

Fig. 3. Schematic drawings and radiographs illustrating the assessment of the shape of inferior facets proposed by Tsunoda. X-type: An outer border of an inferior facet is located outside of a vertical line passing the medial edge of a pedicle. M-type: An outer border of an inferior facet is located on a vertical line passing the medial edge of a pedicle. W-type: An outer border of an inferior facet is located inside of a vertical line passing the medial edge of a pedicle. M-type and W-type were defined as the narrow and steep facet joints.

seous fusion with no opening in the reconstructed area; Grade 2, clear zone of  $\leq 1$  mm without increase in flexion views; Grade 3, clear zone of  $> 1$  mm, or clear zone with increase in flexion views (Fig. 7). Grades 1 and 2 were defined as union of the spinous process.

Statistical analysis was performed using the paired t-test and chi-square test (SAS version 9.1), with a probability value of 0.05 as the significance level. Related factors for "not fully satisfied" (patient satisfaction) were analyzed using logistic-regression analysis. Univariate and multivariate logistic-regression models were used to estimate ORs and the associated 95% CIs. For "not fully satisfied," the following variables were examined: age ( $< 75$  years/ $\geq 75$  years), sex, number of levels decompressed ( $< 3$  levels/ $\geq 3$  levels), presence or absence of complete block on myelography, presence or absence of preoperative degenerative spondylolisthesis and/or degenerative lumbar scoliosis, preoperative total JOA score ( $< 10$  points/ $\geq 10$  points), presence or absence of preoperative leg numbness at rest, presence or absence of dural tears, presence or absence of postoperative significant progression of slippage, and presence or absence of nonunion of reattached spinous process.

### Results

The age at surgery of the 89 patients (56 men, 33 women) was 24–86 years (mean  $\pm$  SD,  $66 \pm 11$ ). Types of LSS were as follows: degenerative spondylolisthesis (Meyerding Grade I) in 38 patients, degenerative spondylosis in 23, degenerative scoliosis in 9, combined type with disc herniation in 16, achondroplasia in 2, and hyperostosis in 1. All the patients underwent preoperative myelography; 56 (63%) had severe central stenosis with a complete block on myelography, 66 patients (74%) had

cauda equine symptoms and the others had unilateral radicular symptoms. Presence of resting numbness suggesting progressive cauda equina syndrome was observed in 40 patients (45%). Decompression was performed at a single level in 50 patients, 2 levels in 30, 3 levels in 5, and 4 levels in 4. There was no case of intraoperative conversion from the MFRS to laminectomy. The distribution of the types of inferior facet shape was as follows: X-type in 54 segments, M-type in 45 segments, and W-type in 42 segments. Thus, the total percentage of M- and W-type, indicating narrow and steep joints, was 62%.

Neurogenic intermittent claudication improved in all cases after surgery. The overall mean pre- and postoperative JOA scores ( $\pm$  SD) were  $13.3 \pm 4.1$  and  $22.9 \pm 4.1$ , respectively. In self-assessment of subjective symptoms in the JOA, the mean preoperative and postoperative scores, respectively, were as follows: low-back pain,  $1.4 \pm 0.6$  and  $2.3 \pm 0.7$ ; leg pain and/or numbness,  $1.0 \pm 0.5$  and  $2.0 \pm 0.8$ ; and walking ability,  $0.7 \pm 0.8$  and  $2.4 \pm 0.8$ . Scores of each item improved in all cases and the change in scores was statistically significant for each item (Table 2). The patient assessment of satisfaction for the treatment was "satisfied" in 74 cases, "slightly satisfied" in 12, "slightly dissatisfied" in 2, "dissatisfied" in 1. Thus 97% of patients (86 of 89) reported that they were either "satisfied" or "slightly satisfied," and 17% of patients (15 of 89) were not fully satisfied.

As for complications, dural tears occurred in 4 patients (4%); the tears were repaired and needed no additional treatment. Neither nerve root injury nor deterioration of neurological symptoms was observed. In 3 cases in which multilevel decompression was performed, intraoperative insufficiency fracture occurred at the cranial portion of the spinous processes. The spinous processes were successfully reconstructed as follows: we made 2

Modified fenestration with restorative spinoplasty

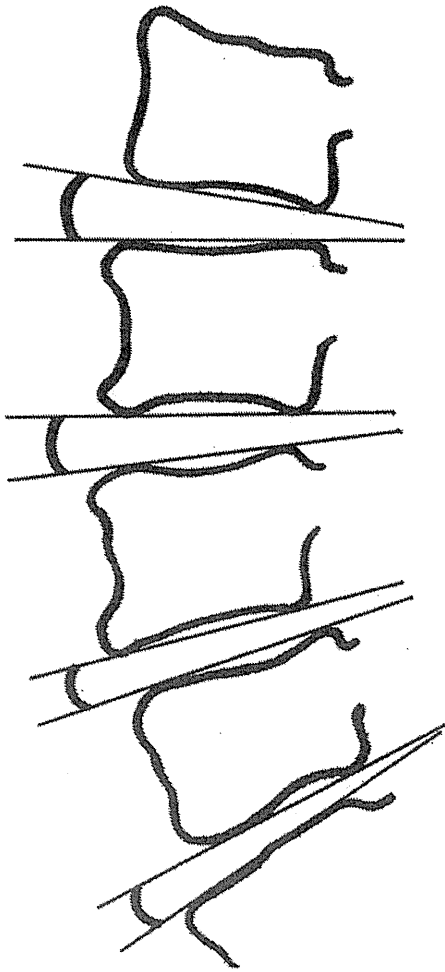


FIG. 4. Schematic illustration of radiographic measurements for segmental sagittal alignment. Segmental sagittal alignment was defined as the angle between the inferior margin of the superior vertebra and the superior margin of the inferior vertebra on neutral position in a lateral radiograph. This angle was measured at each of the levels decompressed.

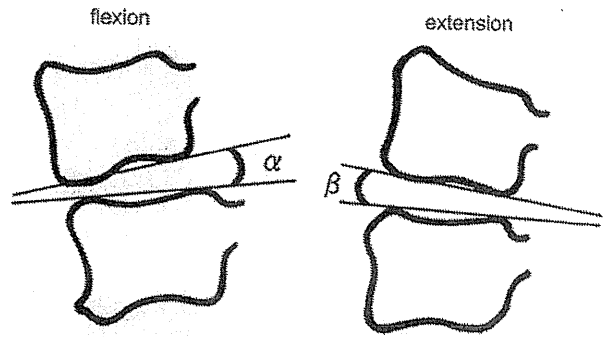


FIG. 5. Schematic illustration of the radiographic measurements for intervertebral range of motion. Intervertebral range of motion was determined on dynamic view as the following:  $\alpha - (-\beta)$ .

small holes in the residual lamina, passed a length of nonabsorbable suture material through the holes, and tied it to the supraspinous ligaments. There was one superficial infection, but no deep infection. One patient had pseudomembranous enteritis, which was conservatively treated. During follow-up, lumbar disc herniation at the surgically treated level and compression fracture occurred in one patient each, and both were cured with conservative therapy. During the follow-up period of this study, no patients underwent repeated spinal surgery because of progression of instability, restenosis, adjacent segment degeneration, or other spinal disease.

The mean segmental sagittal alignment of a total of 141 segments was  $3.9 \pm 3.6^\circ$  before surgery and  $3.7 \pm 3.5^\circ$  at 2 years' follow up ( $p < 0.0001$ ). The mean intervertebral range of motion decreased slightly from  $8.1 \pm 4.2^\circ$  to  $7.6 \pm 4.1^\circ$  ( $p < 0.0001$ ). The percentage of slippage increased slightly from  $4.4 \pm 6.7\%$  to  $5.8 \pm 7\%$  ( $p < 0.0001$ ); in 45 segments with preoperative degenerative spondylolisthesis, it increased from  $13.0 \pm 5.5\%$  to  $15.4 \pm 5.9\%$  ( $p < 0.0001$ ). Of the total of 141 segments, 26 (18%) showed radiological progression of slippage, but did not progress

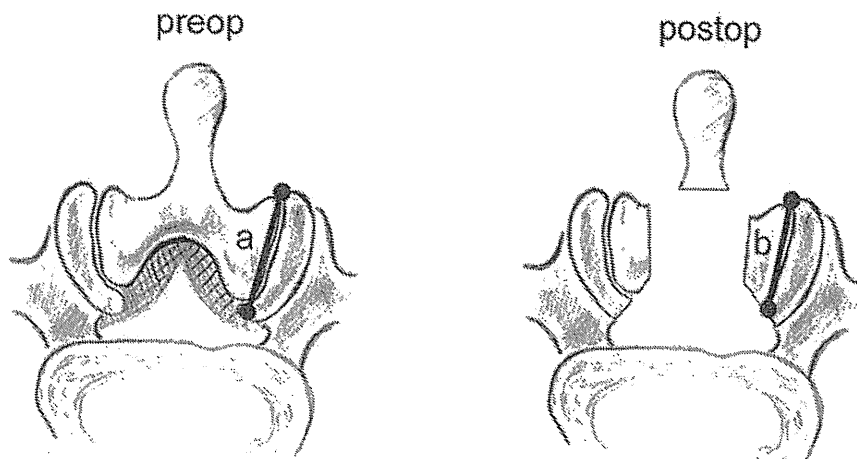


FIG. 6. Illustrations of the radiographic measurements of facet preservation. The residual ratio of the lateral part of a facet joint on CT scans was determined as the following:  $b/a * 100\%$

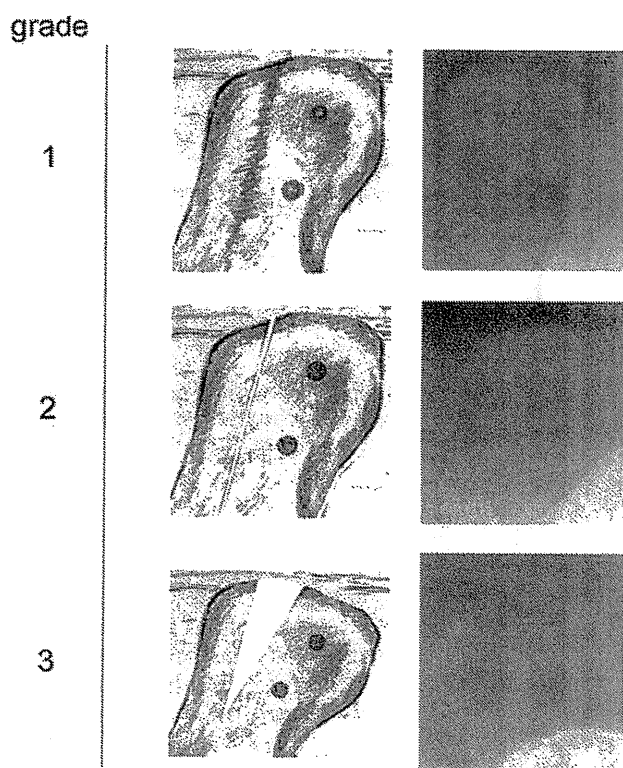


Fig. 7. Evaluation of the union of the reconstructed spinous process on lateral radiographs obtained 2 years after surgery. Grade 1: osseous fusion with no clear zone in the reconstructed area. Grade 2: clear zone opening  $\leq 1$  mm without increase in flexion views. Grade 3: clear zone  $> 1$  mm, or with increase in flexion views. Grades 1 and 2 were judged as union.

to Grade II and did not need stabilization. Of the 45 segments with preoperative degenerative spondylolisthesis, 8 segments (18%) showed postoperative progression. Of the 96 segments without degenerative spondylolisthesis, 18 (19%) had postoperative progression. There was no statistically significant difference between the 2 groups. On CT, the lateral parts of facet joints were well preserved, and the mean residual ratio was  $80 \pm 16\%$ . Facetectomy of  $> 50\%$  was observed only in 6 (4%) of the 141 segments. Union of the reconstructed spinous process was

assessed as Grade 1 in 90 segments, Grade 2 in 34, and Grade 3 in 17, and there was no obvious dislodgement requiring repeated surgery. The union rate (percentage assessed at Grades 1 and 2) was 88%. No fracture of the cranial portion of the spinous process occurred, but in 6 of the 17 with Grade 3 union, bone absorption of the caudal fragment was seen.

In the 45 segments with preoperative degenerative spondylolisthesis, the union rate was 87% (39 spinous processes), and in the 96 segments without degenerative spondylolisthesis, the union rate was 89% (85 spinous processes). No statistically significant difference was found between the 2 groups ( $p = 0.7499$ ). In the 26 segments with radiological progression of slippage, the union rate was 77% (20 spinous processes), and in the 115 segments without radiological progression of slippage, the union rate was 90% (104 spinous processes). There were no significant differences between the groups, and nonunion of the spinous process was not a statistically significant cause of progression of slippage ( $p = 0.0884$ ).

Related factors for satisfaction assessment of "not fully satisfied" were analyzed using logistic-regression analysis. No patient in the "not fully satisfied" group had both a dural tear and a nonunion of a reattached spinous process; therefore, an OR could not be calculated, and the final multivariate models excluded these 2 variables. The results of logistic-regression models are shown in Table 3. Preoperative leg numbness at rest was the only significant factor in the univariate model (OR 4.27, 95% CI 1.24–14.69) and in the multivariate models (OR 5.43, 95% CI 1.28–23.08).

## Discussion

In the present report, we showed that LSS patients treated with MFRS had good clinical outcomes despite the high rate of a complete block on myelograms and cauda equina symptoms. However, 15 patients (17%) were "not fully satisfied" with their treatment, and the only factor found to have a statistically significant association with satisfaction was preoperative leg numbness at rest. It is generally believed that preoperative resting numbness tends to remain, because it represents irreversible neuronal changes.<sup>5,11</sup> The presence of preoperative degenerative spondylolisthesis and/or degenerative lum-

TABLE 2: Mean preoperative and postoperative JOA scores in 89 patients\*

Item (score range)	JOA Score			
	Preop (SD)	Postop (SD)	Change (SE)	p Value†
low-back pain (0–3)	1.4 (0.6)	2.3 (0.7)	0.9 (0.1)	<0.0001
leg pain &/or numbness (0–3)	1.0 (0.5)	2.0 (0.8)	1.0 (0.1)	<0.0001
walking ability (0–3)	0.7 (0.8)	2.4 (0.8)	1.8 (0.1)	<0.0001
objective signs (0–6)	4.5 (1.3)	5.2 (1.0)	0.7 (0.1)	<0.0001
restriction of ADL (0–14)	6.8 (2.3)	10.9 (2.2)	4.1 (0.3)	<0.0001
total score (0–29)	13.3 (4.1)	22.9 (4.1)	9.6 (0.5)	<0.0001

\* SD = standard deviation; SE = standard error.

† Determined by means of paired t-test.

## Modified fenestration with restorative spinoplasty

TABLE 3: Univariate and multivariate logistic regression models of patient satisfaction for "not fully satisfied"\*

Variable	Univariate		Multivariate	
	OR	95% CI	OR	95% CI
age ( $\geq 75$ years)	0.61	0.12–2.98	0.41	0.06–2.74
sex (female)	0.37	0.10–1.41	0.29	0.07–1.30
no. of levels decompressed ( $\geq 3$ levels)	2.83	0.62–12.90	2.61	0.44–15.50
complete block on myelography	0.86	0.28–2.68	0.60	0.13–2.79
preop DS and/or DLS	1.42	0.46–4.40	1.90	0.48–7.58
preop total JOA score ( $< 10$ points)	2.58	0.75–8.92	1.69	0.38–7.50
preop leg numbness at rest	4.27	1.24–14.69	5.43	1.28–23.08
significant progression of slippage	0.28	0.03–2.31	0.17	0.02–1.62

\* Data were calculated by logistic regression analysis on 89 patients. Abbreviations: DS = degenerative spondylolisthesis; DLS = degenerative lumbar scoliosis.

bar scoliosis, postoperative progression of slippage, and nonunion of reattached spinous processes did not have a major impact on patient satisfaction.

The occurrence of postoperative instability and restenosis has been considered a disadvantage of laminectomy. Robertson et al.<sup>14</sup> reported that 58% of 33 patients, including 11 with preoperative spondylolisthesis, experienced progression of more than 5% slippage 1 year after laminectomy. Johnsson et al.<sup>7</sup> reported that slippage of more than 2 mm (equivalent to 5%) was observed in 43% of 36 patients more than 1 year after laminectomy and that preoperative spondylolisthesis was a risk factor for progression of listhesis. In the MFRS method, radiological studies performed 2 years postoperatively showed > 5% slippage in 18% of patients, but none required surgical stabilization for secondary instability. The occurrence of slippage progression was the same in the segments with or without preoperative degenerative spondylolisthesis. (The presence or absence of preoperative spondylolisthesis did not influence the occurrence rate of postoperative progression of slippage.) Even in patients with degenerative spondylolisthesis of Grade I, there was no occurrence of symptomatic instability after MFRS.

To overcome the disadvantage of laminectomy, the fenestration technique has been developed.<sup>10,19</sup> Fenestration allows preservation of the spinous process and supra- and interspinous ligaments, but these retained midline structures limit visualization and access to the lateral recesses, especially in patients with severe central stenosis or narrow and steep facet joints.<sup>12,13</sup> The rate of intraoperative conversion from fenestration to laminectomy has not been well documented and the postoperative evaluation of residual facet joints has not been reported. Unilateral laminotomy through one side, another treatment option, seems to limit access to the ipsilateral lateral recess.<sup>3</sup> The MFRS is applicable for any type of narrow facet, as was confirmed by postoperative CT scan; in this study, it provided the same visibility as laminectomy, and intraoperative complications were minimal.

Other techniques of spinous process osteotomies to facilitate decompression have been reported,<sup>8,15,18</sup> but in these techniques, osteotomized spinous processes were not tightly reconstructed to ensure stability of the spinous process. A key characteristic of our technique is an ana-

tomical restoration of the spinous process that provides continuity with the vertebral arch.

Nevertheless, there remain several problems to be solved in this method. The union rate of reconstructed spinous processes was high in our study, but not perfect. The polyethylene cable has the potential to stretch with the passage of time and to cause a loosening of the fixation.<sup>4</sup> There is still room for improvement in the material and/or technique of restorative spinoplasty in order to achieve a perfect union rate. In this study, insufficiency fracture at the cranial portion of the spinous process occurred in 3 patients with multiple lesions during decompression. Careful maneuvering of the residual spinous process is essential in patients with osteoporosis and multiple lesions. One of the limitations of the present study is that this is not comparative. The benefits of spinal instrumentation for LSS with or without mild listhesis have been controversial. A comparative study and long-term follow-up are necessary to establish true indications for MFRS.

### Conclusions

Modified fenestration with restorative spinoplasty, which has advantages of both laminectomy and fenestration, provides a safe and adequate decompression of the spinal canal with preservation of the posterior elements. The 2-year outcomes as determined by patient self-assessment were satisfactory.

### Disclaimer

The authors report no conflict of interest concerning the materials or methods used in this study or the findings specified in this paper.

### References

1. Benz RJ, Garfin SR: Current techniques of decompression of lumbar spine. *Clin Orthop Relat Res* 384:75–81, 2001
2. Cobb JR: Outline for the study of scoliosis. *Instr Course Lectures, Vol 5*. Ann Arbor, Michigan: The American Academy of Orthopaedic Surgeons, 1948, pp 261–275
3. Costa F, Sassi M, Cardia A, Ortolina A, DeSantis A, Luccarelli G, et al: Degenerative lumbar spinal stenosis: analysis of re-

- sults in a series of 374 patients treated with unilateral laminotomy for bilateral microdecompression. **J Neurosurg Spine** 7:579–586, 2007
4. Dickman CA, Papadopoulos SM, Crawford NR, Brantley AG, Gealer RL: Comparative mechanical properties of spinal cable and wire fixation systems. **Spine** 22:596–604, 1997
  5. Harada T, Matsumoto M, Nakamura M, Chiba K, Toyama Y: [Residual numbness in foot soles after surgery for lumbar spinal canal stenosis.] **J East Jpn Orthop** 17:65–68, 2005 (Jpn)
  6. Inoue S, Kataoka H, Tajima T, Tajima N, Nakano N, Hasue M, et al: [Assessment of treatment for low back pain.] **J Jpn Orthop Assoc** 60:391–394, 1986 (Jpn)
  7. Johnsson KE, Redlund-Johnell I, Uden A, Willner S: Preoperative and postoperative instability in lumbar spinal stenosis. **Spine** 14:591–593, 1989
  8. Josen RM, McCormick KJ: Preservation of the supraspinous ligament for spinal stenosis: a technical note. **Neurosurgery** 21:420–422, 1987
  9. Meyerding HW: Spondylolisthesis. **Surg Gynecol Obstet** 54:371–377, 1932
  10. Nakai O, Ookawa A, Yamaura I: Long-term roentgenographic and functional changes in patients who were treated with wide fenestration for central lumbar stenosis. **J Bone Joint Surg Am** 73:1184–1191, 1991
  11. Nishimura Y: [Postoperative residual numbness in lumbar disc herniation and lumbar spinal canal stenosis.] **Clin Orthop Surg** 40:981–984 (Jpn)
  12. Nishizawa T, Chiba K, Nakamura M, Matsumoto M, Maruiwa H, Toyama Y: [Long-term clinical results and postoperative instability after posterior decompression for degenerative spondylolisthesis: laminectomy vs. fenestration.] **Clin Orthop Surg** 38:439–499, 2003 (Jpn)
  13. Postacchini F, Cinotti G, Perugia D, Gumina S: The surgical treatment of central lumbar stenosis. Multiple laminotomy compared with total laminectomy. **J Bone Joint Surg Br** 75:386–392, 1993
  14. Robertson PA, Grobler LJ, Novotny JE, Katz JN: Postoperative spondylolisthesis at L4-5. **Spine** 18:1483–1490, 1993
  15. Sano S, Masuda A, Kabata K, Mitsui H, Kunoki J: [Laminectomy with spinous process reattachment: preliminary report.] **Orthop Surg Traumatol** 26:1227–1230, 1983 (Jpn)
  16. Taillard W: [Spondylolisthesis in children and adolescents.] **Acta Orthop Scand** 24:115–144, 1954 (Fr)
  17. Tsunoda N, Kurose S, Sasaki K, Wakita Y, Marui S, Akiyama T, et al: [Radiological study of degenerative spondylolisthesis.] **Rinsho Seikei Geka** 15:851–859, 1980 (Jpn)
  18. Watanabe K, Hosoya T, Shiraishi T, Matsumoto M, Chiba K, Toyama Y: Lumbar spinous process-splitting laminectomy for lumbar canal stenosis. Technical note. **J Neurosurg Spine** 3:405–408, 2005
  19. Young S, Veerapen R, O’Laeira SA: Relief of lumbar canal stenosis using multilevel subarticular fenestration as an alternative to wide laminectomy: preliminary report. **Neurosurgery** 23:628–633, 1988
  20. Yuan PS, Booth RE Jr, Albert TJ: Nonsurgical and surgical management of lumbar spinal stenosis. **Instr Course Lect** 54:303–312, 2005

---

Manuscript submitted July 2, 2008.

Accepted February 6, 2009.

Address correspondence to: Ko Matsudaira, M.D., Ph.D., Department of Orthopedics, Tokyo University, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033, Japan. email: kohart801@gmail.com.

# Diameter, Length, and Direction of Pedicle Screws for Scoliotic Spine

## Analysis by Multiplanar Reconstruction of Computed Tomography

Katsushi Takeshita, MD,\* Toru Maruyama, MD,† Hiroataka Chikuda, MD,\* Naoki Shoda, MD,\*  
Atsushi Seichi, MD,\* Takashi Ono, MD,\* and Kozo Nakamura, MD\*

**Study Design.** A morphometric study of thoracic and lumbar spine in scoliosis.

**Objective.** The purpose of the present study was to evaluate the appropriate values of diameter, length, and direction of pedicle screws with a straightforward trajectory in scoliosis.

**Summary of Background Data.** Several authors have analyzed the pedicle shape and evaluated the feasibility of pedicle screws in the scoliotic spine. To date, however, none of them have reported analysis by multiplanar reconstruction of computed tomography.

**Methods.** Computed tomography with a thickness of 1.25 mm was obtained before surgery in 41 Japanese with scoliosis. A total of 1100 pedicles were evaluated by simulating screw placement with the straightforward approach in a multiplanar reconstruction image. We chose the optimal slice where the insertion point and direction were determined to get the largest diameter of a screw in every vertebra. Length from the insertion point to the tip of the simulated screw was measured.

**Results.** Screws of L1 and L2 were significantly smaller than those of T12 and L3 ( $P < 0.001$ ). On the concave side, 37% of T3–T9 pedicles did not accept a 4-mm diameter screw even with 25% expansion. Length on the convex side was shorter at T5 and T7–T9 than that on the concave side ( $P < 0.05$ ). On the convex side, 11% at T4–T8 vertebrae did not accept a 25-mm length screw. Average angle of screws of T1, T2, and L5 was greater than 15° and 17% of the screws at T7–T10 were placed in the lateral direction.

**Conclusion.** In T3–T9 on the concave side, pedicle screws with a straightforward trajectory are not held within 37% of pedicles even with plastic deformation. We recommend that surgeons consider combined use of various types of anchoring when preoperative evaluation reveals narrow pedicles for screw placement.

**Key words:** scoliosis, pedicle screw, multiplanar reconstruction, computed tomography. *Spine* 2009;34:798–803

spine. Several authors analyzed the pedicle shape and evaluated the feasibility of pedicle screws in the thoracic spine.<sup>1–5</sup>

Tilting and rotation of the scoliotic spine hinder surgeons from understanding its precise shape. Computed tomography (CT) scan is an ideal technique, but a gantry can be aligned only in the sagittal plane and not in the frontal plane. Therefore, all vertebrae except the apical ones are transected obliquely. A tilt of over 10° in the coronal plane resulted in the inaccurate measurement of the pedicle diameter in scoliosis.<sup>6</sup> Acquisition volumes of magnetic resonance imaging (MRI) can be adapted to an individual spinal curvature and 2 investigators adopted MRI to analyze the morphometry of pedicles in scoliosis.<sup>1,3</sup> However, MRI depicts cortical structures with less clarity and precision. CT with multiplanar reconstruction enables investigators to set an arbitrary gantry in any plane for each vertebra and to analyze a clear bony shape. To date, however, no researcher has morphometrically analyzed the scoliotic spine by multiplanar reconstruction of CT.

### Purpose

The purpose of the present study was to evaluate the appropriate values of diameter, length, and direction of pedicle screws with a straightforward technique in scoliosis from analysis of multiplanar reconstruction of CT.

### Materials and Methods

Forty-one Japanese with scoliosis were recruited: the condition was idiopathic in 23 patients, Chiari malformation in 5, Noonan syndrome in 1, tuberous sclerosis in 1, and multiple epiphyseal dysplasia in 1. There were 34 women and 7 men with an average age of 17.4 years (10–29 years). The Cobb angle of the main curve ranged 50° to 100° (average, 65.7°). Curve classification by Lenke *et al*<sup>7</sup> was type 1 in 13 patients, type 2 in 11, type 3 in 2, type 4 in 4, type 5 in 4, and type 6 in 7. Proximal or cephalad fractional curves at the thoracic spine were right-convex in 2 curves and left-convex in 26. Main thoracic curves were right-convex in 33 and left-convex in 5. Thoracolumbar/lumbar or caudal fractional curves were right-convex in 6 and left-convex in 34.

Preoperative CT with a slice thickness of 1.25 mm was obtained for computer-assisted surgery. All CT files were transferred to a personal computer and analyzed by a DICOM viewer program (ExaView LITE; Ziosoft, Tokyo, Japan). All parameters were measured by the first author (K.T.) who exclusively handles DICOM files for navigation surgery in scoliosis at the University of Tokyo Hospital. Window level and diameter were optimized for the measurement of bony struc-

Pedicle screws are now the dominant anchorage in posterior instrumentation. It is preferred that they are placed inside vertebrae for the safety of vital tissues around the

From the \*Department of Orthopaedic Surgery, The University of Tokyo, Tokyo, Japan; and †Department of Orthopaedic Surgery, The Saitama Medical Center, Saitama, Japan.

Acknowledgment date: May 6, 2008. Revision date: July 15, 2008. Acceptance date: July 17, 2008.

The manuscript submitted does not contain information about medical device(s)/drug(s).

No funds were received in support of this work. No benefits in any form have been or will be received from a commercial party related directly or indirectly to the subject of this manuscript.

Address correspondence and reprint requests to Katsushi Takeshita, MD, Department of Orthopaedic Surgery, Faculty of Medicine, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan 113-8655; E-mail: Takeshita-ort@h.u-tokyo.ac.jp

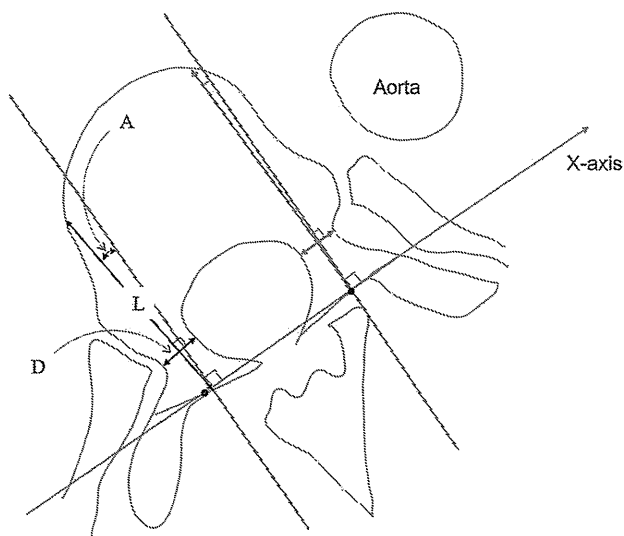


Figure 1. Diameter (D), length (L), and angle (A) of simulated pedicle screws in a transverse plane. The abscissa-axis is determined by connecting both of the middle points of the superior facet base. Diameter is set to obtain the largest value among multiple true-orthogonal axial images in individual vertebrae.

ture. Among various techniques available for pedicle screw placement, we chose the straightforward technique because of its prevalence and its biomechanical superiority over the anatomic technique.<sup>8</sup> Three parameters of diameter, length, and angle on both sides of a pedicle were measured in a true-orthogonal image of each vertebra. We chose the optimal slice where an insertion point and direction were determined to get the largest diameter of a screw in every vertebra. We measured diameter in the transverse plane (Figure 1) as well as diameter in the coronal plane at the outer cortex of a pedicle. Shorter one was adopted. Length from the insertion point to the tip of the simulated screw was measured. For description of the angle, we defined a new Cartesian coordinate system. A line connecting both sides of the middle of the superior facet base was defined as the abscissa-axis. Angle was measured with reference to the ordinate-axis, with a positive value when a screw was aimed at the vertebral body.

We analyzed 1100 pedicles from T1 to L5 vertebrae after excluding those pedicles outside the curves. Each parameter at 1 side was compared with a value on the contralateral side. Statistical analysis was performed with unpaired *t* test. Difference was regarded as significant when a value was below *P* = 0.05. Intraobserver and interobserver interclass correlation coefficients (ICCs) in 3 parameters were calculated in 30 vertebrae of 2 patients.

**Results**

**Diameter**

All screws except a few in T1 and L5 had shorter diameter in the axial image than in the coronal image (Table 1). Diameter of the screws decreased in the middle thoracic spine. Screws of L1 and L2 were significantly smaller than those of T12 and L3 (*P* < 0.001). The diameter of T2–T10 on the concave side was significantly shorter than that on the convex side (*P* < 0.01) (Figure 2). Sixty-two percent of the concave T3–T9 screws were less than 4 mm and 37% did not hold a 4-mm diameter

**Table 1. Diameter of Pedicle Screws (From the Outer Cortex of Pedicles)**

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
<b>Concave</b>									
Mean	6.0	4.9	3.3	2.7	3.0	3.5	3.7	3.8	4.1
SD	1.1	1.0	1.3	1.1	1.2	1.1	1.1	1.2	1.3
Min	4.1	3.3	0.5	0.8	0.6	1.4	1.6	1.4	1.8
Max	7.9	6.5	5.7	4.4	5.0	6.7	6.7	6.3	7.2
N	24	28	30	32	33	34	35	36	37
<b>Convex</b>									
Mean	6.3	5.5	4.7	4.3	4.5	4.4	4.6	4.6	4.9
SD	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	1.0	0.8	0.8	1.0
Min	4.6	3.8	2.8	2.4	3.0	2.3	2.7	2.3	3.3
Max	8.8	7.0	6.2	6.0	7.2	7.0	6.1	5.9	8.2
	T10	T11	T12	L1	L2	L3	L4	L5	
<b>Concave</b>									
Mean	5.2	6.7	6.8	5.8	6.3	7.8	9.0	9.1	
SD	1.2	1.4	1.5	2.0	1.7	1.3	1.3	1.0	
Min	2.9	3.7	3.8	2.6	3.3	5.7	6.9	7.3	
Max	7.8	8.9	10.0	10.9	11.5	10.8	11.5	10.5	
N	39	40	40	41	36	32	22	11	
<b>Convex</b>									
Mean	6.0	7.2	7.1	5.6	5.9	7.4	8.7	10.0	
SD	1.2	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	1.8	1.5	
Min	3.6	3.6	2.3	3.2	2.5	3.9	5.6	8.1	
Max	8.4	11.0	10.0	9.8	8.6	10.1	12.2	12.1	

SD indicates standard deviation; min, minimum value; max, maximum value.

screw even with 25% expansion ( $4.0/1.25 = 3.2$  mm) (Figure 3). Our data indicates that pedicles of right T3–T5 in the proximal thoracic curve and those of left T4–T9 in the main thoracic curve do not hold a 4-mm diameter screw in a typical right thoracic curve. Diameter of the screw at the main curve did not correlate with the Cobb angle nor with a patient's age (correlation coefficient, 0.039; *P* = 0.82, 0.13; *P* = 0.55).

**Length**

Length of screws decreased at the middle thoracic spine as shown in Table 2. All but 1 vertebra accepted a 20-mm length screw. Eleven percent of T4–T8 vertebrae on the convex side required screws shorter than 25 mm. The length required on the convex side were shorter at T5 and T7–T9 than that on the concave side (*P* < 0.05) (Figure 4).

**Angle**

Screws were aimed in the medial direction in the upper thoracic and lower lumbar spine (Table 3) and the average angle of screws of T1, T2, and L5 was greater than 15°. Seventeen percent of screws at T7–T10 were aimed in the lateral direction (Figure 5). Angles on the concave side did not significantly differ from those on the convex side (*P* = 0.08).

ICC of diameter was 0.957 (2-sided 95% confidence interval: 0.929–0.974) in the intraobserver measurement and 0.929 (0.864–0.961) in the interobserver measurement. ICCs of length and angle were 0.936 (0.895–0.961) and 0.922 (0.972–0.952) in the intraobserver measurement and 0.932 (0.889–0.959) and 0.896 (0.829–0.937) in the interobserver measurement.

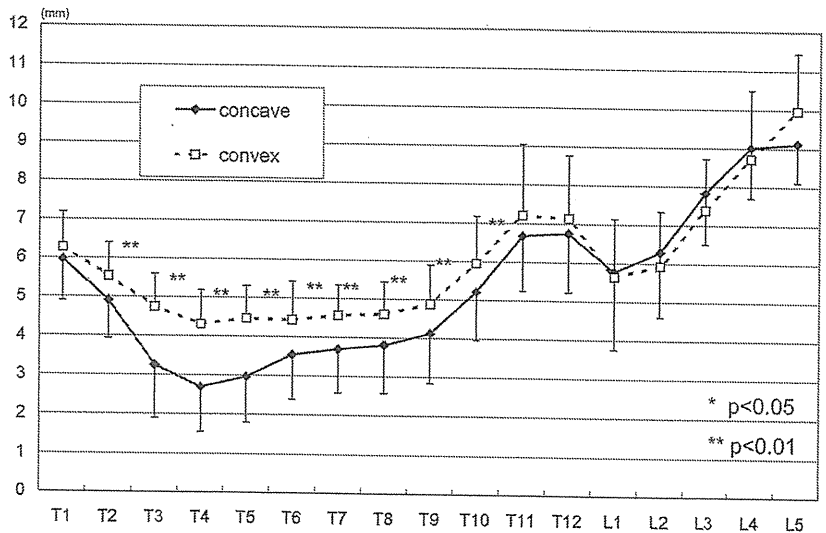


Figure 2. Diameter of pedicle screws.

■ Discussion

**MRI Versus CT**

Liljenqvist *et al* reported 2 fine analyses of pedicle morphology with scoliosis and revealed smaller pedicles on the concave side. In their CT study,<sup>2</sup> tilt of an individual vertebra was partially resolved by sagittal tilting of gantry in 29 patients with idiopathic scoliosis. Liljenqvist *et al* did not adopt multiplanar reconstruction because the 3-mm interval was too large and reconstruction processing would result in an inaccurate value. In the present study, CT data were obtained with a diameter of 1.25 mm for the navigation surgery in which the accuracy and measurement of MPR images are guaranteed. Second, Liljenqvist *et al* analyzed a pedicle shape in 26 patients using MRI which compensated the tilting in scoliosis.<sup>3</sup> Concurrently, an inherent issue of analyzing bony structures by MRI emerged.

Both of the Liljenqvist's studies measured the inner cortical width of a pedicle; we chose to measure the outer width for 2 reasons. One was ease of measurement because of the clearer border of the outer cortex. Especially in a thin pedicle, the inner surface of the cortex was obscure

even in CT. That may be the reason for disagreement at the upper thoracic spine between the present study and Liljenqvist's MRI study, though the outer cortical diameter in the present study largely agreed with the inner cortical diameter in 2 reports of Liljenqvist. Second is an elastic characteristic of a pedicle.<sup>5,9,10</sup> We agree with O'Brien *et al*s suggestion<sup>5</sup> of measuring the outside pedicle dimension by taking plastic deformation into account.

**Diameter**

Our present data suggested that a large proportion of thoracic pedicles on the concave side were too small to accept the 4-mm diameter screw. Even if a pedicle allows 25% enlargement as Rinella *et al* reported,<sup>9</sup> the outer diameter should be over 3.2 (=4.0/1.25) mm. The present data suggests that 37% (88/237) of concave T3–T9 pedicles will be fractured if a screw for the thoracic spine is placed in them.

One possible solution may be to use the anatomic trajectory, although a screw placed by the anatomic trajectory is biomechanically weaker than one placed by the straightforward trajectory.<sup>8</sup> Moreover, the screw-head

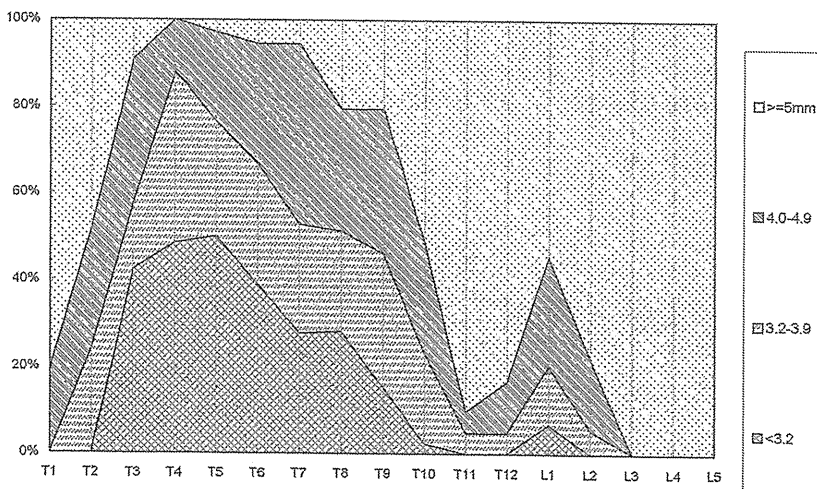


Figure 3. Bimodal distribution of diameter of pedicle screws on the concave side.



**Table 2. Length of Pedicle Screws**

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
<b>Concave</b>									
Mean	28.5	30.4	30.5	30.5	31.6	31.7	32.5	33.9	34.0
SD	3.3	3.5	3.8	4.2	4.3	3.5	3.5	4.7	4.6
Min	22.9	24.0	23.3	21.3	25.0	25.2	25.8	26.2	22.0
Max	35.0	37.4	42.8	41.3	40.3	40.8	40.9	51.6	41.8
<b>Convex</b>									
Mean	29.2	30.7	30.3	29.4	29.0	30.2	29.9	30.2	31.6
SD	2.9	2.8	3.1	3.2	3.7	4.0	5.0	4.3	4.3
Min	23.6	24.5	22.4	21.8	21.2	22.4	19.1	23.0	23.3
Max	34.7	37.2	37.1	35.7	36.7	40.9	43.3	38.8	40.1

	T10	T11	T12	L1	L2	L3	L4	L5
<b>Concave</b>								
Mean	35.1	35.2	37.2	42.6	44.6	45.6	44.8	43.5
SD	4.1	3.6	4.0	4.5	5.2	3.9	3.9	6.1
Min	26.4	28.7	29.4	32.8	33.3	38.2	37.4	34.1
Max	43.8	48.5	46.9	53.4	59.1	54.0	52.4	52.7
<b>Convex</b>								
Mean	33.4	33.6	36.1	41.8	44.4	45.7	43.8	44.7
SD	3.8	5.6	4.6	4.8	5.1	3.8	3.5	4.9
Min	24.6	21.5	27.9	32.8	24.0	38.9	37.1	37.8
Max	41.6	51.7	50.5	54.9	54.5	53.2	49.9	51.5

**Table 3. Direction of Pedicle Screws**

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
<b>Concave</b>									
Mean	27.1	17.4	13.5	8.4	7.1	4.0	4.3	4.6	4.0
SD	5.8	5.8	3.8	6.2	5.5	5.2	5.0	5.5	5.4
Min	17.0	7.0	7.0	-9.0	-7.0	-10.0	-4.0	-4.0	-10.0
Max	39.0	36.0	20.0	18.0	17.0	16.0	14.0	15.0	16.0
<b>Convex</b>									
Mean	26.9	17.3	9.4	7.1	5.2	5.0	3.3	2.2	4.4
SD	4.8	4.1	4.1	4.0	4.8	5.1	4.9	4.8	6.1
Min	17.0	9.0	0.0	0.0	-4.0	-8.0	-7.0	-9.0	-10.0
Max	36.0	27.0	17.0	15.0	14.0	16.0	13.0	9.0	13.0

	T10	T11	T12	L1	L2	L3	L4	L5
<b>Concave</b>								
Mean	5.8	6.3	4.6	7.9	10.6	13.1	15.1	24.5
SD	5.7	4.8	4.7	5.0	3.6	4.8	4.5	10.1
Min	-12.0	-5.0	-3.0	-5.0	3.0	4.0	4.0	11.0
Max	19.0	18.0	20.0	18.0	19.0	22.0	23.0	42.0
<b>Convex</b>								
Mean	3.7	4.9	5.8	8.0	9.7	13.6	14.8	22.5
SD	5.0	5.1	6.5	5.4	5.0	4.3	4.1	12.3
Min	-10.0	-8.0	-15.0	-5.0	-4.0	2.0	9.0	0.0
Max	13.0	15.0	17.0	21.0	18.0	20.0	25.0	38.0

needs to be tilted for rod settlement and a multiaxial screw with a relative large head is mandatory. From our experience of 50 scoliosis surgeries done using the navigation system, pedicles too narrow for the straightforward technique were usually impracticable even with the anatomic technique. We did not try to simulate the anatomic trajectory because simulation of screw placement would have been too complicated. Future analysis of feasibility of using the anatomic trajectory is warranted.

Another solution might be to use the in-out-in technique. However, pull-out testing showed the extrapedicular screw had inferior pull-out strength compared with a transpedicular screw,<sup>11</sup> and the authors are doubtful of its strength and safety when a lateral force is exerted especially on the concave midthoracic side.

Though powerful correction force and maintenance by segmental pedicle screw instrumentation is very fas-

inating, surgeons need not to always use pedicle screws but can use other anchoring methods like hooks and wires when preoperative evaluation reveals narrow pedicles which are not appropriate for pedicle screw placement.

**Length and Direction**

Inappropriate length or direction of a pedicle screw can be more hazardous than inappropriate diameter. A screw directed too medially can put the spinal cord in jeopardy. A screw advanced too anteriorly or too laterally poses a potential risk of aorta injury. Vaccaro *et al* analyzed nonscoliotic thoracic spine and found that the aorta and the esophagus are at greatest risk of injury when a pedicle screw penetrates an anterior cortex of the vertebral body.<sup>4</sup> The present study showed 11% of the T4–T8 vertebrae did not accept a 25-mm length screw on the convex side. Though the middle thoracic vertebrae ac-

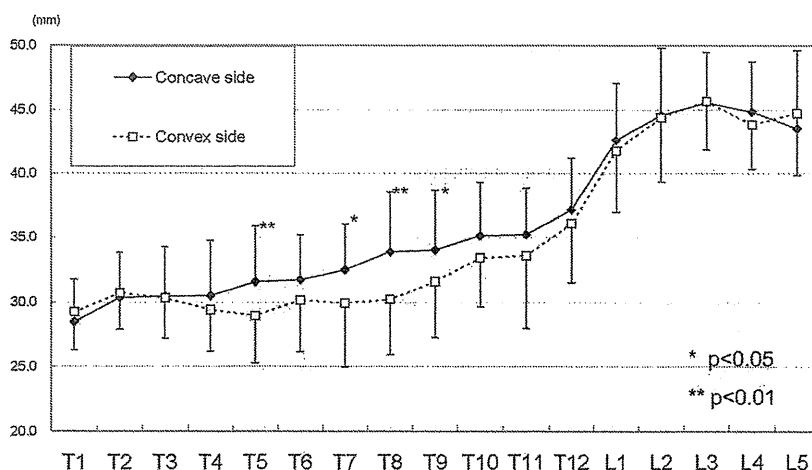


Figure 4. Length of pedicle screws.

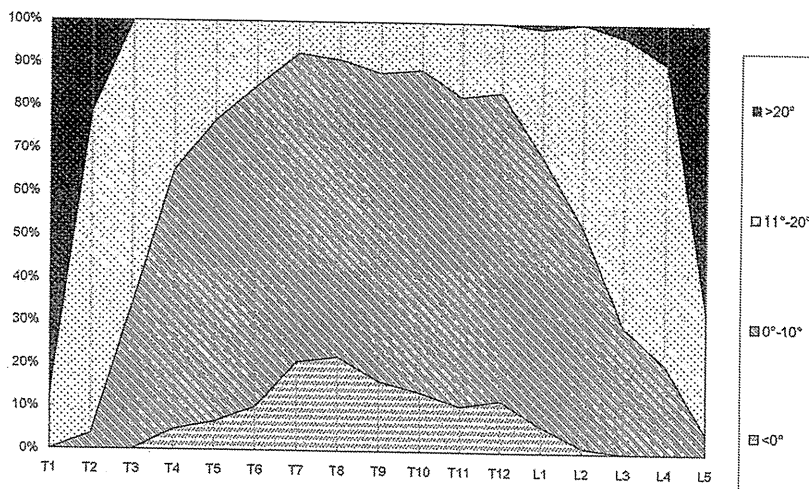


Figure 5. Distribution of angle of pedicle screws. Angle shows lowest value at T7–T8.

cept screws of this length, the aorta usually resides just lateral of the vertebral body on the left side.<sup>12</sup> Considering the lateral force exerted during a correction maneuver, special attention should be given to place screws on the concave side.

We designed a new abscissa-axis with which surgeons can estimate the direction from the explored spine in posterior surgery. The present study showed that 23% of screws at T7–T8 aimed in a lateral direction on the convex side from the perspective of the posterior spine. Large lateral tilt at T1–T2 pedicles in the present study suggested that multiaxial screws seem practical for smooth connection with adjacent screws.

#### Limitation

ICCs of length and angle were smaller than that of diameter in the repeatability test. As shown in a report of a funnel technique by Yingsakmonkol *et al*,<sup>13</sup> length and direction of a pedicle screw sometimes allows a range of values. Length may differ by several millimeters depending on selection of the insertion points because some of these points are determined at the base of a pedicle, and some at the transverse process. Because we wanted to simulate the same-screw placement as we actually use the navigation system, a more consistent method of measurement had not been considered.

#### Radiation Exposure by CT

Projected exposure dose by 1 CT is estimated to be 30 mGy in our university hospital. Our experience of pedicle screw placement with a navigation system by preoperative CT substantially decreased screw breach from 7% by free-hand technique to 2%. We believe that reduction of screw breach by the navigation system outweighs the additional exposure for patients.

In summary, 37% of T3–T9 concave pedicles were too small for a 4-mm diameter screw even with 25% expansion. At the middle thoracic spine on the concave side, the direction and length of a pedicle must be carefully determined. We recommend that surgeons consider combined use of various anchoring when preoperative

evaluation reveals that pedicles are narrow for screw placement.

#### Key Points

- We evaluated appropriate diameter, length, and direction of pedicle screws in patients with scoliosis by multiplanar reconstruction of CT.
- Thirty-seven percent of pedicles at T3–T9 on the concave side were too small for a 4-mm diameter screw even with expansion.
- Eleven percent of pedicle screws at T4–T8 on the convex side were less than 25 mm in length and 17% of screws at T7–T10 were placed in the lateral direction.
- Surgeons should not use pedicle screws when preoperative evaluation reveals that pedicles are too narrow for proper screw placement.

#### References

1. Catan H, Buluç L, Anik Y, et al. Pedicle morphology of the thoracic spine in preadolescent idiopathic scoliosis: magnetic resonance supported analysis. *Eur Spine J* 2007;16:1203–8.
2. Liljenqvist UR, Link TM, Halm HF. Morphometric analysis of thoracic and lumbar vertebrae in idiopathic scoliosis. *Spine* 2000;25:1247–53.
3. Liljenqvist UR, Allkemper T, Hackenberg L, et al. Analysis of vertebral morphology in idiopathic scoliosis with use of magnetic resonance imaging and multiplanar reconstruction. *J Bone Joint Surg Am* 2002;84-A:359–68.
4. Vaccaro AR, Rizzolo SJ, Balderston RA, et al. Placement of pedicle screws in the thoracic spine. Part II: an anatomical and radiographic assessment. *J Bone Joint Surg Am* 1995;77:1200–6.
5. O'Brien MF, Lenke LG, Mardjetko S, et al. Pedicle morphology in thoracic adolescent idiopathic scoliosis: is pedicle fixation an anatomically viable technique? *Spine* 2000;25:2285–93.
6. Xiong B, Sevastik B, Sevastik J, et al. Horizontal plane morphometry of normal and scoliotic vertebrae. *Eur Spine J* 1992;4:6–10.
7. Lenke LG, Betz RR, Harms J, et al. Adolescent idiopathic scoliosis: a new classification to determine extent of spinal arthrodesis. *J Bone Joint Surg Am* 2001;83:1169–81.
8. Lehman RA Jr, Polly DW Jr, Kuklo TR, et al. Straight-forward *versus* anatomic trajectory technique of thoracic pedicle screw fixation: a biomechanical analysis. *Spine* 2003;28:2058–65.
9. Rinella A, Cahill P, Ghanayem A, et al. Thoracic pedicle expansion after pedicle screw placement in a pediatric cadaveric spine: a biomechanical analysis. Presented at the SRS 39th annual meeting, Buenos Aires, Argentina, 2004.

10. Yazici M, Pekmezci M, Cil A, et al. The effect of pedicle expansion on pedicle morphology and biomechanical stability in the immature porcine spine. *Spine* 2006;31:E826-9.
11. White KK, Oka R, Mahar AT, et al. Pullout strength of thoracic pedicle screw instrumentation: comparison of the transpedicular and extrapedicular techniques. *Spine* 2006;31:E355-8.
12. Sucato DJ, Duchene C. The position of the aorta relative to the spine: a comparison of patients with and without idiopathic scoliosis. *J Bone Joint Surg Am* 2003;85-A:1461-9.
13. Yingsakmonkol W, Karaikovic E, Gaines RW. The accuracy of pedicle screw placement in the thoracic spine using the "funnel technique": part 1. A cadaveric study. *J Spinal Disord Tech* 2002;15:445-9.

# 腰痛管理のためのエクササイズ(体操)

Exercises for the management of low back pain



松平 浩

Ko MATSUDAIRA

(独)労働者健康福祉機構関東労災病院 勤労者筋・骨格系疾患研究センター

◎腰痛の多くは原因疾患が特定しきれず(非特異的腰痛)、画像所見は痛みの起源も予後も語りえないことが多い。誰もが経験しうるもっともポピュラーな愁訴で、再発・慢性化しやすい性質をもつにもかかわらず、いまだその対策は確立されていない。このような現状のなか、体操は予防にも治療にも有効な手段である可能性が指摘されているが、その方法論については不十分なエビデンスでしかない。そこで本稿では、著者が提案する伸展(腰を反らせる)エクササイズを主としたシンプルなメニューを、一次～三次予防をめざした包括的な腰痛対策(管理)案のなかから紹介する。加えて、高齢者社会を迎えその患者が急増すると見込まれている症候性の腰部脊柱管狭窄症に対する治療的な体操(椅子での腰を屈めるエクササイズ)についても紹介する。



Key Word: 非特異的腰痛, 慢性腰痛, 腰部脊柱管狭窄症, エクササイズ(体操), 運動療法, マッケンジー法

腰痛はだれもが生涯のうち一度は経験しうるもっともポピュラーな痛み愁訴であり、長期にわたって再発や悪化を繰り返す変動性の経過をたどりやすい。初回の腰痛発症後、1年後も腰痛を有している場合が少なくなく、再発および慢性化しやすい性質をもつ。従来、腰痛は外傷性事象や機械的ストレスが原因で起こる損傷モデルのみが前提であった。しかし、このモデルで説明しきることには限界があり、心理社会的要因の関与が重要視されるようになった(生物心理社会的疼痛症候群)<sup>1)</sup>。著者らが行っているわが国の勤労者における研究(労災疾病など13分野医学研究)でも、仕事に支障をきたす腰痛の発生や慢性化の危険因子として、新規の発生、慢性化ともち上げや前屈動作が頻繁な作業形態であることに加え、ストレスや不安、身体化症状、働きがいの低さ、小児期の心的外傷既往などといったさまざまな心理社会的要因も危険因子としてあげられた<sup>2-4)</sup>。

症候性の椎間板ヘルニアおよび脊柱管狭窄症、骨折、感染性脊椎炎や癌の転移を代表とする脊椎腫瘍(red flag; 「サイドメモ1」参照)、加えて尿路結石や大動脈瘤といった原因疾患が特定しうる腰

痛(特異的腰痛)以外の多くは、椎間板、椎間関節、仙腸関節、背筋などの腰部組織に痛みの起源があった可能性は高いかと思われるが、特異的な所見が乏しく、解剖学的な痛みの起源を明確にできないため非特異的な腰痛と総称されるようになった。この非特異的腰痛が一般的に、いわゆる“腰

サイド  
メモ  
1

## 腰痛の診断的トリアージ

腰痛は、以下の3つの診断的トリアージに分類することが世界の主流である。

① 神経症状を伴うもの(症候性の椎間板ヘルニアや脊柱管狭窄症)および red flag sign: 重篤な疾患の可能性のある腰痛(器質的危険信号; physical risk factor)。後者は安静時痛の存在、癌や結核既往、発熱などに留意する<sup>5)</sup>。これを見逃さないスタンスがプライマリケアではもっとも重要である。

② Green light: 非特異的腰痛のことで、神経学的異常や器質的異常のない、言い換えれば心配のない腰痛。

③ Yellow flag sign: 慢性難治化、休職、長期の活動性低下へ移行する可能性がある、心理社会的要因(psychosocial risk factor)が強く関与しているもの。

痛症”とよばれるものと考えてよく、プライマリケアを受診する約85%を占めるとされ<sup>6)</sup>、日常診療においてもっとも遭遇しやすい生活習慣病ならぬ生活習慣痛といっても過言でないが、診断名の付け方(「サイドメモ2」参照)も含め、医療者の裁量権に依存した対応がなされている可能性が高い。患者に明確な情報提示および的確な治療を施さねばならないものの、病態が画一的でないため発展途上である。最近、重篤な基礎疾患のない非特異的腰痛患者に画像検査を行っても臨床転帰は改善しないことがメタ解析で明らかとなり<sup>7)</sup>、つつい変性、すべりヘルニア、狭窄などの画像所見があたかも腰痛と関連が強い印象を患者に与えてしまいがちな医療スタイルに警鐘を鳴らしている。

さて、本稿でのテーマである腰痛に対する体操(運動療法)に関するエビデンスはどうなっているかであるが、「筋力増強と腰部の安定化運動は慢性腰痛にすこしではあるが効果がある可能性はある。急性腰痛に対しては未治療あるいは他の保存療法と同等。治療終了後に行った場合の再発防止については有効とする中等度のエビデンスがあるものの、相反する報告もあるので、さらなる研究が必要」(コクラン・ライブラリー, 2009年9月; 「サイドメモ3」参照)とされている。予防のガイドラインでもその再発予防に推奨されるのが運動ではあるものの、その種類・頻度などについては不十分なエビデンスである<sup>8)</sup>。

つまり現状のエビデンスを簡潔にまとめると、「腰痛の再発予防にも慢性的な腰痛にも体操はし

たほうがよさそうではあるが、どのようなメニューをどのくらいの量や頻度でやればいいのかはわからない」ということになる。具体的かつ合理的な指針が得られない理由としては、臨床的な実体や病理および診断法が明確でなく、痛み・機能障害の程度や yellow flag とよばれ重要な予後規定因子である心理社会的要因の関与の程度もさまざまである腰痛を単一の疾患概念としてとらえがちであったことにあると考える。このことも踏まえ、本稿では著者が現場で行っている体操の方法を主とした腰痛管理の一部を概説する。

## ● 腰痛の予防

著者らが近年行った全国調査では、支障度の低いものも含めた1カ月有訴率は25.2%であった。一方、腰痛がある人は、腰痛以外の愁訴、たとえば肩や膝などの痛みも伴っている人のほうが、腰だけ痛い人より多いことも判明したが、“もっとも困っているのが腰痛”と限定すると13.4%で、“仕事に支障をきたしたほどの腰痛”とさらに限定すると6.0%であった<sup>2)</sup>。つまり、ある時点でみると、腰痛有訴率はけっして少なくないものの、それによる支障度に違いがある。さらに、生涯腰痛有訴率の高さや腰痛経験後の再発率の高さを勘案すると、①現在腰痛がない人には、再発も含め腰痛をあらたに起こさせない対策、②軽い腰痛の人には重症化させない対策、③すでに支障度の高い人には、コントロール可能なレベルに戻し、かつ支障度の高い腰痛の再発を予防する対策、つまり一次・二次・三次予防を包括的に提案する必要がある。

### サイド メモ 2

#### 腰痛の診断名

“変性性腰椎症” “腰椎椎間板症” “腰椎すべり症” “筋・筋膜性腰痛” などといった診断名は画像診断および医療者の主観に依存するもので、いまや臨床的診断名とはいえず、非特異的腰痛に含まれると考えてよい。“腰椎椎間板ヘルニア”も画像診断のみを根拠に病名が独り歩きすることが少なくない。下肢伸展挙テストが陽性の場合が基本的に臨床的な“腰椎椎間板ヘルニア”であり、無症候性の椎間板ヘルニアも少なからず存在することを認識しておく必要がある。

### サイド メモ 3

#### コクラン・ライブラリー

疾患や症候などの項目ごとにシステマティックレビューが更新されつづけるデータベース。無作為比較試験や高品質のコホート研究など以外は切り捨てられ、トップジャーナルに掲載された少数の論文をもとに記述されている。ややデザインレベルが劣る論文は相手にされないため、無作為比較試験を行いたい事項についてはいつまでたっても結論が出ないことが難点ではある。

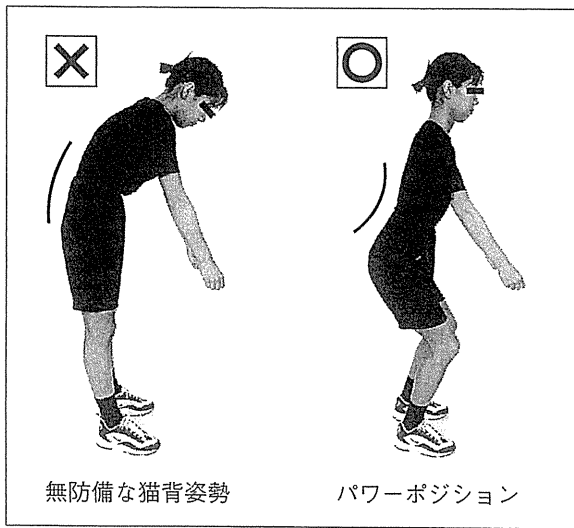


図1 基本姿勢としてのパワーポジション<sup>2)</sup>  
 挙上や移動、前屈みになる時などの動作時は、右のパワーポジションを保つよう習慣化させる。少しだけ胸を張る感じで、重量挙げ選手がバーベルを持ち上げる時の姿勢をイメージするよう指導する。

ると考えている。本稿で使用する図は現在、介護労働者に対し、一～三次予防対策を網羅した介入研究で使用している著者の考えを簡潔にまとめ監修したマニュアル<sup>9)</sup>から一部抜粋したものである。

その基本として、「正しい姿勢と身体の身のこなしを身につけましょう！」と銘打ち、挙上や前屈等動作時の基本姿勢としてパワーポジション(図1)、および座位・立位時のよい姿勢(図2)に関する教育をまず行っている。

予防体操としては煩雑さを避け、図3のシンプルな体操の習慣化を徹底させている。コンセプトは、「前屈みや猫背といった腰椎の生理的前彎から後彎方向の不良姿勢をとってしまった場合は、その直後に反らせて、逆に反り過ぎてしまった後(過前彎姿勢の持続)は、直後に屈めて、悪い方向に行きかけた腰椎をその場で元に戻してあげましょう」といったものである。

図4、5の“腰痛がなかなかよくなる場合の体操メニュー”は三次予防の具体的な体操メニューである。以下、いわゆる慢性腰痛の治療に該当する本メニューについて概説する。

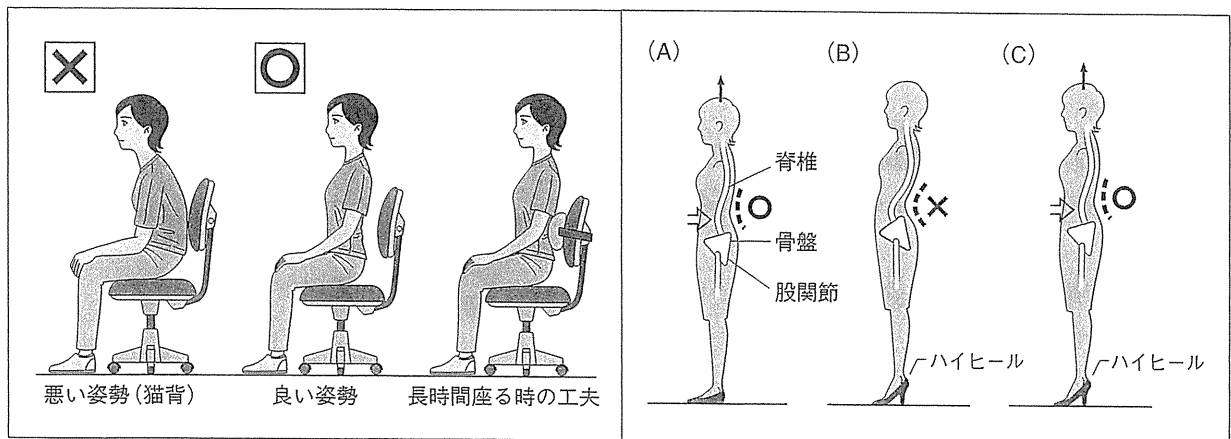


図2 座位時と立位時の自然なよい姿勢<sup>11)</sup>

左：座位のときは猫背になりやすいので、よい姿勢(腰が軽い前彎位：腰をしっかり反らせた後、少し戻したぐらいの状態)を保つよう意識させる。この姿勢の保持は腹筋・背筋の強化にもなる。長時間座る必要があるときは、背もたれにクッションや丸めたタオル、あるいはタオルを詰めたウエストポーチなどをベルトの高さに取り付けるとよい。これらは、快適だと感じる高さに微調整するとよい。首と肩は緊張させずリラックスした状態を保つ。

右：耳、肩、股関節中央、くるぶしを結ぶ線がほぼ一直線になるように意識させる。あごは軽く引き、視線を前へ向け、かつ肩の力は抜き、左右の高さをそろえる。胸を少し張り、下腹部を引き締める意識を持たせる。加えて、頭のてっぺんを上から糸でつられているイメージを持ち、背筋を伸ばす。これが背骨が緩やかで自然なS字カーブとなる理想の立ち姿である(A)。ハイヒールを履くと、よい姿勢の維持が難しく腰が反り過ぎになることがあるので(B)、下腹部をより意識して骨盤の傾きを調節する(C)。ヒールの高さによらず、自然なS字カーブが保てるよう心がけることが肝要(A, C)。加えて、理想の立ち姿のイメージをもったまま、美しく歩く習慣をつける。



図3 忙しい合間の腰痛予防の“これだけ体操”<sup>11)</sup>

左：反る体操。脚を軽く開き、膝を伸ばしたまま上体をゆっくり3秒間、息を吐きながら反らす。これを3回繰り返す。移乗など前屈みでの作業後や重い物を持った後、しばらく座りっぱなしだった時(とくに腰に違和感を感じたとき)には、すぐに腰をしっかり反らす。

右：椅子で屈める体操。立ちっぱなしや歩きっぱなしで痛くなったり違和感を感じた場合のみ、椅子に座って、腰をゆっくり丸める。両方の脚を開き、息を吐きながらゆっくり床を見る。これも3秒間3回行う。

### ● メカニカルな要因(腰部の静的および動的アライメントにかかわる要因)のある慢性腰痛<sup>10)</sup>

適切な運動療法と簡単な教育(後述)により、比較的短期間で改善させることができるタイプと、そうではないタイプがある。種々の心理社会的要因があっても、姿勢や動作の違いにより腰痛が増強したり楽になったりする傾向(メカニカルな要因)があれば前者である可能性が高く、後者の心因性がメインのタイプよりも診療現場で遭遇する頻度も高い。

### ● 腰痛がなかなかよくなる場合にすすめる体操<sup>10,11)</sup>

痛み止め(アセトアミノフェン、非ステロイド系消炎鎮痛薬)や筋弛緩薬の投与、腹筋・背筋・ストレッチングを主とする標準的な体操指導、エビデ

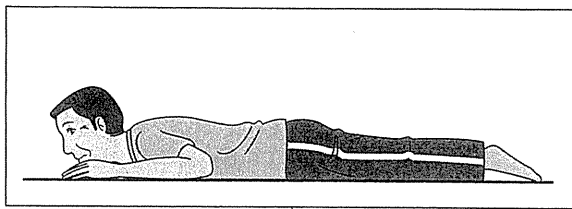
ンス上推奨されていない受動的な物理療法<sup>12)</sup>など、プライマリケアの現場で通常行われる治療を継続しても改善が乏しい場合に、著者が試してみる価値があると考える簡便な体操メニューを紹介する。この方法は、確立された指導者付きの運動療法のひとつであるマッケンジー法(mechanical diagnosis and therapy;「サイドメモ4」参照)に基づいた伸展エクササイズを主軸としている。現時点では多次元の問題がある慢性腰痛に対する運動療法の種類のうち何がもっとも優れるかは明らかになっていないことは前述したが、本法はデンマークのガイドラインや北アメリカの Spine Society の患者向け教育資料(The Backbone of spine: [http://www.spine.org/Documents/exercise\\_2006.pdf](http://www.spine.org/Documents/exercise_2006.pdf))では推奨されている。

個々の腰痛によってパターンの違いはあってもメカニカルな要因によるものと判断できる、つまり姿勢・動作と関連がある場合には、その患者にとって適切な腰椎の運動方向(伸展、屈曲など)を選定・提示し、加えてその患者の腰痛の主因となっている不適切な動作・姿勢(たとえばあぐらでの猫背姿勢)を一定期間制限するよう指導するといったコンセプトのものである。適切な運動方向(directional preference)の選定および指導はマッケンジー法協会の認定を受けた理学療法士や医師が行うことが望ましいが、本稿では結果的に

#### サイドメモ 4

#### マッケンジー法

ニュージーランドの理学療法士である Robin Mckenzie が体系づけた筋・骨格系由来の評価・治療システム。腰痛に関する論文をひとつ紹介する。Longらは、マッケンジー法評価によりメカニカルな要因があると判定できた腰痛患者(エントリーされた312人中230人、74%)。判断された適切な運動方向の内訳：伸展74%、屈曲16%、側屈10%)を、①適切な方向の運動、②適切と判断された方向と逆方向の運動、③多方向にmid rangeの運動、をそれぞれ行う3群に無作為割付し、2週間後の改善率を比較した。その結果、改善率はそれぞれ90%、24%、43%であり、改善しない、あるいは悪化したという理由から離脱した割合は、①0%、②③では30%以上であったと報告している<sup>13)</sup>。



10回繰り返す

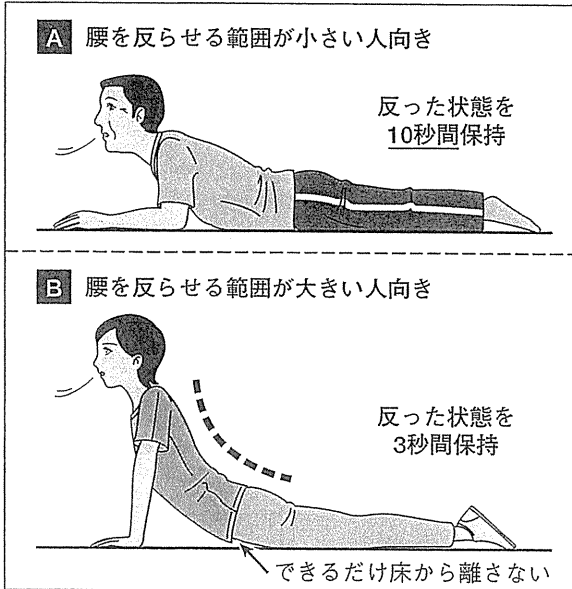


図 4 腰痛がなかなかよくなる場合の体操メニュー(腰を反らせるエクササイズ)——初期の数週間のエクササイズ<sup>10,11)</sup>

うつ伏せから、腕の力で、上体をゆっくり最大限に反り、A あるいは B の姿勢を保持しながら腰の力を抜いて息を吐く。うつ伏せに戻し、大きく息を吸って、呼吸を止めないようにする。1セット(10回)を、①起床時、②午前10時頃、③昼休み、④午後3時頃、⑤夕食前後、⑥就寝前、の目安で、痛みが悪化(図6-B)しない限り、1日6セットを目標に行う。最初の1~2セットで腰の違和感が強くなったとしても、強い痛みを感じなければ数セット続ける。多くの場合は徐々に楽になる。

仕事場などでうつ伏せになるスペースがない場合は、図3-左の“反る体操”を3秒間、10回繰り返す。肩幅で楽に立ち、膝はできるだけ伸ばしたまま、両手を支点上に上体をできるだけ後ろに反らす。

適切な運動方向になることが多い伸展エクササイズについて、ある程度マニュアル化したものを提示する。とくに、問診により、①起床時に痛い、②前かがみ動作や姿勢、座位姿勢で痛くなりやすい、③歩いているほうが楽、④腰を反らさないようにしていた、という傾向がひとつでもあれば、試してみる価値があると考えている(図4, 5)。

### ● 伸展エクササイズの実際(図4, 5)<sup>10,11)</sup>

腹臥位から腕立て伏せをする要領で、上体をゆっくり最大限に反り、数秒保持しながら腰の力を抜いて息を吐かせる。亀背など後彎変形がある人に対してはお腹の下に枕を入れて、その患者が可能な範囲で伸展させればよい。最初の1~2週は1日6セットを目安にホームエクササイズとして課し、職場などでうつ伏せになるスペースがない場合には立位での腰をしっかり反らせることで代用させる。ただし、日中職場では多忙であったり、10回連続して行うのは人の目が気になる環境である場合は、前述した3秒3回の体操をまめに行うよう指導するほうが現実的である。

伸展運動中に神経症状を示唆する痛みやしびれが末梢へ放散する場合は本エクササイズは適応外と判断し、その時点で中止させる必要がある。ただし、初期の段階で腰部の違和感および痛みが多少強くなっても、下肢への痛みやしびれの放散や移動さえなければ、徐々に楽になるため続けさせても大丈夫である。改善するかどうかを見極めるポイント、言い換えればこの伸展エクササイズを続けてもらう価値があると判断する徴候として、痛みが軽くなることや伸展可動範囲が大きくなることに加え、centralization(痛みの中央化とって関連痛としての殿部および下肢の症状が伴う場合、その痛みやしびれの部位が遠位から腰部に近づく徴候)がある(図6)。軌道にのった後は、機能回復を目的とした屈曲エクササイズを適度に追加させる。

### ● 典型的な腰部脊柱管狭窄症に対するエクササイズ<sup>14)</sup>

腰部脊柱管狭窄症は腰椎の加齢変化に伴い、腰の神経(神経根および馬尾)が圧迫されることに起



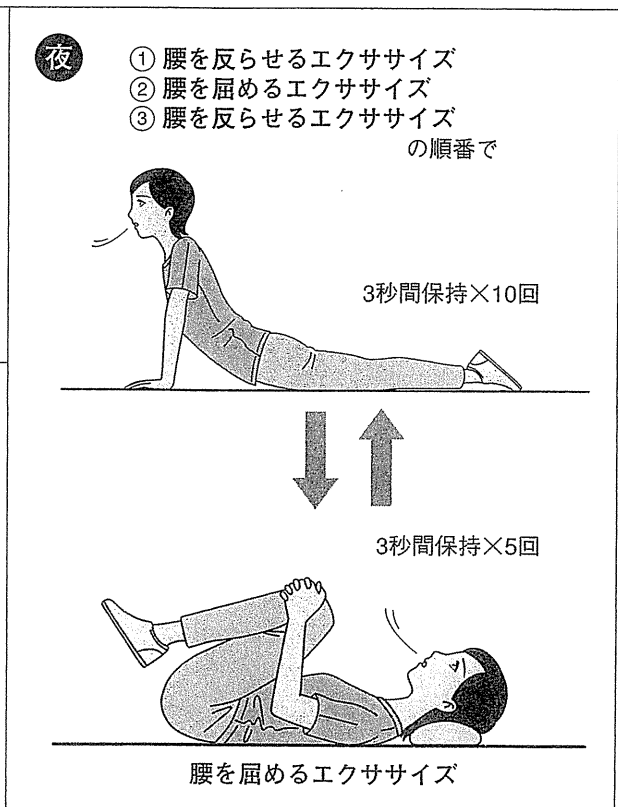


図 5 腰痛が軽くなってきた後のエクササイズ<sup>10,11)</sup>

図 4 の“腰を反らせるエクササイズ”を数週間程度行い、腰痛が軽くなってきたら、夜だけ腰を屈めるエクササイズを、腰を反らせるエクササイズの間に加える。両方の膝を軽く開き、息を吐きながら 3 秒間、症状が悪化(図 6-B)しないことを確認しつつ、慎重に脚を抱える(5 回繰り返す)。

朝・昼・夜以外でも、起床後、数時間の座位作業、前屈み作業後、その他日常生活や仕事での動作によって予兆や軽い痛みを感じた際には、そのつど立位での腰を反らせるエクササイズ(3 秒間保持×3 回が目安)を行う。

腰を屈めるエクササイズを追加するのは夜だけでよい。午前中は椎間板の内圧が高まっていて痛みが加えられて悪化する可能性があるため、屈めるエクササイズは行わない。

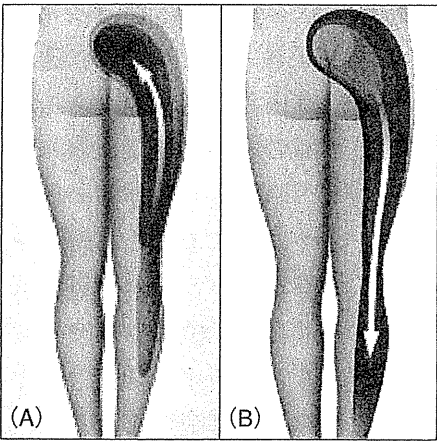


図 6 よい兆候と悪化の兆候を見極めるポイント<sup>10,11)</sup>

- A: 腰を反らせるエクササイズを行って見た際に、痛みや腰を反らせる範囲がよくなることやセントラライゼーションは、この体操が合っていることを示すサインである。セントラライゼーション(痛みやしびれの中央化)とは腰だけでなく殿部から下(脚)にも症状がある場合、脚のほうから腰部へ症状が移動することであり、よい兆候である。
- B: 痛みやしびれが末梢(大腿、ふくらはぎやすねのほう)に放散する、あるいは腰部から遠位(殿部、大腿のほう)に移動する場合は悪い兆候である。具体的には、腰の神経を刺激している症状である可能性がある。体操は中止し、整形外科医に相談するよう指導する。

因する代表的な脊椎のロコモ関連疾患である。とくに高齢者で、背筋が伸びた姿勢になる立ちっぱなしや歩行中に坐骨神経痛を代表とする下肢症状(脚の痛みやしびれ)が生じ、腰がすこし前かがみになる横向きで寝ているときや自転車に乗っているときは楽であるといった場合は、本症がまず疑われる。背筋を伸ばした姿勢では神経の圧迫が強くなり神経の血液循環が悪くなるが、逆にすこし前かがみになると神経の圧迫が減るためとされている。とくに、歩行中に症状が悪化し一時的に歩

けなくなり、前かがみ姿勢ですこし休むとふたたび歩きだせることを間欠跛行とよび、本症に特徴的とされている。

下肢症状に伴う間欠跛行があり、MRI 上その症状を説明できる狭窄がある患者をエントリーし追跡できた 185 例を解析対象とし前向き調査を行った。その結果、3 年後までに手術が行われた症例、保存的経過で不変・悪化症例、保存的経過で改善例はそれぞれ約 1/3 を占めた。保存的改善の予測因子としては、根症状単独(おもに片側下肢痛、単

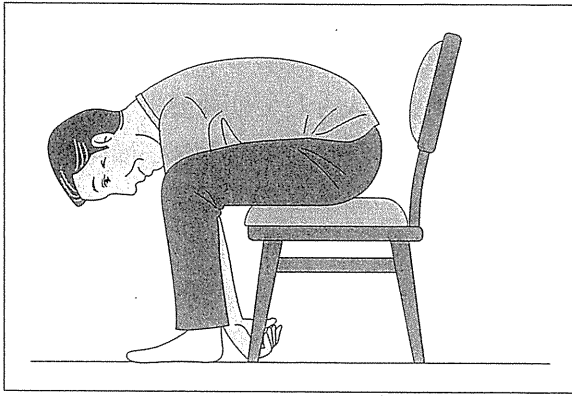


図 7 典型的な腰部脊柱管狭窄症(間欠跛行を伴う片側の坐骨神経痛症状)に対する椅子での屈曲(腰を屈める)体操<sup>14)</sup>

椅子の下をのぞきこませる(3 秒間保持)。屈んだ時に息を吐くよう指導する。診察後、椅子での屈曲体操をまず 5 回行わせ、症状の悪化(下肢症状の出現・増悪、立位での伸展可動域の低下)がないかを確認する。症状が悪化せず、かつ伸展可動域が変化していなければ、さらに 5 回を 1 セットとし、3 セット行わせる。それでも症状と伸展可動域の悪化がなければ、これをホームエクササイズとする(ホームエクササイズ: 10~15 回を 1 セットとし、1 日 5~6 セット)。

根性の症状)であったこと、馬尾症状(両側下肢のしびれを伴うもの、多根性の症状)を伴う場合は、①灼熱感を主とする会陰部症状、②本症由来の膀胱直腸障害を示唆する歩行時尿(便)漏れ感、③不可逆的な症状とされる両足底の安静時しびれのいずれもない、つまり症候としてはまだ重症化していない症例、画像所見においては脊柱管の狭窄程度が重度でなく軽度なほど、そして多椎間狭窄でないこと(つまり単椎間狭窄)が有意で、抑うつが強いことがほぼ有意な因子であった。つまり根型症例、馬尾症状があっても重症徴候がない症例、高度狭窄および多椎間狭窄がない症例は、基本的に保存的に経過をみても妥当であることが示唆された。保存療法としてはわが国では、プロスタグランジン E1 誘導体の内服が第一選択である<sup>15)</sup>。

現状では運動療法単独が本症に有用であるとの十分なエビデンスは得られていないが、著者の経験では、本症のなかでも症候としてもっとも頻度の多い片側の神経根症(とくに第 4/5 腰椎が責任高位で L5 腰髄神経根症状、つまり坐骨神経痛による間欠跛行が多い)に対しては、図 7 に示した屈曲体操を試してみる価値がある。本法もマッケンジー法に基づいた運動療法である。

### 患者への教育

動機づけをきちんとさせ体操を能動的に習慣化させることとともに重要なのは、エビデンス情報に基づいた患者教育である。腰痛のエピソードを頻繁に繰り返したり慢性的に難治化して日常や仕事に支障をきたしている患者では、自分の腰はヘルシーではないとの思い込みからコルセットを常

時装着するなど腰を大事にしようとする意識が強く、安静重視の思考に陥り、活動的に行動することへの恐怖感、警戒心が強くなる傾向にある。二次的に不安障害やうつ状態に陥っている場合もでてくる。前述した腰部脊柱管狭窄症の患者でも抑うつ的な患者は少なくなく、健康関連 QOL の低下に関与している<sup>16)</sup>。専門的には恐怖回避行動(「サイドメモ 5」参照)とよばれ<sup>2)</sup>、これは過去に説明された画像上の異常所見への執着や、無理をしないほうがよいとする安静重視の指導(脊柱管狭窄症では将来車いすになってしまう可能性が高いなどといった発言)など、不用意かつ根拠のない医療者の態度に影響されてのことが少なくない。

まず、このような思考に対し、すべり像を含む変性やヘルニア、分離症、ある程度の狭窄症など

### サイドメモ 5

#### 重要な予後規定因子 “恐怖回避行動”

「私の腰は X 線で正常でなく傷んでいるといわれた。気になってしょうがない」「介護や運送といった、いわゆる重労働は腰にすごく悪いとよくいわれる。心配だ」「自分の仕事は重労働過ぎて、このまま続けていると私の腰はとんでもないことになってしまうとついつい悪い方向に考えてしまう」「いまの腰痛が完治するまでは、とにかく無理をせず通常の仕事には戻らないほうがよい」などといった腰痛に対する強い恐怖感と、それに伴う過剰な活動の制限(恐怖回避行動)が、腰痛の予防や回復にとって好ましくないことがわかっている。ここであげた事項には医学的根拠はなく事実ではない。エビデンスに基づいた情報に基づく正しい教育をし、楽観的に腰痛と向き合わせることを肝要である<sup>9)</sup>。

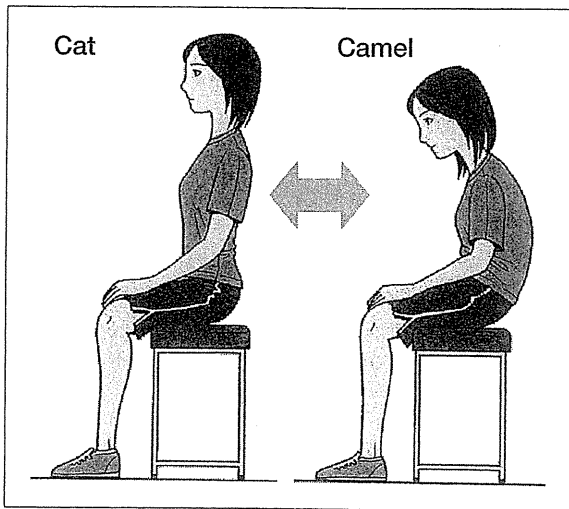


図 8 椅子でのCat & Camel

上体を反る・丸める動作を交互に数秒間保持し、リズムカルに繰り返す。反るときにしっかりと反ることがポイント。椅子に座った状態が長くなる(30分以上など)際に行うと効果的である。

の画像所見はけっして珍しい所見ではなく、かつ無症候性の場合も少なくなく、画像診断と腰痛には強い関連がないという医学的根拠をよく理解させる必要がある。そして現在は、ぎっくり腰でさえも安静にしすぎるとかえって予後が悪く<sup>2,17)</sup>、腰痛があってもできるだけ活動的に行動し、通常の業務を休まず行ったほうが予後がよいという考えが世界的に主流であることを教育する必要がある。

また、腰痛はもつとも頻度の高い、言い換えればだれもが一生涯に一度は経験する痛み愁訴で、一度発症すると基本的に再発を繰り返しやすい、現状では残念ながら完全な治癒と再発予防は難しいとされている。完治をめざすよりも上手に腰痛と付き合いながら、できるだけ日常の活動を妨げないよう患者自身が主体的に考え行動することが重要であることを教育する。以上のことを理解いただくうえで、まずは患者の痛みや disability に共感する態度を示すことがきわめて重要である。

## おわりに

日頃、腹筋・背筋も含め自分なりに鍛えていることは尊いことであり、慢性腰痛の治療としても簡便な腹筋・背筋を主としたホームエクササイズメニューは、支障度のそれほど高くない患者群には非ステロイド系消炎鎮痛薬の内服よりも有効と

するわが国での無作為比較試験の結果が報告されている<sup>18)</sup>。今回、著者が提示した内容は不精な人でも多忙な人でも導入としては習慣化しやすい簡便な予防体操と、いままで体操を含む種々の治療を試してきたもののあまり効果が出ていない人に対して、“だまされたと思って試していただきたい”治療用の体操について概説した。

しかし、紹介した体操も含め運動療法は重要ではあるものの万能ではない。目標は痛みをゼロにしつづけることではなく、ある程度楽な状態を保つセルフコントロール法を身につけ、活動的に過ごしてもらうことであることを忘れないでほしい。たとえば、「まだ痛みは残っているが、だいぶ過ごしやすくなった。ゴルフも再開できた。予防体操(図3)は習慣化している」といったところを三次予防の際には目標設定とし、説明・指導することが肝要である。

加えて簡便な有酸素運動として定期的なウォーキングを、できれば緑のあるコースでの週2回を目標に、ストレス解消目的も兼ねて勤めるとよい。万歩計を携帯させると活動性の向上に役立つ<sup>19)</sup>。さらに著者は、いわゆるコアマッスルの強化とリラクゼーション効果を兼ねうる腹式呼吸と、座位での簡便な体操(Cat & Camel; 図8)を習慣化することを勧めている。

慢性腰痛対策となる趣味としては、ヨガとアレクサンダー・テクニーク(「サイドメモ5」参照)の有益性が、無作為比較試験で示されている<sup>20,21)</sup>。

### サイドメモ 6

#### アレクサンダー・テクニーク

習慣化された体の不必要な緊張に気づき、それをやめることを学ぶ方法。音楽家、俳優、ダンサーが支持している方法で、最近イギリスでは慢性腰痛の治療として推奨されるようになった。20世紀初頭にオーストリア出身でシェイクスピアの俳優(声優)であったフレデリック・マサイアス・アレクサンダーにより方法論化された。ジュリアード音楽院など、欧米では本法を正規の授業として取り入れている音楽学校や演劇学校は少なくない。レッスンを受けた著名人としては、ポール・マッカートニー、スティング、キアヌ・リーブス、ヴィクトリア・ベッカムなどがある。

これらは体を動かすだけでなく、自分の内面をみつめる効果もあるというメリットもある。

心理社会的要因が強い患者に対しては、ヨーロッパガイドライン(慢性腰痛管理)<sup>12)</sup>などでも推奨度の高い認知行動療法<sup>22,23)</sup>を駆使せざるをえないことも覚えておいていただきたい。

## 文献

- 1) Kikuchi, S. : *Eur. Spine J.*, 17(Suppl. 4): S421-S427, 2008.
- 2) 松平 浩 : 産業医学ジャーナル, 33 : 60-66, 2010.
- 3) 松平 浩・他 : 日本整形外科学会雑誌, 84 : 452-457, 2010.
- 4) Matsudaira, K. et al. : *Occup. Environ Med.*, 2010, Sep.10. [Epub ahead of print]
- 5) 松平 浩・他 : 産婦人科治療, 94(増刊) : 749-756, 2007.
- 6) Deyo, R. A. et al. : *JAMA*, 268 : 760-765, 1992.
- 7) Chou, R. et al. : *Lancet*, 373 : 463-472, 2009.
- 8) Burton, A. K. : *Best Prac. Res. Clin. Matol.*, 19 : 541-555, 2005.
- 9) 松平 浩 : 季刊ろうさい, 8, 2011. (in press)
- 10) 松平 浩 : *Jpn. J. Rehabil. Med.* (リハビリテーション医学), 47 : 282-289, 2010.
- 11) 松平 浩 : 季刊ろうさい, 7 : 24-29, 2010.
- 12) Airaksinen, O. et al. : *Eur. Spine J.*, 15(Suppl. 2) : S192-S300, 2006.
- 13) Long, A. et al. : *Spine*, 29 : 2539-2602, 2004.
- 14) 松平 浩・他 : *Geriatric Medicine* (老年医学), 48 : 361-367, 2010.
- 15) Matsudaira, K. et al. : *Spine*, 34 : 115-120, 2009.
- 16) 松平 浩・他 : 日本腰痛学会誌, 15 : 192-196, 2007.
- 17) Matsudaira, K. et al. : *Industrial Health*, 2011. (in press)
- 18) Shirado, O. et al. : *Spine*, 35 : E811-E819, 2010.
- 19) Dena, M. et al. : *JAMA*, 298 : 2296-2304, 2007.
- 20) Williams, K. et al. : *Spine*, 34 : 2066-2076, 2009.
- 21) Little, P. et al. : *Br. J. Sports Med.*, 42 : 965-968, 2008.
- 22) Lamb, S. E. et al. : *Lancet*, 375 : 916-923, 2010.
- 23) 松平 浩, 笠原 論 : 整形外科パサージュ, 1 巻 (山下敏彦編), 中山書店, 2010, pp.267-278.

\* \* \*