg Surg* 2017 ; **43** : 19-26
  - 22) Leblanc AD, Schneider VS, Evans HJ, Engelbretson DA, Krebs JM : Bone mineral loss and recovery after 17 weeks of bed rest. *J Bone Miner Res* 1990 ; **5** : 843-850
  - 23) Takahashi S, Hoshino M, Takayama K, Sasaoka R, Tsujio T, Yasuda H, Kanematsu F, Kono H, Toyoda H, Ohyama S, Hori Y, Nakamura H : The natural course of the paravertebral muscles after the onset of osteoporotic vertebral fracture. *Osteoporos Int* 2020 ; **31** : 1089-1095
  - 24) Matsumoto T, Hoshino M, Tsujio T, Terai H, Namikawa T, Matsumura A, Kato M, Toyoda H, Suzuki A, Takayama K, Takaoka K, Nakamura H : Prognostic factors for reduction of activities of daily living following osteoporotic vertebral fractures. *Spine (Phila Pa 1976)* 2012 ; **37** : 1115-1121
  - 25) Galibert P, Deramond H, Rosat P, Le Gars D : Preliminary note on the treatment of vertebral angioma by percutaneous acrylic vertebroplasty. *Neurochirurgie* 1987 ; **33** : 166-168
  - 26) Debussche-Depriester C, Deramond H, Fardellone P, Heleg A, Sebert JL, Cartz L, Galibert P : Percutaneous vertebroplasty with acrylic cement in the treatment of osteoporotic vertebral crush fracture syndrome. *Neuroradiology* 1991 ; **33** : 149-152
  - 27) Deramond H, Depriester C, Galibert P, Le Gars D : Percutaneous vertebroplasty with polymethylmethacrylate. Technique, indications, and results. *Radiol Clin North Am* 1998 ; **36** : 533-546
  - 28) Nakano M, Hirano N, Matsuura K, Watanabe H, Kitagawa H, Ishirara H, Kawaguchi Y : Percutaneous transpedicular vertebroplasty with calcium phosphate cement in the treatment of osteoporotic vertebral compression and burst fractures. *J Neurosurg* 2002 ; **97** (3 Suppl) : 287-293
  - 29) Buchbinder R, Osborne RH, Ebeling PR, Wark JD, Mitchell P, Wriedt C, Graves S, Staples MP, Murphy B : A randomized trial of vertebroplasty for osteoporotic spinal fractures. *N Engl J Med* 2009 ; **361** : 557-568
  - 30) Kallmes DF, Comstock BA, Heagerty PJ, Turner JA, Wilson DJ, Diamond TH, Edwards R, Gray LA, Stout L, Owen S, Hollingworth W, Ghdoke B, Annesley-Williams DJ, Ralston SH, Jarvik JG : A randomized trial of vertebroplasty for osteoporotic spinal fractures. *N Engl J Med* 2009 ; **361** : 569-579
  - 31) Farrokhi MR, Alibai E, Maghami Z : Randomized controlled trial of percutaneous vertebroplasty versus optimal medical management for the relief of pain and disability in acute osteoporotic vertebral compression fractures. *J Neurosurg Spine* 2011 ; **14** : 561-569
  - 32) Boonen S, Van Meirhaeghe J, Bastian L, Cummings SR, Ransam J, Tillman JB, Eastell R, Talmadge K, Wardlaw D : Balloon kyphoplasty for the treatment of acute vertebral compression fractures : 2-year results from a randomized trial. *J Bone Miner Res* 2011 ; **26** : 1627-1637
  - 33) Anderson PA, Froysheter AB, Tontz WL : Meta-analysis of vertebral augmentation compared with conservative treatment for osteoporotic spinal fractures. *J Bone Miner Res* 2013 ; **28** : 372-382
  - 34) Klazen CAH, Lohle PNM, de Vries J, Jansen FH, Tielbeek A V, Blonk MC, Venmans A, van Rooij WJJ, Schoemaker MC, Juttman JR, Lo TH, Verhaar HJ, van der Graaf Y, van Everdingen KJ, Muller AF, Elgersma OE, Halkema DR, Fransen H, Janssens X, Buskens E, Mali WPTM : Vertebroplasty versus conservative treatment in acute osteoporotic vertebral compression fractures (Vertos II) : an open-label randomised trial. *Lancet* 2010 ; **376** : 1085-1092
  - 35) Kaufmann TJ, Jensen ME, Schweickert P a, Marx WF, Kallmes DF : Age of fracture and clinical outcomes of percutaneous vertebroplasty. *Am J Neuroradiol* 2001 ; **22** : 1860-1863
  - 36) Takahashi S, Hoshino M, Terai H, Toyoda H, Suzuki A, Tamai K, Watanabe K, Tsujio T, Yasuda H, Kono H, Sasaoka R, Dohzono S, Hayashi K, Ohyama S,

- Hori Y, Nakamura H : Differences in short-term clinical and radiological outcomes depending on timing of balloon kyphoplasty for painful osteoporotic vertebral fracture. *J Orthop Sci* 2018 ; **23** : 51-56
- 37) Hoshino M, Takahashi S, Yasuda H, Terai H, Watanabe K, Hayashi K, Tsujio T, Kono H, Suzuki A, Tamai K, Ohyama S, Toyoda H, Dohzono S, Kanematsu F, Hori Y, Nakamura H : Balloon kyphoplasty versus conservative treatment for acute osteoporotic vertebral fractures with poor prognostic factors : propensity score matched analysis using data from two prospective multicenter studies. *Spine (Phila Pa 1976)* 2019 ; **44** : 110-117
- 38) Shikata J, Yamamuro T, Iida H, Shimizu K, Yoshikawa J : Surgical treatment for paraplegia resulting from vertebral fractures in senile osteoporosis. *Spine (Phila Pa 1976)* 1990 ; **15** : 485-489
- 39) Kaneda K, Asano S, Hashimoto T, Satoh S, Fujiya M : The treatment of osteoporotic-posttraumatic vertebral collapse using the Kaneda device and a bioactive ceramic vertebral prosthesis. *Spine (Phila Pa 1976)* 1992 ; **17** (8 Suppl) : S295-303
- 40) Saita K, Hoshino Y, Kikkawa I, Nakamura H : Posterior spinal shortening for paraplegia after vertebral collapse caused by osteoporosis. *Spine (Phila Pa 1976)* 2000 ; **25** : 2832-2835
- 41) Uchida K, Nakajima H, Yayama T, Miyazaki T, Hirai T, Kobayashi S, Chen K, Guerrero AR, Baba H : Vertebroplasty-augmented short-segment posterior fixation of osteoporotic vertebral collapse with neurological deficit in the thoracolumbar spine : comparisons with posterior surgery without vertebroplasty and anterior surgery. *J Neurosurg Spine* 2010 ; **13** : 612-621
- 42) Katsumi K, Hirano T, Watanabe K, Ohashi M, Yamazaki A, Ito T, Sawakami K, Sano A, Kikuchi R, Endo N : Surgical treatment for osteoporotic thoracolumbar vertebral collapse using vertebroplasty with posterior spinal fusion : a prospective multicenter study. *Int Orthop* 2016 ; **40** : 2309-2315
- 43) Barrey C, Jund J, Nosedà O, Roussouly P : Sagittal balance of the pelvis-spine complex and lumbar degenerative diseases. A comparative study about 85 cases. *Eur Spine J* 2007 ; **16** : 1459-1467
- 44) Glassman SD, Bridwell K, Dimar JR, Horton W, Berven S, Schwab F : The impact of positive sagittal balance in adult spinal deformity. *Spine (Phila Pa 1976)* 2005 ; **30** : 2024-2029
- 45) Schwab F, Blondel B, Chay E, Demakakos J, Lenke L, Tropicano P, Ames C, Smith JS, Shaffrey CI, Glassman S, Farcy JP, Lafage V : The comprehensive anatomical spinal osteotomy classification. *Neurosurgery* 2014 ; **74** : 112-120
- 46) Saleh A, Thirukumaran C, Mesfin A, Molinari RW : Complications and readmission after lumbar spine surgery in elderly patients : an analysis of 2,320 patients. *Spine J* 2017 ; **17** : 1106-1112
- 47) Yoshida G, Hasegawa T, Yamato Y, Kobayashi S, Oe S, Banno T, Mihara Y, Arima H, Ushirozako H, Yasuda T, Togawa D, Matsuyama Y : Predicting perioperative complications in adult spinal deformity surgery using a simple sliding scale. *Spine (Phila Pa 1976)* 2018 ; **43** : 562-570