

特集 脊椎外科学の進歩

## 成人脊柱変形

### —腰曲がりの病態と手術戦略—

昭和大学医学部整形外科学講座脊椎外科センター

豊根 知明 工藤 理史 松岡 彰  
丸山 博史 江守 永 山村 亮  
早川 周良 石川 紘司 白旗 敏之  
稲垣 克記

#### はじめに

2018年3月に開催された第8回日本成人脊柱変形学会のテーマは「腰曲がり・首下がりの不思議を解明する」であり、病態・診断・治療に関する最先端の研究結果が報告された。年をとると腰が曲がる、この自明の理がサイエンスとして議論されるようになったのは比較的最近のことである。腰曲がりの原因となる病態は、1) 一次性成人後弯・側弯：①変性後弯症・側弯症：椎間板変性を基盤として成人期以降に生じる、②特発性側弯症の遺残変形、③医原性 flatback：脊椎固定術後の前弯減少、2) 二次性成人後弯・側弯：骨粗鬆症性椎体骨折などに基づく、に大別され、本稿では各々の病態ならびに治療方針を詳述する。

#### 1. 成人脊柱変形（椎体骨折をとまなわない）に対する治療戦略

##### 下肢痛のメカニズム

変性側弯症（図1）における神経障害は、椎間板外側楔状化と側方すべり（図1A）が重要である。椎間板外側楔状化（lateral disc wedging）はしばしば椎間孔狭窄症を呈し、安静時痛、特に症状側を下にした側臥位や坐位で痛いという特徴がある。側方すべりの病態は回旋性すべりであり、側方すべりとCT上の回旋度は相関する<sup>1)</sup>。すべり下位椎の上関節突起により神経根は側方より圧迫され下肢症状が惹起される（図1B）。変性側弯症では、MRIで各椎間の横断像を得ることが困難であり神経根の圧

迫を正確に捉え難いため、このメカニズムを銘記したい。保存治療で十分な改善が得られない場合には手術を考慮する。固定術を行う際には、X線前後像でのL3・L4のtilt（傾斜）を5°以下に矯正（水平化）することで、長期的に側弯が改善することが示されており（図2）<sup>2)</sup>、このことは疫学的な報告でも裏付けられている<sup>3,4)</sup>。

##### 腰痛のメカニズム

##### A. 立位バランス障害とは

ヒトは足を支点としたバランスの円錐（cone of economy, 図3A）を持っており、頭部がその円錐の中にあれば立位姿勢を維持できるが、逸脱すると大きな筋力（エネルギー）を必要とし、立位保持が困難となる。腰椎が後弯化すると頭部は前方へ移動し、立位を保持するために頸椎の前弯を増大、胸椎の後弯を減弱、骨盤を後傾し股関節を伸展・膝を屈曲する。こうした代償作用により腰背筋群のコンパートメント内圧が上昇し筋阻血状態となり、筋・筋膜性腰痛と腰痛性間欠跛行を生じる<sup>5)</sup>。骨盤後傾と膝屈曲という代償に由来する両大腿前面の痛みを訴えることも多く、脊柱管狭窄症と診断されていることも少なくない。脊柱管狭窄症の腰部前屈姿勢と腰椎後弯を代償している股関節伸展・膝屈曲姿勢との違いを見極めたい。

##### B. 診断

片肘について反対側の手で洗面や炊事を行う、手を大腿の前について歩行する、といった脊柱後弯による立位バランス障害に特有の症状を聴取することが重要である。脊柱の矢状面バランスを客観的に評

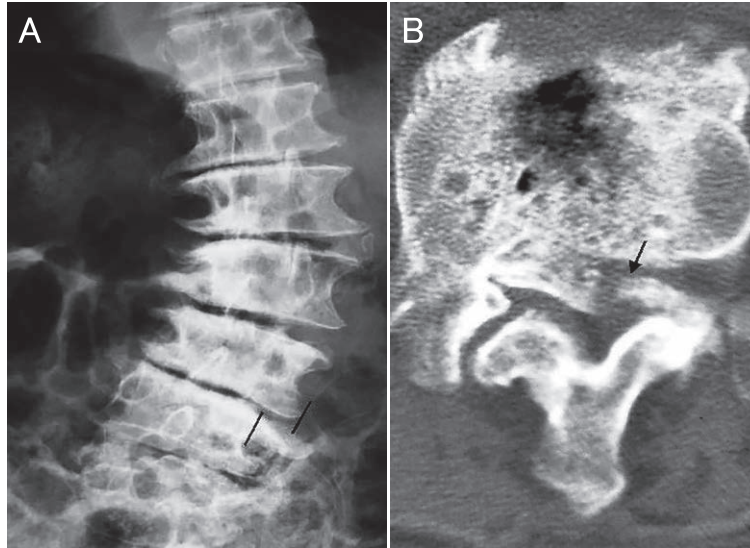


図 1 腰椎変性側弯症における側方すべりと神経障害  
 A：X線前後像：第3腰椎（L3）と第4腰椎（L4）との間で側方すべり（|）を認める。  
 B：脊髓腔造影CT像：側方すべり部（L3/4）でのCTでは、L4の左上関節突起が脊柱管内に陥入（↓）し、硬膜管を圧排している。

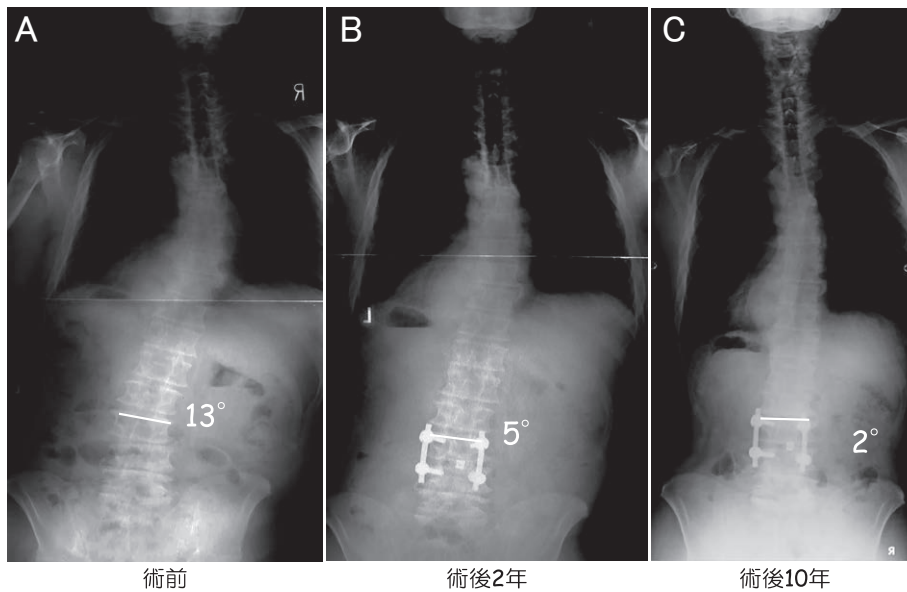


図 2 変性側弯の進行とL3の傾斜  
 L3/4での脊柱管狭窄症例。X線前後像でのL3tilt（傾斜）は、術前13°から固定術により5°に改善，さらに術後10年で2°に改善し，体幹のバランス（骨盤に対する頭部の位置）は良好となった。

価する際に使用されるのがX線上のパラメータである。

PI (Pelvic Incidence,  $PI=PT$  (Pelvic Tilt) + SS

(Sacral Slope), 図3B, C)はヒトそれぞれ固有かつ不変であり，腰曲がりの方の本来の腰椎と骨盤の形態を教えてくれる指標である。SVA (Sagittal Vertical

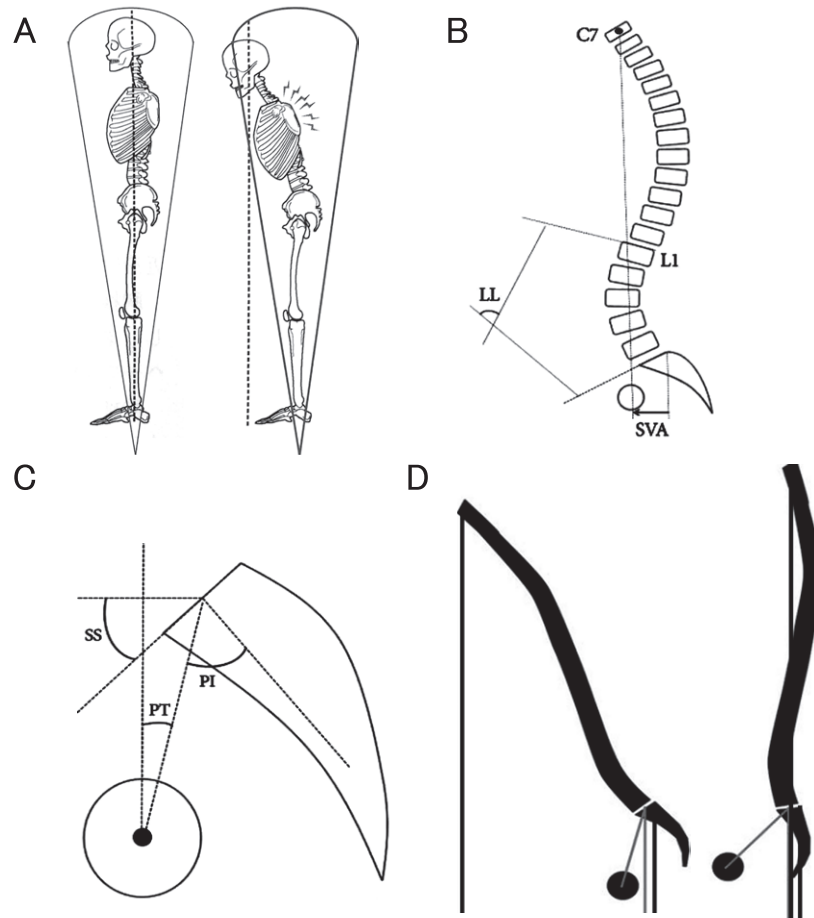


図 3 立位バランス障害

- A : 足を支点としたバランスの円錐 (cone of economy)  
 B, C : 脊柱 (B) 骨盤 (C) の立位 X 線パラメータ  
 D : 骨盤後傾 (PT) と SVA

Axis : C7 椎体中央を通る垂線と仙骨後上縁との距離、4 cm 以下が正常、9.5 cm 以上が逸脱 (++)、図 3C) は大きければ「とてもひどい」、小さければ「軽い」と判断してはいけない。X 線撮影時に頑張って (代償を働かせて) 立つと、SVA が小さくなる (図 3D 右)。それを見極めるポイントが PT (Pelvic Tilt : 20° 以下が正常、30° 以上が逸脱 (++)、図 3C) であり、PT が小さい場合には代償が少ない (頑張っていない、図 3D 左)、PT が大きい場合には代償が大きい (頑張って立っている、図 3D 右)。SVA に惑わされないこと、代償の指標である PT をしっかり見ることがポイントとなる。稀に骨盤後傾なく、胸椎後弯を減弱・前弯化して代償している症例が存在するが、術後に非固定胸椎の後弯が増大し (reciprocal change)、固定頭側の隣接椎間障害 (PJK : Proximal

Junctional Kyphosis) や椎体骨折をきたすため、固定範囲に留意する必要がある。

### C. 治療

薬物治療・理学療法・物理療法など各種保存治療が行われる。進行した変形で、立位でのバランスが不良であり、前後屈・左右屈での矯正が不十分な場合には、手術を考慮する。外科的治療は変形矯正と固定からなる。矯正に関しては、比較的 flexible な後弯・後側弯変形に対する椎体間矯正固定術、特に側方進入椎体間固定術 (LIF : Lateral Lumbar Interbody Fusion) が低侵襲かつ矯正力が大きいことから、成人脊柱変形に対して多く用いられている (図 4, 5, 6)。一方、固定術後または rigid な変形で 30° 以上の矯正が必要な症例に対する椎体の楔状骨切り術 (PSO : Pedicle Subtraction Osteotomy、図 7, 8, 9)

も有用な手技である。左右非対称に骨切りすることで後側弯を同時に矯正することが可能であり、多数回手術症例などにも有用な術式である（図8）<sup>6)</sup>。

後弯の目標値を算出する計算式がFormulaと呼ばれており、Rose・Bridewelらは2009年に $LL > PI + TK - 45$ を<sup>7)</sup>、2012年のSRS-Schwab成人脊柱変

形分類においては、 $LL > PI - 10$ が良好なバランスの指標として示された<sup>8)</sup>。日本人を対象としたデータから導かれたformulaもあり、患者固有の至適な腰椎前弯角を教示する。これらの公式を用いることで、術前のプランニングが容易となり、また術後成績の向上が期待できる。

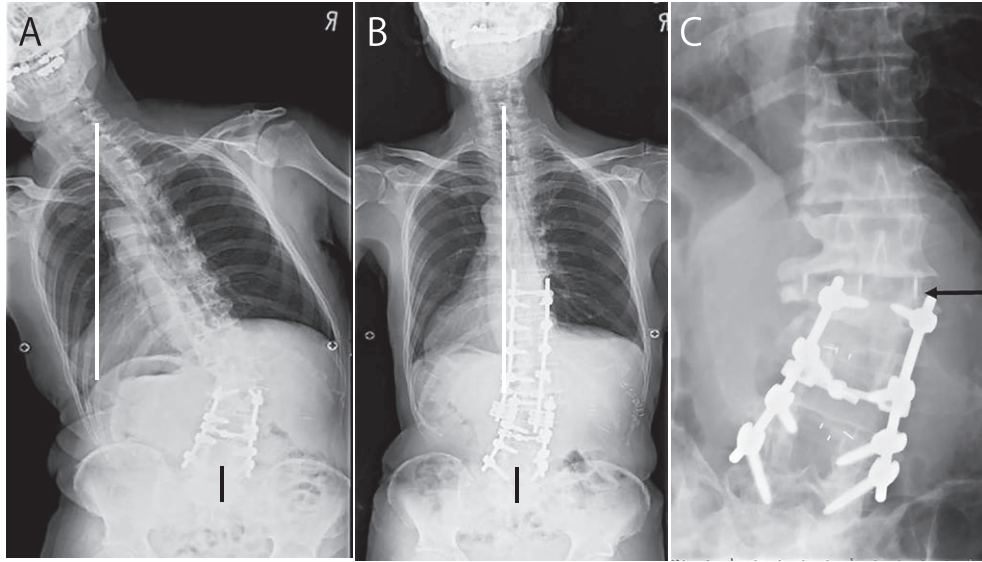


図4 L2-5固定術後の側弯変形

A, B: 術前後X線全脊椎前後像

C: 術中X線腰椎前後像。まず側方からL1/2椎間にcageを挿入し、体幹の傾斜は改善した。

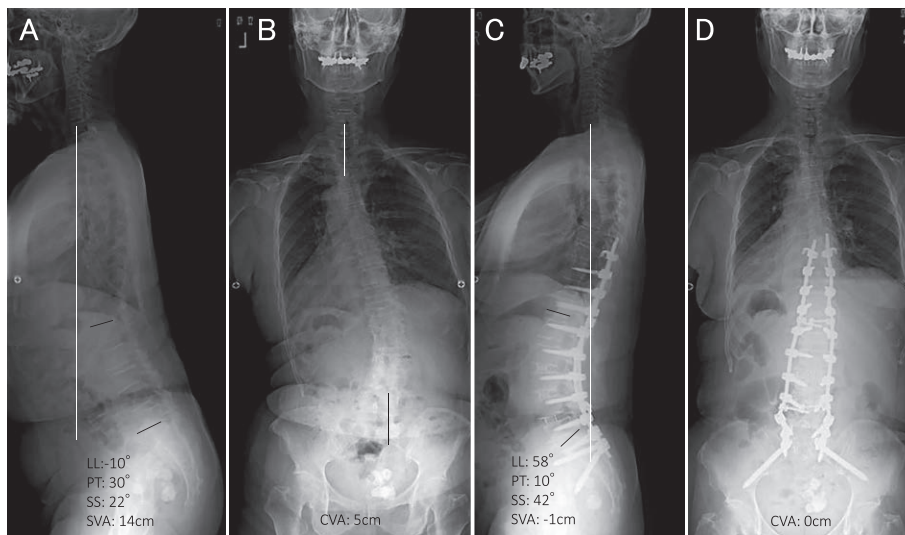


図5 腰椎変性後側弯症

後側弯症例。体幹は左前方へ偏位（前方へ14cm、左へ5cm）しており、腰痛とADL障害が強く来院。L2/3～4/5の3椎間に側方からの椎体間固定を、後方からscrewによる固定を行い、著明に改善した。

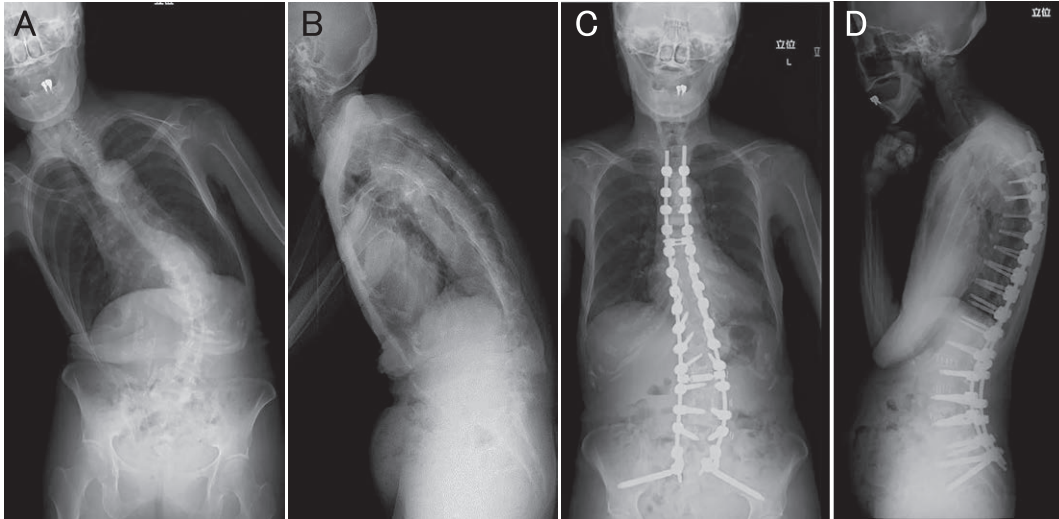


図 6 腰椎変性後側弯症  
後側弯症。体幹は大きく左前方に偏位し、ADLはほぼ介助であった。神経内科疾患の合併もあり、腰椎の椎体間固定と長範囲の後方固定により独歩可能となった。

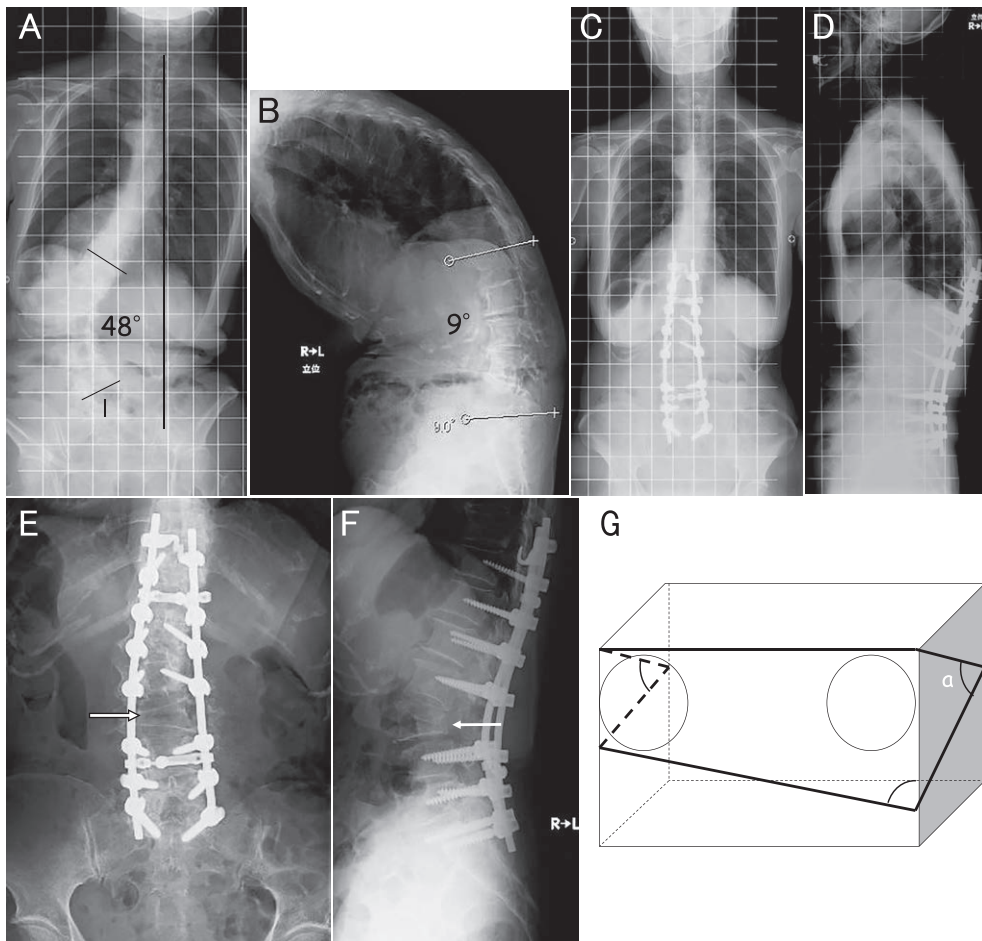


図 7 腰椎変性後側弯症  
A-D：体幹は大きく右前方に偏位し、ADLはほぼ全介助・独歩不能であった。第3腰椎に Asymmetrical Pedicle Subtraction Osteotomy (PSO) を施行し、体幹の右前方への偏位ならびに ADLは健常化した。  
E, F：腰椎 X 線前後像 (E) では L3 椎体に左右非対称な、側面像 (F) では椎体後方の楔状骨切り線を認める。  
G：本術式のシェーマ

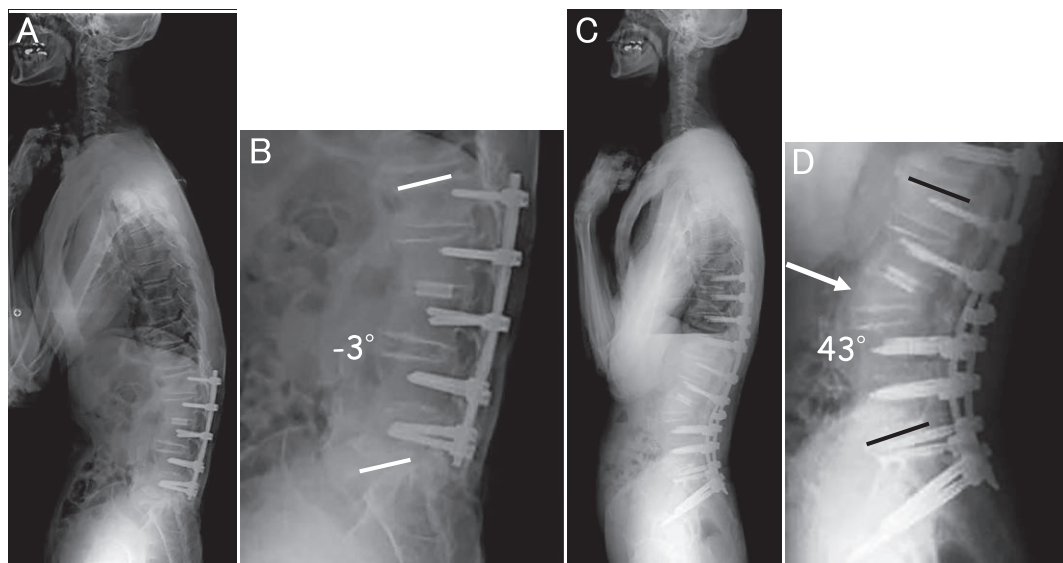


図 8 腰椎固定術後後弯症 (flat back)

前医でL1～L5（全腰椎）の固定術を受けたが起立・歩行障害，腰痛のため来院。  
 A, B: L1～L5に後方固定が行われているが，腰椎は後弯3°となっている。  
 C, D: L3に椎体骨切り（PSO）を施行，腰椎前弯は43°に改善し，症状は消失した。

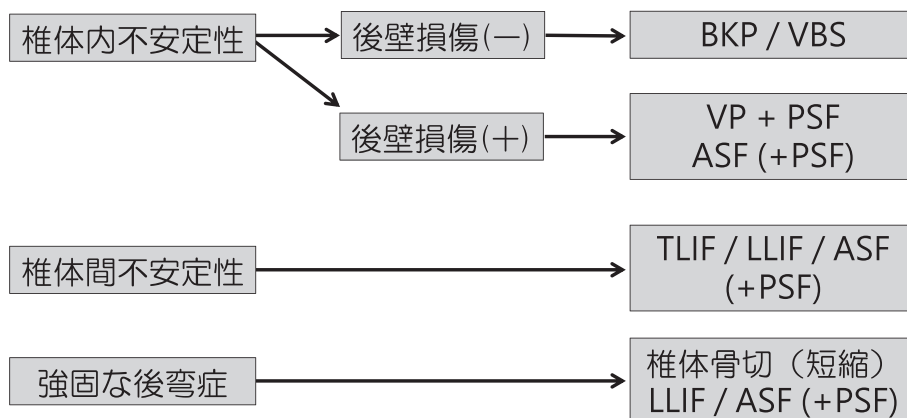


図 9 骨粗鬆症性椎体骨折の病態と術式選択のシエマ

BKP: Balloon Kyphoplasty, VBS: Vertebral Body Stent, VP: Vertebro-Plasty (椎体形成術), PSF: Posterior Spinal Fixation (後方固定術), ASF: Anterior Spinal Fixation (前方固定術), TLIF: Trans-articular Lumbar Interbody Fusion (経椎間関節椎体間固定術), LLIF: Lateral Lumbar Interbody Fusion (側方進入椎体間固定術)

固定範囲に関しては，頭側がT3とT10の2群では，T3群で手術期合併症，偽関節，再手術の頻度が高く，T10群では前述のPJK発生の頻度が高いとされる<sup>9)</sup>。尾側に関しては，S2AI (Ala-Iliac) screwを固定 anchor とする手技の確立を受け，固定尾側端でのインプラント関連の合併症は著減したが，靴下をはく・足の爪を切るといったADLの制限もあ

り，今一度適応を明確にしていく必要がある。最後に興味深い論文を示したい。米国での多施設研究によれば，248名の調査において，画像所見・術後合併症は術後満足度に関連せず，関連するのはQOL・期待度・外科医との関係であった<sup>10)</sup>。成人脊柱変形の手術に限らず，患者・家族との良好な関係構築に尽力したい。

矢状面・冠状面のバランスが不良な「腰曲がり」の病態が解明されてきた。脊椎・骨盤の parameter の解析により、症例毎に適切な矢状面バランスの獲得が可能になった。固定範囲と代償からの戻り・固定隣接椎間障害など未解決な問題も多いが、治療戦略は明確になりつつある。

## 2. 骨粗鬆症性椎体骨折後後弯症 (Osteoporotic Post-traumatic Kyphosis : OPK) に対する治療戦略

本邦では高齢者人口比率が 25% を超える超高齢化社会が到来しており、骨粗鬆症患者も増加の一途をたどっている。骨粗鬆症性椎体骨折はわれわれ整形外科医が日常的に遭遇する疾患ではあるが、偽関節化や脊柱後弯化によってさまざまな問題を引き起こし治療に難渋することも少なくない。骨粗鬆症性椎体骨折に対してはまずは保存的治療が選択されるが、13% が偽関節化し 3% に神経障害がおけると報告されている<sup>11)</sup>。さらに、後弯変形に伴う腰背部痛、立位歩行障害や胃食道逆流症 (GERD) などが、高齢者の QOL を著しく低下させる要因となる。

この骨粗鬆症性椎体骨折後後弯症には 3 つの病態が存在する。1) 骨折椎体が骨癒合せずに偽関節となったもの、2) 椎体骨折は楔状に変形癒合するも隣接椎間に不安定性のあるもの、3) 変形癒合し rigid な局所後弯を呈するもの、である。いずれも立位では局所後弯を認めるが、前 2 者では仰臥位では局所後弯が消失・減弱するが、第 3 の局所後弯は不変である。

骨粗鬆症性椎体骨折後後弯症に対する手術適応は、代表的な 2 つの症状、腰背部痛が残存する場合と、神経症状 (下肢の痛み・しびれ・麻痺や陰部のしびれ・排尿障害など) を呈する場合である。それぞれに対して、固定 (後方からの脊椎インストゥルメンテーション) に併用してハイドロキシアパタイトなどを用いた椎体形成 (損傷椎体内への充填) を行うか?、神経除圧のための椎弓切除術を行うか?、さらに後弯の矯正を行うか?、などが議論されてきた。著者らは不安定性の局在に応じた手術法の選択を提唱してきた (図 9)<sup>12)</sup>。椎体内に不安定性があるか否か、あれば偽関節であり、なければ変形癒合であり、その上下椎間に不安定性があるか否か、により治療すべき病態は異なる。本稿においては、不安定性の局在に基づいた手術戦略を示す。

1) 椎体内不安定性に対する手術的治療 (椎体後壁損傷がない場合)

十分な保存治療が行われないと、ときとして椎体の圧潰が進行し、遷延治癒や偽関節に至る。新鮮骨折の診断および、遷延治癒・偽関節を含む椎体内不安定性の診断には単純 X 線側面仰臥位・立位像が有用である<sup>13)</sup>。通常の前屈像では、痛みのために十分な可動性が得られず評価が一定しない。MRI 上は偽関節では T2 強調像で裂隙に液体貯留像が見られる。通常は CT 上、軽度の椎体後壁損傷をとともなう。骨癒合が遷延し疼痛が持続する場合には、経皮的に挿入したバルーンを用いて圧潰した椎体高を回復させた後に骨セメントを注入する Balloon Kyphoplasty (BKP) が適応となる。注入時あるいは経過中にセメントが脊柱管内に逸脱して麻痺を発症した場合には、緊急に脊柱管の除圧などを図らねばならない。そのため全身麻酔下に直ちに脊椎開創手術を行える施設で、それを行える医師が行う必要がある。一方で、術後に充填した骨セメントが椎体の外に漏出し、しばしば矯正損失する。このリスクを軽減するため、同様の手技でバルーンを拡張したところに椎体骨折専用のステントを挿入する手技が確立されてきた (図 10)<sup>14)</sup>。本邦においても約 10 施設での治療 (筆者も参加) を終えており、導入が期待されている。

2) 椎体内不安定性に対する手術的治療 (椎体後壁損傷がある場合)

椎体内不安定性 (偽関節) があり、椎体後壁損傷がある場合には、前述のごとく骨セメントが脊柱管に流出するリスクの点から BKP の適応がない。しかしながらハイドロキシアパタイトを用いた椎体形成術に関してはそうしたリスクが低いことから、後方からのインストゥルメンテーションを併用した固定術が適応となる。その際に、低侵襲手術として経皮的椎弓根スクリュー固定が近年は普及してきているが、従来の固定術に比し矯正損失が大きいことから、その選択には留意したい<sup>15)</sup>。

3) 椎体間不安定性に対する手術的治療

中下位腰椎の椎体骨折においては偽関節に比し楔状変形治癒が多く、上下椎間に不安定性を伴い、しばしば強い腰下肢痛をきたす。下肢症状の原因は脊柱管内のみならず椎間孔狭窄である場合も多い。このような症例に対しては、後方からの経椎間孔的腰

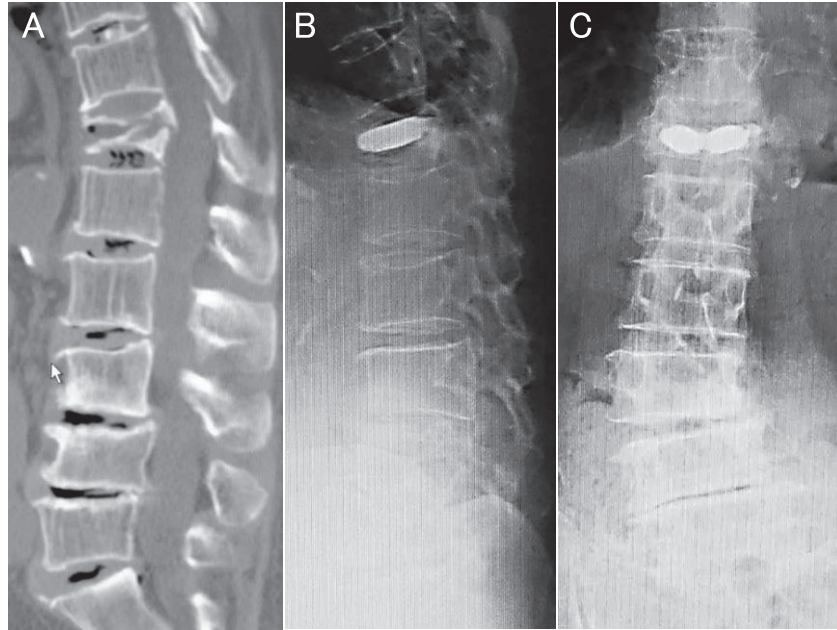


図 10 第12胸椎椎体骨折後偽関節

A: CTでは第12胸椎に椎体骨折(脊柱管内に骨片があり破裂骨折)を認める。  
B, C: VBSを施行し、背部痛は消失した。

椎体間固定術(TLIF)や側方進入椎体間固定(LLIF)などを用いて、前方支柱再建を行うことで良好な成績が得られる。前述の側方進入用ケージにより、椎体間不安定性にもとづく局所後弯の矯正、ケージのsubsidenceの予防、ならびに低侵襲化が図られ、手術治療の成績の向上が期待される。

椎体の圧潰が高度な場合には前方からの再建手術が必要であり、チタン・セラミックなどによる椎体置換が行われたが、大血管と腸腰筋の間から挿入する椎体置換用ケージが椎体の面積に比し小さく、術後に椎体内に沈下・陥入する症例が散見され普及しなかった。近年、側方から運動神経モニタリング下に腸腰筋腹を鈍的に縦切して進入し椎体置換する手技(LIF: Lateral Interbody Fusion)が確立され、椎体の横径と同じ長さのケージを安全に挿入可能となった(図11)。また、こうした胸腰椎での前後合併手術は、従来前方→後方の順で行われてきたが、教室の工藤らの最近の研究によれば後方固定後に前方から椎体置換した群において矯正損失が小さいことが示されている。

#### 4) 強固な後弯症に対する手術的治療

この病態は椎体内・椎体間のいずれにも不安定性

が認められない、椎体楔状変形による局所後弯である。重心は大きく前方へ移動し、代償性に骨盤が後傾し、歩行能力が低下するとともに転倒しやすくなる。‘肘をついて洗面・炊事’が重要な臨床症状である。手術はまず前方から圧潰した椎体を切除し再建するが、しばしば椎体の側方には大きな皮質骨が立ちはだかり、これを切除すると椎体は広範囲に瘢痕組織により置換されている。これらを切除し、必要があれば脊柱管を除圧する。このほか、後方からの骨切り・短縮術も選択肢のひとつである。症例(図12)では、T12椎体の後弯位での圧壊、L1椎体の圧迫骨折を認め、この2椎での局所後弯が著明(60°)である。こうした症例ではT12・L1の2椎体を切除・人工椎体での置換が選択肢であるが、屈曲・短縮して後弯化した部位を伸展して矯正するのは困難であり、可能であっても術後に隣接椎体骨折や隣接椎間障害の発生リスクが高い。本例ではL2椎体を楔状に骨切り(PSO)することで、T11-L2での局所後弯を60°から10°に矯正し、立位バランスの改善を得た。症例(図13)では胸腰椎の6椎に骨折を認め、立位で体幹は地面と平行であった。椎体の骨切り・椎間関節切除と椎体間固定をそれぞれ



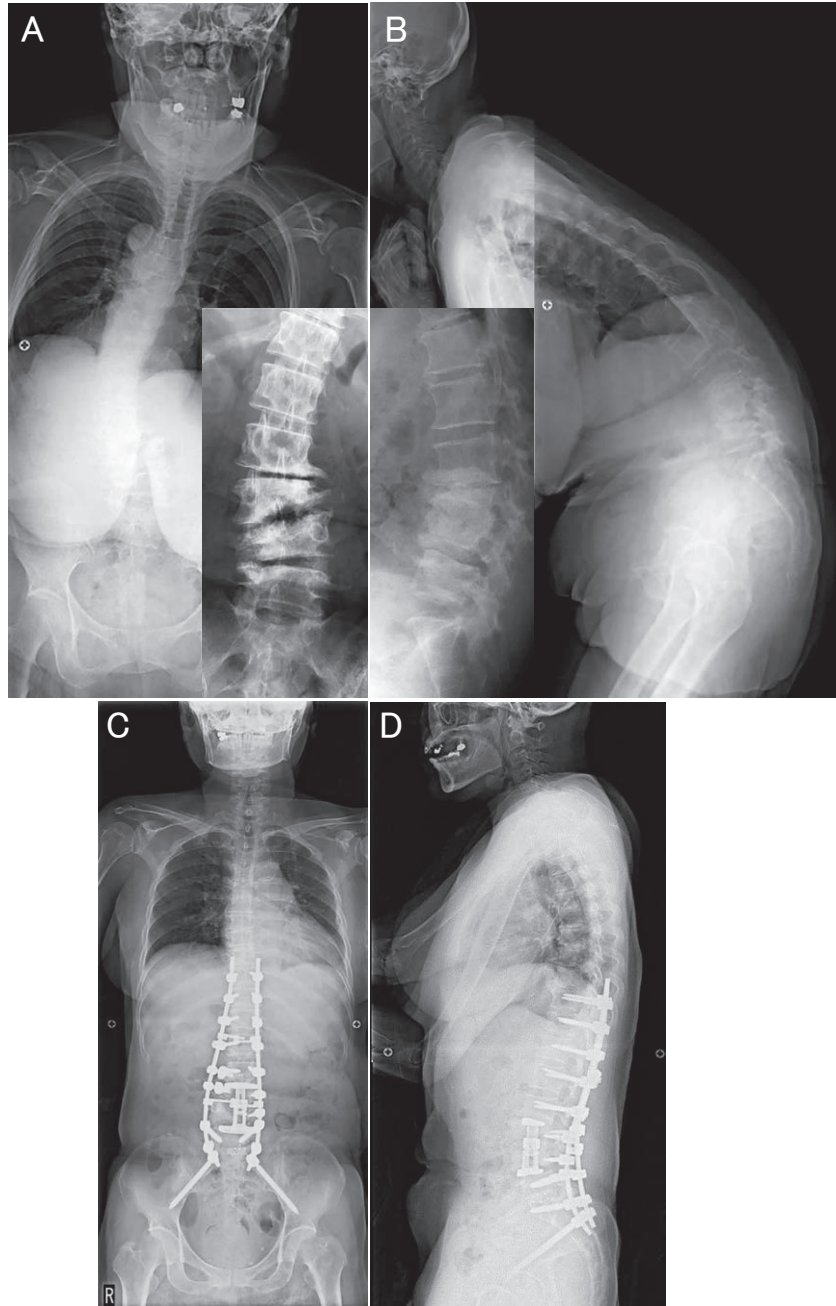


図 11 第3・4腰椎椎体骨折，腰椎後側弯症

A, B: 体幹は右前方に偏位している。

C, D: 側方進入により圧壊したL3・L4椎体を切除し cage により置換，後方固定を施行，ADL は著明に改善した。

行うことで支障なく歩けるようになり満足度は高い。

#### 5) 術後合併症とその予防

骨粗鬆症性椎体骨折に対する外科的治療に特異的な術後合併症は，インプラントの弛みと術後椎体骨折である。インプラントの弛みを予防するための術

中の工夫としては，椎弓根スクリュー挿入前に椎体内にハイドロキシアパタイトを充填，高分子ポリエチレンテープによる椎弓下テーピング，フックの併用などがある。著者らは，腰椎または胸腰椎のインストゥルメンテーションを受けた閉経後の女性が術

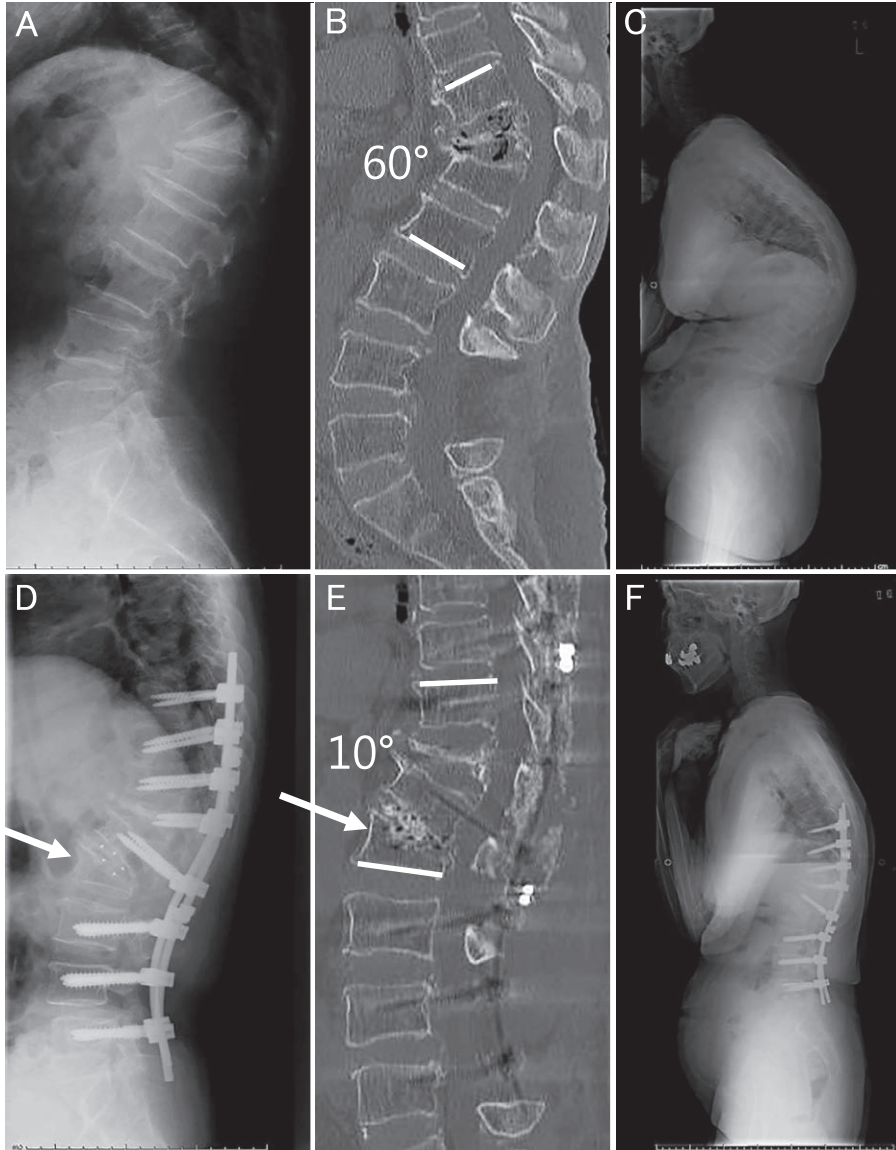


図 12 第 12 胸椎椎体圧壊・第 1 腰椎椎体骨折，胸腰椎移行部局所後弯  
 A, B, C：胸腰椎移行部（T11-L2）の局所後弯は 60°，中下位腰椎椎間板の変性は軽度であり，同部位で代償しているが，強い腰背部痛を訴えている。  
 D, E, F：第 2 腰椎の頭側で椎体の楔状骨切り（PSO）を施行，局所後弯は 10° に改善し，症状はほぼ消失，歩行に支障はない。

後 2 年以内に椎体骨折を発生しやすいことを報告した<sup>16)</sup>。隣接椎骨折は術後 8 か月以内に，遠隔椎骨折は術後 8～22 か月で発生し，インストゥルメンテーションレベルからの距離が遠ければ遠いほど遅く発生する傾向を認めた。骨粗鬆症性椎体骨折があれば薬物治療の適応であり，手術を予定する時点で適切な薬物治療を開始・追加し合併症の予防に努める。

## 結 語

「腰曲がり」は 2 本脚歩行するヒトが，長寿を得たことにより必ず経験する病態であると言っても過言ではない。一方で，この病態の理解・診断と治療は，この 10 年で大きく進歩した。あらゆる脊椎外科の技術を駆使することで，高い QOL を再獲得し維持することが可能となった。予防・早い段階での

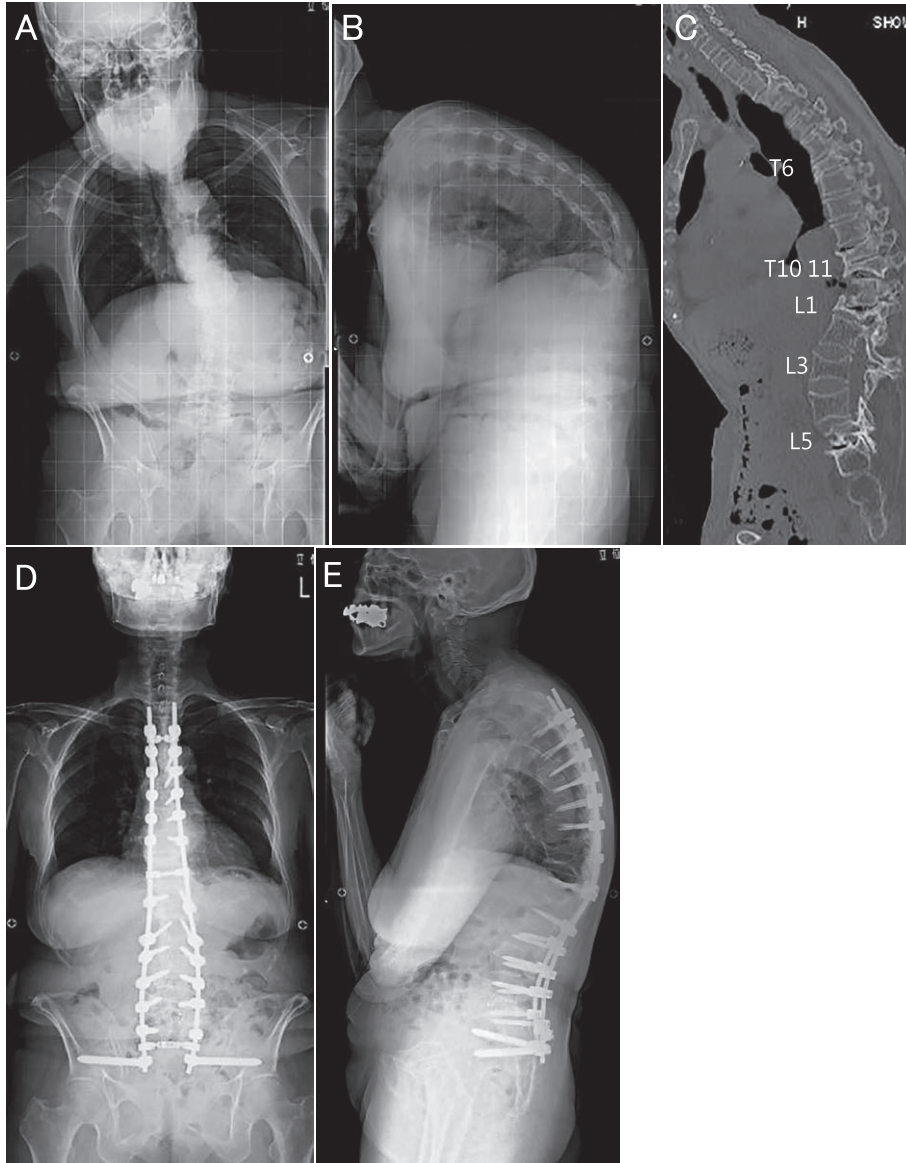


図 13 腰を直角に曲げた姿勢で来院。何とかカートで自宅内は移動，外出は困難。第6・10・11胸椎，第1・3・5腰椎に椎体骨折を認め，第1腰椎は圧壊。これに対して，第10・11胸椎にPonte（椎間関節）骨切り，第1腰椎にPSO（椎体骨切り），第5腰椎／仙椎にTLIF（椎体間固定術）を施行。上位胸椎から骨盤までの固定を要したが，劇的に改善し歩行・日常生活に支障なく可能となり満足度は高い。合併症なく術後3年を経過している。

介入が今後の課題である。

#### 文 献

- 1) Toyone T, Tanaka T, Kato D, *et al.* Anatomic changes in lateral spondylolisthesis associated with adult lumbar scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2005;30:E671-E675.
- 2) Toyone T, Ozawa T, Inada K, *et al.* Horizontal fixation of the L3 vertebra with a tilt of less than 5 degrees can prevent the long-term curve progression of unfused adult scoliosis: 10-year follow-up study of concave PLIF at the wedged disc below the caudal end vertebra. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2015;40:312-315.
- 3) Jimbo S, Kobayashi T, Aono K, *et al.* Epidemiology of degenerative lumbar scoliosis: a community-based cohort study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2012;37:1763-1770.
- 4) Seo JY, Ha KY, Hwang TH, *et al.* Risk of pro-

- gression of degenerative lumbar scoliosis. *J Neurosurg Spine*. 2011;15:558-566.
- 5) Konno S, Kikuchi S, Nagaosa Y. The relationship between intramuscular pressure of the paraspinal muscles and low back pain. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1994;19:2186-2189.
  - 6) Toyone T, Shioi R, Ozawa T, *et al.* Asymmetrical pedicle subtraction osteotomy for rigid degenerative lumbar kyphoscoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2012;7:1847-1852.
  - 7) Rose PS, Bridwell KH, Lenke LG, *et al.* Role of pelvic incidence, thoracic kyphosis, and patient factors on sagittal plane correction following pedicle subtraction osteotomy. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2009;34:785-791.
  - 8) Schwab F, Ungar B, Blondel B, *et al.* Scoliosis Research Society-Schwab adult spinal deformity classification: a validation study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2012;37:1077-1082.
  - 9) Lafage V, Ames C, Schwab F, *et al.* Changes in thoracic kyphosis negatively impact sagittal alignment after lumbar pedicle subtraction osteotomy: a comprehensive radiographic analysis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2012;37:E180-E187.
  - 10) Hamilton DK, Kong C, Hiratzka J, *et al.* Patient satisfaction after adult spinal deformity surgery does not strongly correlate with health-related quality of life scores, radiographic parameters, or occurrence of Complications. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2017;42:764-769.
  - 11) 種市 洋, 金田清志, 小熊忠教, ほか. 骨粗鬆症性椎体圧潰(偽関節)発生のリスクファクター解析. 臨整外. 2002;37:437-442.
  - 12) 豊根知明, 男澤朝行, 白旗敏之, ほか. 骨粗鬆症性椎体骨折後後弯症(OPK)の病態と治療戦略. 日整会誌. 2016;90:600-604.
  - 13) Toyone T, Ozawa T, Tanaka T, *et al.* Changes in vertebral wedging rate between supine and standing position and its association with back pain: a prospective study in patients with osteoporotic vertebral compression fractures. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006;31:2963-2966.
  - 14) Rotter R, Martin H, Fuerderer S, *et al.* Vertebral body stenting: a new method for vertebral augmentation versus kyphoplasty. *Eur Spine J*. 2010;19:916-923.
  - 15) 工藤理史, 豊根知明, 松岡 彰, ほか. 骨粗鬆症性椎体偽関節に対する後方固定併用椎体形成術の臨床成績 従来法と経皮的椎弓根スクリュー使用との比較. *J Spine Res*. 2018;9:1472-1476.
  - 16) Toyone T, Ozawa T, Kamikawa K, *et al.* Subsequent vertebral fractures following spinal fusion surgery for degenerative lumbar disease: a mean 10-year follow-up. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2010;35:1915-1918.