

主論文

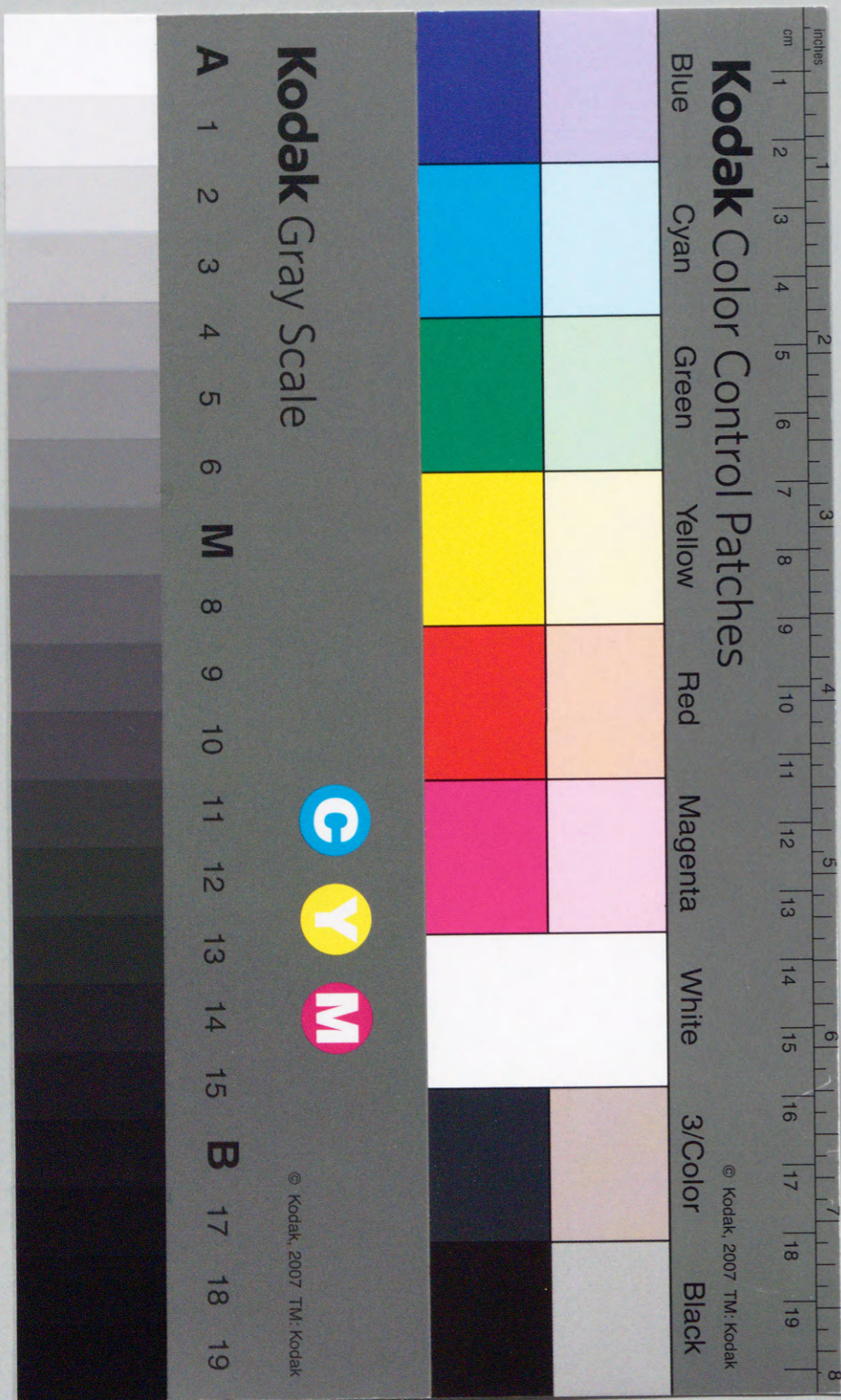


腰椎椎弓根の解剖学的計測

小西池 泰 三¹⁾

中部日本整形外科災害外科学会雑誌 第37巻 第3号 別冊

平成6年5月1日発行



腰椎椎弓根の解剖学的計測

小西池 泰 三¹⁾

(受付:平成6年4月5日, 受理:平成6年4月26日, 特急掲載)

要 旨

三次元的に複雑な構造をしている腰椎椎弓根の解剖学的形態を明らかにする目的で, 屍体標本を用いて, 椎弓根の解剖学的計測を行った. 特に椎弓根螺子固定 (PSF) 法における螺子の形状, 椎弓根への刺入方向との関連について検討した. 各標本について軟X線撮影を行い, 得られたX線像から椎弓根角度と椎弓根短径を計測した. 椎弓根角度は, 水平面における椎弓根角度と前額面における椎弓根角度を計測した. 水平面において, 椎弓根は下位腰椎ほど内方へ傾いていた. 前額面において, 椎弓根は下位腰椎ほど水平化していた. 椎弓根短径は, 水平面における椎弓根短径 (水平径), 側面における椎弓根短径 (矢状径), 螺子刺入軸 (椎弓根軸) に対する椎弓根断面の短径 (短軸径, および髓内径) を計測した. 矢状径は各椎体ではほぼ一定であった. 水平径, 短軸径, 短軸内径はいずれも L1 が最も小さく, 下位腰椎ほど次第に増大していた. 増大の程度は, 髓内径が最小であった. L1 と L5 において, CT を用いて椎弓根短径の計測を行い, 短軸径と比較した. L1 では, CT による短径と短軸径はほぼ同値であるが, L5 では CT による短径が大きくなった. 椎弓根短径の計測において, 水平径および CT における計測は上位腰椎では有効であるが, 下位腰椎となるほど椎弓根の前額面における傾きのために, 実際の短径より大きくなると思われる. 螺子刺入の上で最も重要と考えられる椎弓根の髓内径 (短軸内径) は, L1 で平均 6.4mm, L5 で平均 9.2mm であった.

緒 言

椎弓根に螺子を刺入して脊椎を固定する PSF 法は, 1960年代に開発された¹⁾. この方法は, その手技的

困難さから永らく普及しなかったが, Harrington 法などの他の固定法と比較して⁴⁾⁶⁾, 回旋力に対しても強固な固定力が得られること, 3次元矯正力を持つことより, 最近では広く用いられるようになった. しかし, PSF 法は, 神経根損傷, 椎弓根骨折, 螺子やプレートのゆるみ, さらにその破損等¹⁾¹⁸⁾²¹⁾の合併症も多く報告されている. また, 高齢者の PSF 法は, 骨粗鬆症のためにその固定力が問題となっている³⁾. 螺子破損をきたす屈曲力に対しては, より太い径の螺子が有利であり, また, 固定力に関しては, 螺子の内径と外径のデザインも重要である. このように手術手技上あるいはインプラントを選択する上でも, 椎弓根の解剖学的形態の正確な計測が必要となる. しかし, 本邦における椎弓根の解剖学的計測の報告は, 武田¹⁹⁾らによるもののみであり, また, 欧米の報告²⁾⁷⁾⁸⁾¹²⁾¹³⁾¹⁶⁾¹⁷⁾²²⁾においても, 椎弓根を外部より計測したもので, 螺子径に最も重要である椎弓根髓内径に注目した報告はない. 今回, 特に螺子刺入の方向からみた椎弓根の計測を行い, X線および CT による計測の比較検討を行った.

対象及び方法

屍体標本46体 (男28体, 女18体; 平均年齢76歳, 63~90歳) を用いた. 計測は, 椎弓根角度, 椎弓根短径, CT による短径の計測の3点について行った. 各椎体について Softex 社製軟X線発生装置 (Softex CMB 型) を用い, 軟X線写真撮影を行った. 軟X線撮影における管球とフィルム間の距離は 0.6m とした. 軟X線像上の角度及び長さはシステムサプライ社製 CSS 骨形態計測システムを用いて計測した. 測定は各々3回行い, その平均を計測値とした. 測定誤差はそれぞれ長さで $\pm 0.1\text{mm}$, 角度で ± 1 度とした. 軟X線撮

Anatomical analysis of the lumbar vertebral arch pedicles: Taizou KONISHIIE et al. (Department of Orthopaedic Surgery, Okayama University Medical School)

1) 岡山大学医学部整形外科教室

Key words: Lumbar vertebrae, Anatomy, Radiography, CT

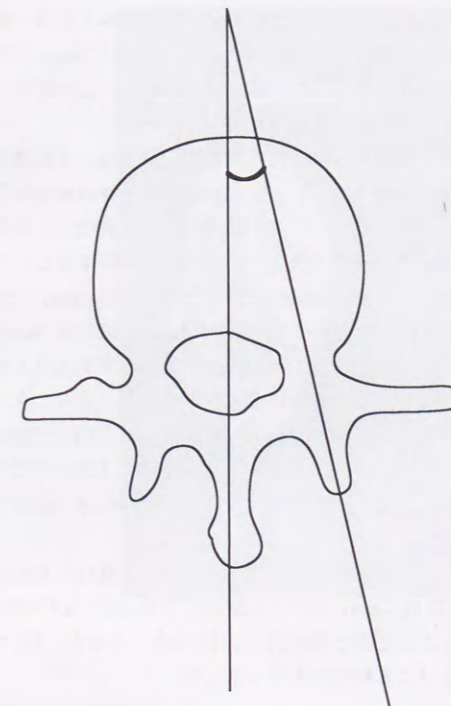


図1 水平面における椎弓根角度

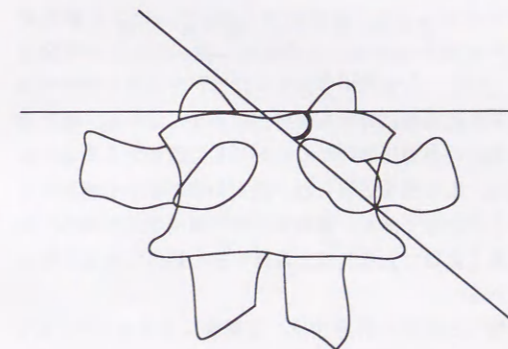


図2 前額面における椎弓根角度

影における長さの計測に対しては, 100mm が 101.3mm に拡大されたことから, 0.987 を乗じて補正した.

1. 椎弓根角度の計測

水平面における椎弓根の傾きについては, 武田らの方法¹⁹⁾を用いて, 椎体上縁とフィルム面を平行にするため, 椎体上縁がフィルム面に接するように上下方向に軟X線撮影を行った. 軟X線像において椎弓根の

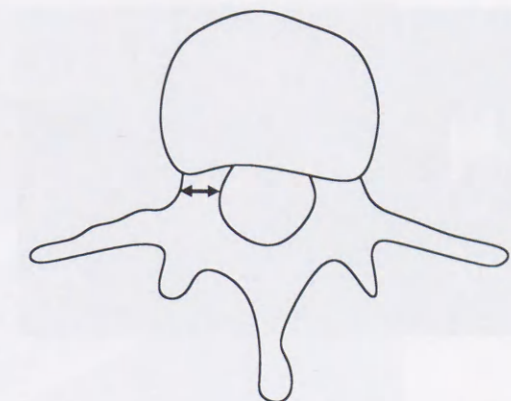


図3 水平径

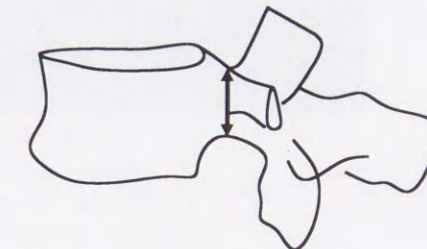


図4 矢状径

最狭部を結ぶ線分の垂直二等分線を椎弓根軸とし, 椎弓根軸と矢状線のなす角度を, 水平面における椎弓根角度とした (図1).

前額面における椎弓根の傾きについては, 前後方向に軟X線撮影を行った. 軟X線像において, 椎弓根長軸と椎体上縁のなす角度を前額面における椎弓根角度とした (図2).

2. 椎弓根短径の計測

椎弓根短径については, 水平面における短径 (水平径), 側面における短径 (矢状径), 椎弓根断面における短径 (短軸径), およびその髓内径を計測した. 水平面における椎弓根角度の計測時に得られた軟X線水平面像より, その椎弓根最狭部の長さを計測し, 水平径とした (図3). 椎体を二つに矢状断し, それぞれ軟X線側面像を撮影した. この軟X線像より椎弓根最狭部の長さを計測し, 矢状径とした (図4). 矢状断した各椎体を水準器を用いて, 椎体上縁の面が床に平行になるように保持し, EXACT 社製 cutting machine (BS-3000型) を用いて, 椎弓根軸に対して垂直な面で椎弓根を 1mm 毎に薄切した (図5). 各切片につ

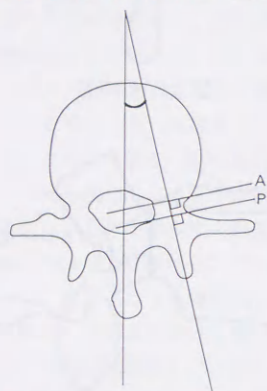
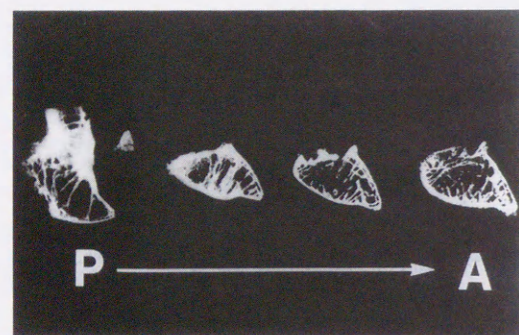


図5 椎弓根断面(右L5)
P(後方), A(前方)を示す。

いて軟X線写真撮影を行った。椎弓根切断面は楕円形をしており、その短軸の長さを短軸径(図6-a, b), その内径を髓内径とした。

3. CTによる計測

屍体標本20体(男11体, 女9体; 平均年齢72歳, 63~87歳)を対象とした。島津SCT-200Tを用い, L1とL5において椎体上縁に平行な面で, 椎弓根中央部でスライスした(スライス幅4mm, W2000, L+200)。CT像にて椎弓根短径を計測し, 軟X線上で計測した短軸径と比較した。

結 果

水平面における椎弓根角度は, L1で平均 10.2° ($SD \pm 2.4^\circ$), 下位腰椎ほど次第に内方へ傾き, L5で平均 32° ($SD \pm 6.0^\circ$)であった(表1)。前額面における椎弓根角度は, L1で平均 83° ($SD \pm 6.0^\circ$), 下位腰椎ほど水平化し, L5で平均 35° ($SD \pm 5.9^\circ$)であった(表2)。

矢状径はL1で平均16.5mm ($SD \pm 1.1$ mm), L5

で平均14.9mm ($SD \pm 2.2$ mm)と各椎体ではほぼ一定であった(表3)。水平径は, L1で平均8.6mm ($SD \pm 1.8$ mm), 下位腰椎程大きくなり, L5で平均20.1mm ($SD \pm 5.1$ mm)であった(表4)。

螺子刺入軸からみた椎弓根断面の形態は, 上位腰椎では楕円形であるが, L5では椎弓根外側は横突起と一体となり, 他のレベルの断面の形態と異なり, 周辺部が扁平な楕円形であった(図6)。短軸径はL1で8.3mm ($SD \pm 1.8$ mm), L5で短軸径11.1mm ($SD \pm 2.3$ mm), 髓内径はL1平均6.4mm ($SD \pm 1.6$ mm), L5平均9.2mm ($SD \pm 1.8$ mm)で, いずれもL1が最も小さく, 下位腰椎ほど大きくなった(表5, 6)。増大の程度は, 髓内径が最小であった。L1で5mm以下のものは6例(14%)に認められたが, L2以下では認めなかった。L5において髓内径の最短は6.9mmであった。

CTによる短径は, L1平均8.3mm ($SD \pm 1.6$ mm), L5平均17.2mm ($SD \pm 3.8$ mm)であった。L1では, CTによる短径と短軸径はほぼ同値であるが, L5ではCTによる短径が大きくなった。

考 察

PSF法のシステムとして, 螺子とプレート⁹⁾¹⁵⁾¹⁸⁾, 螺子とロッド⁸⁾, 螺子とワイヤー⁵⁾, ピンと創外固定¹⁰⁾を組み合わせたものなど, 種々のものが開発されている。いずれのシステムにおいてもその固定力は, 螺子の椎弓根に対する保持力にかかっている。特に骨粗鬆症の患者においてしっかりした固定力を得るためには, 椎弓根を破壊しない最大の径の螺子を刺入することが理想である。腰椎椎弓根の解剖学的計測のなかで最も重要であるのは, 各椎弓根の短径であると考えられる。

椎弓根短径の計測法は, X線像によるもの²²⁾, CTを用いたもの⁸⁾²²⁾, 椎体標本を実測したもの²⁾¹⁷⁾¹⁹⁾に大別される。また, CTを用いた報告でも, Misenhimerら¹¹⁾は, 椎弓根水平面ではなく椎弓根冠状面を計測している。Olsewskiら¹²⁾は椎弓根径を, 実測にて計測しているが, それはBerryら²⁾が計測した椎弓根短径ではなく, 水平径(図6-d)を計測している。このように諸家によって, 計測法および計測対象が異なり, 諸家の計測値を比較する場合, その計測法および計測対象に差異があり, 一定の解答は得られていない。

Kragら⁷⁾は, 椎弓根の最短径は水平面上であると

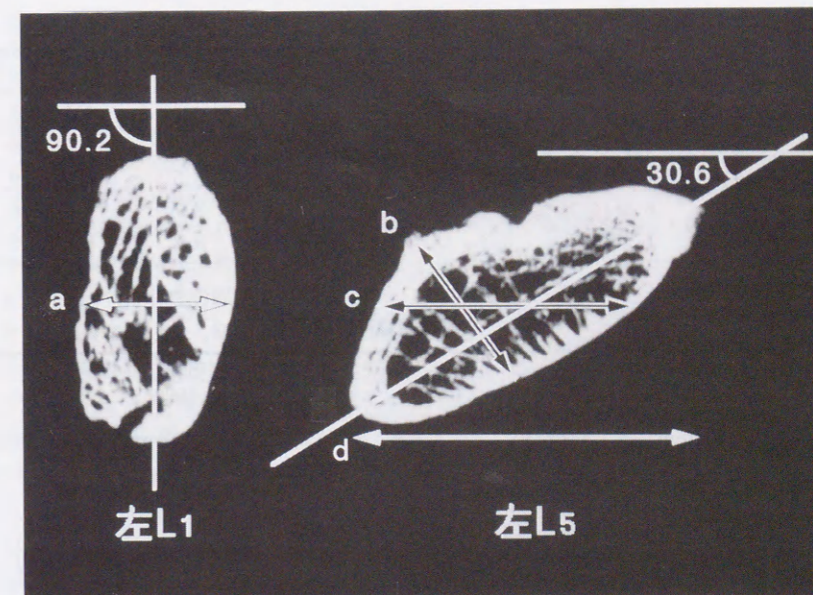


図6 椎弓根断面(68歳, 男性)
各矢印はそれぞれb: 短軸径,
c: CTの短径, d: 水平径を示す。
a: L1では各径はほぼ一定となる。

表1 水平面における椎弓根角度

Level	N	Mean($^\circ$)	Range($^\circ$)	SD($^\circ$)
L1	54	10.2	6.0-15.0	2.4
L2	43	12.5	7.0-17.0	2.7
L3	70	16.2	7.0-25.0	5.1
L4	81	20.3	10.0-30.0	5.4
L5	85	32.0	20.0-41.0	6.0

表2 前額面における椎弓根角度

Level	N	Mean($^\circ$)	Range($^\circ$)	SD($^\circ$)
L1	43	83.2	70.0-91.0	6.0
L2	26	79.8	77.0-84.0	3.2
L3	38	76.5	51.0-88.0	14.0
L4	54	50.7	23.0-84.0	16.3
L5	58	35.0	25.0-46.0	5.9

表3 水平径

Level	N	Mean(mm)	Range(mm)	SD(mm)
L1	54	8.8	6.0-10.9	1.8
L2	43	10.9	8.8-13.4	1.8
L3	70	10.5	7.0-15.8	2.0
L4	81	13.4	8.9-19.4	2.8
L5	85	20.1	13.8-33.0	5.1

表4 矢状径

Level	N	Mean(mm)	Range(mm)	SD(mm)
L1	44	16.5	15.1-18.3	1.1
L2	39	15.7	12.3-19.1	1.9
L3	56	15.2	13.0-18.9	1.7
L4	75	14.2	9.8-18.0	2.1
L5	78	14.9	13.0-20.0	2.2

表 5 短軸径

Level	N	Mean(mm)	Range(mm)	SD(mm)
L1	42	8.3	5.3-11.3	1.8
L2	33	8.8	6.6-10.6	1.1
L3	51	9.4	7.4-11.5	1.3
L4	68	9.8	6.2-14.0	2.1
L5	74	11.1	7.9-15.2	2.3

表 6 髓内径

Level	N	Mean(mm)	Range(mm)	SD(mm)
L1	42	6.4	3.8-10.3	1.6
L2	33	7.1	5.5-11.9	1.1
L3	51	8.5	6.0-10.9	1.3
L4	68	8.7	5.8-13.6	2.1
L5	74	9.2	6.9-13.9	1.8

表 7 椎弓根短径の比較

Level	本研究における髓内径	Zindrick (1987)	Krag (1988)	Berry (1987)	Scoles (1988)	武田 (1990)
L1	6.4mm	8.7mm	7.0mm	7.0mm	8.3mm	8.0mm
L2	7.1	8.9	8.4	7.5	—	8.1
L3	8.5	10.3	9.1	9.2	9.1	9.1
L4	8.7	12.9	10.8	10.4	—	10.0
L5	9.2	18.0	13.8	10.7	9.7	10.4

し、CT を用いて計測を行ない、L1 で 7.0mm、L5 で 13.8mm と報告した。Zindrick ら²²⁾は、CT および X線像から L1 で 8.7mm、L5 で 18.0mm と報告した。

これに対して、Berry ら²⁾、Scoles ら¹⁷⁾は、椎弓根は 3 次元に複雑な形態であり、1 平面だけをとらえる CT では正確な計測は得られないとして、椎弓根をノギスにて実測している。Berry ら²⁾は L1 で 7.0mm、L5 で 10.7mm、Scoles ら¹⁷⁾は、L1 で 8.3mm、L5 で 9.7mm であるとしている(表 7)。

L5 における計測差の原因について、武田ら¹⁹⁾は、椎弓根が下位腰椎前額面において水平化するために、CT による計測は下位腰椎程実際より大きくなるとしている。L1 においては、水平径、CT による短径、短軸径はほぼ同値と考えられるが、下位腰椎前額面における椎弓根角度は減少し、L5 では各径はそれぞれ異なる部位を計測していることになる(図 6)。武田ら¹⁹⁾は、螺子径を決定する上で最も重要であるのは、実測によって計測された椎弓根短径であるとしている。

しかし、ノギスによる実測は椎弓根を外方より計測したものである。Misenhimer ら¹¹⁾は、屍体実験で椎弓根内径より太い螺子を刺入したとき 83% に椎弓根の膨張、螺子の逸脱、椎弓根の骨折を生じ、椎弓根骨折の 28% は椎弓根内側にみられたと報告している。椎弓根内側の骨折は、臨床的には、容易に神経根障害につ

ながり、このため Misenhimer ら¹¹⁾は安全に螺子を刺入するには、椎弓根の骨皮質を除いた内径が重要であるとした。

今回の検討では、螺子径を決定する上で最も重要であるのは、螺子刺入軸からみた椎弓根断面の髓内径と考え、その計測を行った。螺子刺入軸は、Roy-Camille ら¹⁵⁾のいう矢状方向ではなく、Krag ら⁷⁾の軸とした。髓内径は、諸家の計測値と同様に L1 が最短で、下位にいくほど次第に大きくなったが、増大の程度は諸家の報告より軽度であった(表 7)。Krag ら⁷⁾は、第 10 胸椎以下には 5mm 以下の椎弓根は存在せず、L5 においては全例 8mm 以上であり、下位腰椎においては 5mm 以上の螺子も使用可能であるとしている。本研究の計測における髓内径でも、L1 の一部を除いて、L2 以下には 5mm 以下の椎弓根は認めなかった。L5 における髓内径の最小は 6.9mm であり、L5 においては 7mm 径の螺子もほぼ使用可能と考えられた。

PSF 法における螺子外径は 4.0mm から 8.5mm まで種々のものが使用されている。Steffee¹⁸⁾では、1 つのシステムで 4.5、5.5、6.25、7mm と 4 種類の螺子が用意されている。螺子破損をきたす屈曲力に対しては、より太い径の螺子が有利である。また、引き抜き力に関しては、螺子のデザイン⁷⁾も重要であると考えられる。

螺子を安全に刺入するには、使用する螺子径以外に

螺子の刺入方向および螺子の刺入点も重要である。PSF 法における螺子の刺入方向について、Krag⁷⁾、Zindrick ら²²⁾は、下位腰椎では、椎弓根の内方傾斜に応じて内方へ向けて刺入している。一方、Roy-Camille ら¹⁴⁾は、螺子を矢状方向に刺入している。この理由として、Roy-Camille ら¹⁴⁾は、椎弓根内側下方に神経根が走行しており、椎弓根からの螺子の逸脱は神経根損傷の可能性があるが、外側は比較的安全であること、4mm 程度の螺子を用いるのであれば、椎弓根を破壊することなく螺子の刺入が可能であるとしている。L5 の椎弓根短径は他のレベルの椎弓根短径より大きい、L5 の髓内径は諸家の報告より小さく、その断面の楕円形は、L5 では特に周辺部の径が中央部に比較して狭い(図 6)。より径の大きい螺子を使用する方が、螺子破損に対して有利であることを考えると、L5 においては内方に向けて螺子を刺入した方が一般的と考えられる。

螺子の刺入点について、Roy-Camille ら¹⁵⁾は、横突起中央部の線上で椎間関節の 1mm 尾側としている。Weinstein ら²¹⁾は、椎間関節を破壊しないように Roy-Camille ら¹⁵⁾の刺入点よりやや外側より刺入している。Weinstein ら²¹⁾は、屍体実験にて、この 2 つの刺入点から螺子を刺入し、その成功率を比較している。上位腰椎では、Roy-Camille ら¹⁵⁾の刺入点の方が成功率が高く、下位腰椎では Weinstein ら²¹⁾の刺入点の方が成功率が高かったと報告している。これは、椎弓根は下位腰椎程水平面において内方へ傾いているため、椎弓根中央の軸は下位腰椎程外側になるためと考えられる。

術前に X線像による椎弓根短径を計測する場合、X線正面像による椎弓根短径の計測は、上位腰椎では有効であるが、椎弓根は下位腰椎ほど内方傾斜を強めるために、L4、5 では椎弓根外側縁が横突起と重なり、判定困難である。したがって、各椎弓根の水平面における椎弓根角度に応じた斜位像が必要であると考えられる。

CT による椎弓根短径の計測は、CT にて得られた計測値に各椎弓根の前額面における椎弓根角度の正弦を乗じたものが、近似すると考えられる(図 6)。螺子の径は、この計測値より骨皮質の厚さを減じたものが適当と考えられる。あるいは、3次元 CT により、螺子刺入軸からみた椎弓根短径にて決定されたと考えられた。

結 語

屍体標本 46 体を用いて、特に螺子刺入軸からみた椎弓根の計測を行った。椎弓根は下位腰椎ほど、水平面において内方へ傾き、前額面において水平化した。短軸内径は L1 平均 6.4mm、L5 平均 9.2mm で、増大の程度は他家の報告より軽度であった。

稿を終えるにあたり、御指導と御高聞を賜りました井上一教授に深く謝意を表します。また、直接御指導いただいた中原進之助教授に深謝いたします。さらに本研究に御協力いただきました岡山大学第二解剖学教室村上宅郎教授、ならびに同教室の皆様にご挨拶申し上げます。

文 献

- 1) Akbarnia, B. A., Fogarty, J. P., Tayob, A. A.: Contoured Harrington instrumentation in the treatment of unstable spinal fractures. Clin. Orthop., **189**: 186-194, 1984.
- 2) Berry, J. L., Berg, W. S., Steffee, A. D. et al.: A morphometric study on human lumbar and selected thoracic vertebrae. Spine, **12**: 362-367, 1987.
- 3) Coe, J. D., Warden, K. E., Herzog, M. A. et al.: Influence of bone mineral density on the fixation of thoracolumbar implants. A comparative study of transpedicular screws, laminar hooks, and spinous process wires. Spine, **15**: 902-907, 1990.
- 4) Coventry, F. R., Minter, M. A., Smith, R. W. et al.: Fracture dislocation of the dorsolumbar spine. Acute operative stabilization by Harrington instrumentation. Spine, **3**: 160-166, 1978.
- 5) Edurado, R., Luque, E.: Interpedicular segmental fixation with screw and plates. Clin. Orthop., **203**: 54-57, 1986.
- 6) Gertzbein, S. D., MacMichael, D., Tile, M.: Harrington instrumentation as a method of fixation in fractures of the spine. A critical analysis of deficiencies. J. Bone Joint Surg., **64-B**: 526-529, 1982.
- 7) Krag, M., Beynon, B. D., Pope, M. H. et al.: An internal fixation for posterior application to short segment for the thoracic, lumbar, or lumbosacral spine. Clin. Orthop., **203**: 75-98, 1986.
- 8) Krag, M. H., Weaver, D. L., Beynon, B. D. et al.:

- Morphology of the thoracic and lumbar spine as related to transpedicular screw placement for surgical spinal fixation. *Spine*, **13**: 27~32, 1988.
- 9) Louis, R.: Fusion of the lumbar and sacral spine by internal fixation with screw plates. *Clin. Orthop.*, **203**: 18~33, 1986.
- 10) Magerl, F. P.: Stabilization of the lower thoracic and lumbar spine with external skeletal fixation. *Clin. Orthop.*, **189**: 125~141, 1984.
- 11) Misenhimer, M. D., Peek, R. D., Wiltse, M. D. et al.: Anatomic analysis of pedicle cortical and cancellous diameter as related to screw size. *Spine*, **14**: 367~372, 1989.
- 12) Olsewski, J. M., Simmons, M. D., Kallen, F. C. et al.: Morphometry of the lumbar spine: Anatomical perspectives related to transpedicular fixation. *J. Bone Joint Surg.*, **72-A**: 541~549, 1990.
- 13) Panjabi, M. M., Goel, V., Takata, K. et al.: Human lumbar vertebrae. Quantitative three-dimensional anatomy. *Spine*, **17**: 299~306, 1992.
- 14) Roy-Camille, R., Saillant, G., Mazel, C. et al.: Plating of thoracic, thoracolumbar, and lumbar injuries with pedicle screw plates. *Orthop. Clin. North Am.*, **17**: 147~159, 1986.
- 15) Roy-Camille, R., Saillant, G., Mazel, C.: Internal fixation of the lumbar spine with pedicle screw planning. *Clin. Orthop.*, **203**: 7~17, 1986.
- 16) Saillant, G.: Anatomical study of vertebral pedicles, surgical application. *Rev. Chir. Orthop.*, **62**: 151~160, 1976.
- 17) Scoles, P. V., Linton, A. E., Latimer, B. et al.: Vertebral body and posterior element morphology: The normal spine in middle life. *Spine*, **13**: 1082~1086, 1988.
- 18) Steffee, A., Biscup, R., Sitkowski, D.: Segmental spine plates with pedicle screw fixation. *Clin. Orthop.*, **203**: 45~53, 1986.
- 19) 武田直樹: 腰椎椎弓根の解剖学的計測と Pedicular Screwing. *整外MOOK*, **No. 1**: 299~304, 1990.
- 20) Van Shaik, J. J. P., Verbiest, H., Van Shaik, F. D. J.: Morphometry of lower lumbar vertebrae as seen on CT scans. *Am. J. Roentgenol.*, **145**: 327~335, 1985.
- 21) Weinstein, J. N., Spartz, K. F., Spengler, D. et al.: Spinal pedicle fixation: Reliability and validity of roentgenogram-based assesment and surgical factors on successful screw placement. *Spine*, **13**: 1012~1018, 1988.
- 22) Zindrick, M. R., Wiltse, L. L., Doornik, A. B. et al.: Analysis of the morphometric characteristics of the thoracic and lumbar pedicles. *Spine*, **12**: 160~166, 1987.

