慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	日本人脊椎骨の解剖学的, 放射線学的研究
Sub Title	
Author	野尻, 賢哉(Nojiri, Kenya) 戸山, 芳昭(Toyama, Yoshiaki)
Publisher	慶應医学会
Publication year	2006
Jtitle	慶應医学 (Journal of the Keio Medical Society). Vol.83, No.3 (2006. 9) ,p.T45- T55
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	学位論文
Genre	Journal Article
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00069296-20060901-0045

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

慶應医学・83(3)：T45～T55，2006

学位論文

日本人脊椎骨の解剖学的，放射線学的研究

慶應義塾大学医学部整形外科学教室
（指導：戸山芳昭教授）
野尻賢哉（のじりけんや）

（平成17年9月16日受付）

Key Words：Japanese, spine, anatomy, radiology

緒　言

脊椎の変性疾患や外傷，変形，腫瘍など，脊柱支持性の破綻を来たす脊椎疾患に対して，脊椎後方固定術による脊柱再建が一般的に行われる．その際には変形の矯正や即時支持性の獲得を目的に内固定材を必要とする場合が多い．1960年代に開発された椎弓根スクリュー法[1]は，後方から椎弓根に刺入したスクリューをロッドやプレートに連結させ，脊椎を固定する方法である．椎弓根が脊椎の中で最も力学的に強固な部位であることから，本法により極めて安定した固定性が獲得される．したがって，現在最も一般的な脊椎内固定法として広く行われている．しかし，椎弓根スクリュー法には神経根損傷，椎弓根損傷，血管損傷，スクリューの折損などの合併症を伴う場合がある．過去の臨床例の報告では，椎弓根外へのスクリューの逸脱や椎弓根の破壊が，Sapkas ら[2]は3.63%，Esses ら[3]は7.5%に生じたと述べている．これらの合併症を回避するためには，スクリューの椎弓根への正確な刺入が不可欠であり，その前提として椎弓根の解剖学的な知識が必要である．このような背景から，多くの椎弓根の解剖学的研究が近年行われるようになった．研究の方法としては骨標本の直接計測[4-14]，CT[15-19]やX線[20]を用いた骨標本や生体の画像計測などが報告されている．しかしながら，従来の報告の大半は海外のものであり，これらの計測結果に基づいて開発され，使用される内固定材が実際の臨床の場では日本人患者には適合しない場合が散見される．西洋人よりも体格が平均的に小さい日本人をはじめとした東洋人脊椎[8, 9, 13, 17, 21-28]の形態計測の報告は少ない．

胸椎の椎弓根は腰椎よりも細く，椎弓根スクリューを刺入することが困難であるため，胸椎にはスクリューの代わりに手技的により容易なフックを椎間関節や椎弓に設置する方法が一般的である．しかし，胸椎椎間関節や椎弓に関する解剖学的な報告も国内では渉猟し得る限り見られない．

そこで今回我々は，日本人の胸腰椎晒浄骨標本の直接計測および腰椎疾患腰椎のCTを用いた画像計測を行い，日本人胸腰椎の詳細な形態計測を行った．その目的は胸腰椎に対する内固定材を用いた手術や，日本人に適した胸腰椎の内固定材を開発する際に参照しうる基礎的な解剖データを得ることである．

対象および方法

A．晒浄骨の形態計測

1）対象および計測方法

東京慈恵会医科大学解剖学教室所蔵の日本人の晒浄骨で，破損や加齢性変化が明らかな標本を除外した103体（男性56体，女性47体）を対象とした．対象は西暦1883-1946年に生まれ，1950-1992年に死亡し，死亡

本論文は Nojiri K, Matsumoto M, Chiba K, Toyama Y：Morphometric analysis of the thoracic and lumbar spine in Japanese on the use of pedicle screws. Surg Radiol Anat 27：123-128；2005 の一部，また，Nojiri K, Matsumoto M, Chiba K, Toyama Y, Momoshima S：Comparative assessment of pedicle morphology of the lumbar spine in various degenerative diseases. Surg Radiol Anat 27：317-321；2005 の一部を，許可を得て引用した．

表1　頚骨標本の死亡時年齢分布

年齢（歳）	男性	女性
20-29	3	3
30-39	5	3
40-49	10	5
50-59	17	13
60-69	11	12
70-79	7	9
80-	3	2
Total	56	47

（Nojiri K et al：Surg Radiol Anat 27：123-128, 2005 の Table 1 を許可を得て転載，改変）

時年齢は20-85歳（平均55.6歳）であった（表1）．計測はすべて著者が行った．全ての計測は3回行ってその値を平均した．距離の計測は測定精度が 1/100 mm の電子ノギス（NSK 社製，東京）を用いて 1/10 mm の単位まで計測した．角度は直接計測が困難なため，デジタルカメラ（Cyber Shot®，300万ピクセル，Sony，東京）を使用して椎骨の下面と側面を撮影し，画像をパーソナルコンピューター（Vaio®，Sony，東京）にとりこみ，画像解析ソフト（Scion version 4, Scion Corporation, MD, USA）を用いて0.1度の単位まで計測した．椎骨の撮影は椎体上面が地面と平行になるよう

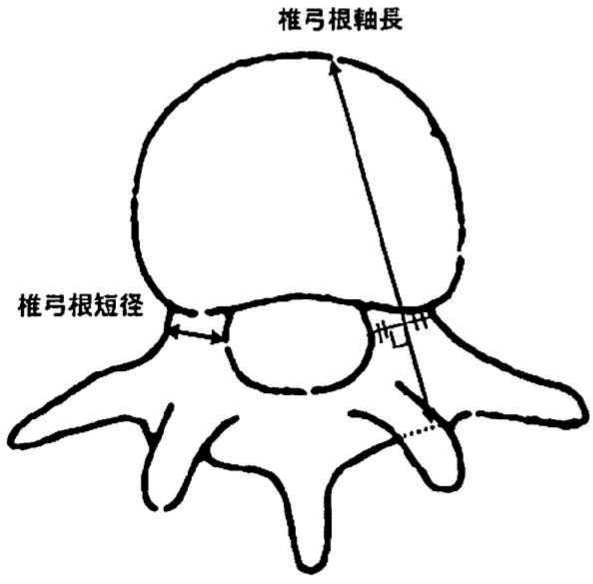

図1
椎弓根短径：Berry ら[4]の方法に従い，椎弓根最狭部の最小径を短径とした．椎弓根軸長：椎弓根軸は Zindrick ら[19]の方法に従い，椎弓根の最狭部の垂直二等分線とし，椎弓根軸長は椎弓根軸上で椎弓後縁から椎体の前方までとした
（Nojiri K et al：Surg Radiol Anat 27：123-128, 2005 の Fig. 1 を許可を得て転載，改変）

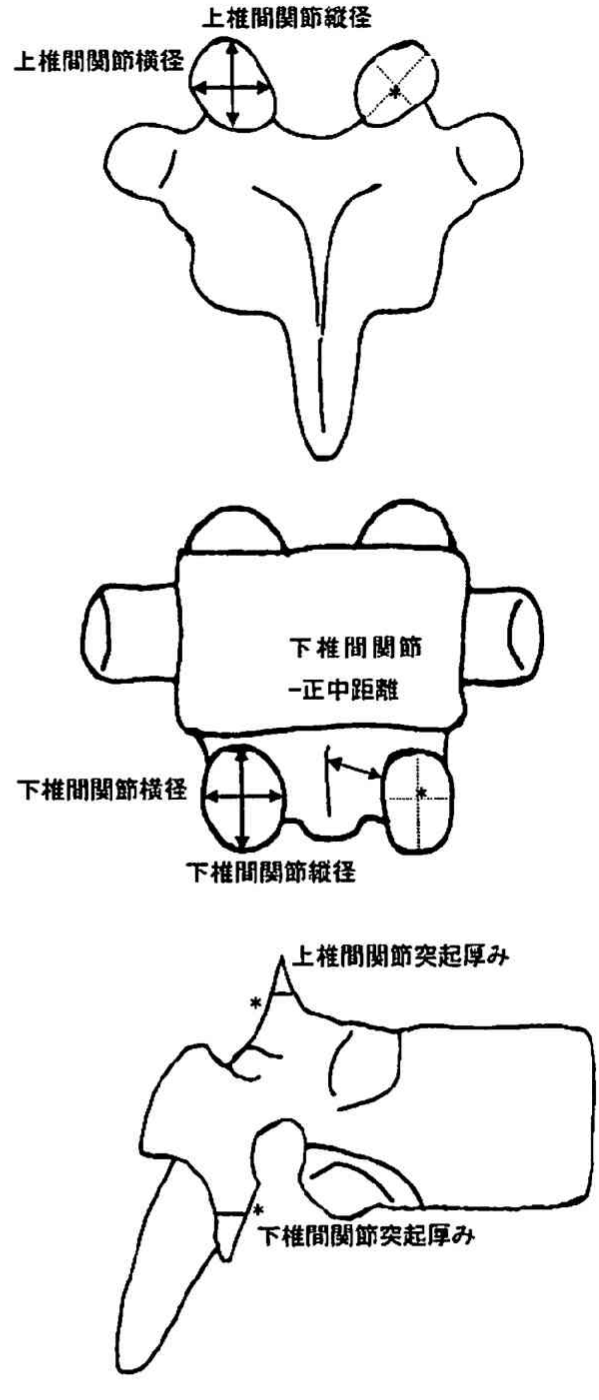

図2
上・下椎間関節縦，横径，上・下椎間関節突起の厚み：Ebraheim ら[3]の方法に従い，椎間関節面の最大径と最小径の交点を中点として，その中点を通る垂線を縦径，水平線を横径とし，前後を厚みとした．下椎間関節-正中距離：椎弓内側面の下椎間関節の内側から正中までの最短距離とした．
（Nojiri K et al：Surg Radiol Anat 27：123-128, 2005 の Fig. 2 を許可を得て転載，改変）

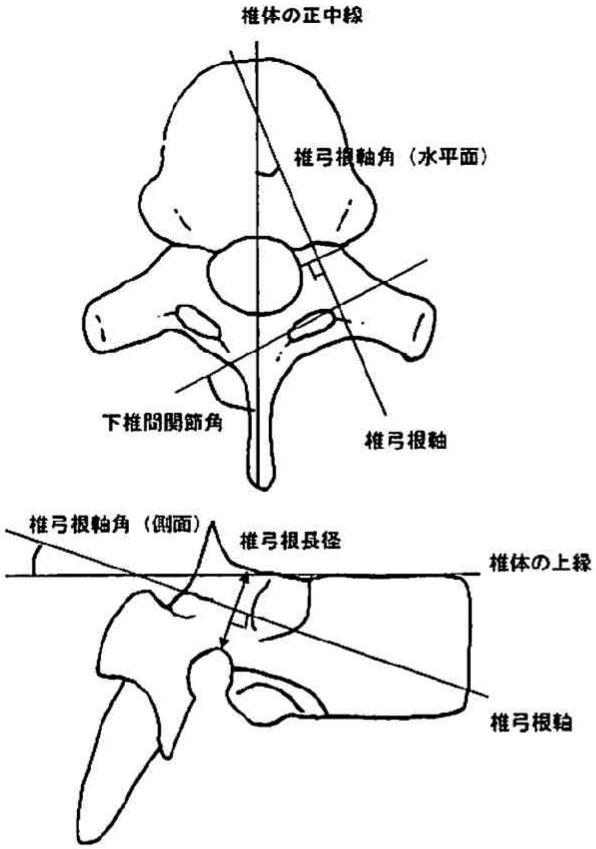

図3
椎弓根長径：椎弓根最狭部の最大径とした．椎弓根軸角（水平面，側面）：Olsweski ら[30]の方法に従い椎弓根軸と椎体の正中線とのなす角を椎弓根軸角（水平面）とし，内側方向を（+），外側方向を（−），椎体の上縁と椎弓根軸とのなす角を椎弓根軸角（側面）とし，尾側方向を（+），頭側方向を（−）とした．下椎間関節角：下椎間関節面と椎体の正中線とのなす角とした．
（Nojiri K et al：Surg Radiol Anat 27：123-128, 2005 の Fig. 3 を許可を得て転載，改変）

椎体を把持器で固定した状態で椎体下面からと，棘突起の正中軸面が地面と平行になるように把持して椎体左側からと，それぞれ100 cm の距離から行った．また，標本の身長を推定するために，大腿骨標本の計測は計測器からの直接計測で，藤井の推定式[29]（身長（cm）：男性＝81.3＋1.88×大腿骨の最大長（cm），女性＝72.8＋1.945×大腿骨の最大長（cm））を用いて推定身長を求めた．

計測部位に骨棘などの変形があれば，その部位は除いて計測した．

2）計測項目

椎弓根短径，椎弓根長径，椎弓根軸長：T8-T12，L1-L5 高位の計測を行った．Berry ら[4]の方法に従い，椎弓根最狭部の最小径を短径，最大径を長径とした．椎弓根軸は Zindrick ら[19]の方法に従い，椎弓根の最狭部の垂直二等分線とし，椎弓根軸長は椎弓根軸上で椎弓後縁から椎体の前方までとした（図1，3）．

椎弓根軸角（水平面，側面）：T1-T12，L1-L5 高位についてデジタル画像から計測した．Olsweski ら[30]の方法に従い椎弓根軸と椎体の正中線とのなす角を椎弓根軸角（水平面）とし，内側方向を（+），外側方向を（−），椎体の上縁と椎弓根軸とのなす角を椎弓根軸角（側面）とし，尾側方向を（+），頭側方向を（−）とした（図3）．

上・下椎間関節の縦横径，上・下椎間関節突起の厚み：T1-T12 高位の計測を行った．Ebraheim ら[31]の方法に従い，椎間関節面の最大径と最小径の交点を中点として，その中点を通る垂線を縦径，水平線を横径とし，前後を厚みとした（図2）．

下椎間関節-正中距離：T1-T12 高位の計測を行った．椎弓内側面の下椎間関節の内側から正中までの最短距離とした（図2）．

下椎間関節角：T1-T12 高位をデジタル画像から計測した．下椎間関節面と椎体の正中線とのなす角とした（図3）．

B. CT を用いた形態計測

1）対　象

対象は2000-2002年に慶應義塾大学病院で脊椎疾患に対し手術を行う前提で，脊髄造影後に CT を行った136例（男性91例，女性45例）とした．全例で検査の前に，CT 画像を研究に使用することに関してインフォームドコンセントを得た．年齢は21-86歳で平均年齢は58.4歳（男性56.6歳，女性62.2歳）であった．対象疾患の内訳は，L4 変性すべり症25例（DS 群：男性9例，女性16例），腰部脊柱管狭窄症54例（LCS 群：男性41例，女性13例，狭窄高位：L4/5 21例，L3/4-4/5 17例，L3/4 5例，L2/3-4/5 5例，L2/3-3/4 2例，L5/S 2例，L1/2-3/4 1例，L3/4-5/S 1例)），腰椎椎間板ヘルニア42例（LDH 群：男性32例，女性10例，ヘルニア高位　L1/2 1例，L2/3 4例，L3/4 2例，L4/5 25例，L5/S 10例），対照群15例（Control 群：男性9例，女性6例，腰椎疾患を有さない頚胸髄腫瘍）であった．なお，前屈位単純 X 線で L4 の前方すべりが10%以上の患者を DS 群とした．手術時に明らかに脱出したヘルニアを認めた群を LDH 群とした．ヘルニアに狭窄症を合併した症例は LCS 群とした．平均年齢は DS 群：67.2歳（男性70.0歳，女性65.7歳），LCS 群：66.4歳（男性65.3歳，女性70.0歳），LDH 群46.4歳（男性45.5歳，女性49.0歳），対照群48.9歳（男性43.1歳，

女性57.7歳）であった．

2）撮像および計測方法

CTの使用機種はLemage Supreme scanner (General Electric Inc, Waukesha, WI) であり患者は腹臥位としてL1－L5まで2 mm間隔のスライスで各椎体上縁と平行にガントリーを設置して撮影した．得られたDICOM形式の画像ファイルから各椎弓根の中央部のスライスを選択し，パーソナルコンピュータ（Sony, Vaio®, Tokyo, Japan）に取り込んだ．画像解析ソフト（Scion version 4, Scion Corporation, MD, USA）を用いて，L1-L5の両側の椎弓根短径，椎弓根軸長，椎弓根軸角を計測した．計測法はZindrickら[19]に従い椎弓根短径は椎弓根の最狭部の幅とし，椎弓根軸長は短径の垂直二等分線で椎体の前縁から椎弓の後縁までの距離，椎弓根軸角は短径の垂直二等分線と椎体の正中線とのなす角とした（図4）．計測はすべて著者が3回行い，その平均値を計測値とした．

統計は統計解析ソフトSPSS（SPSS Inc.；IL, USA）を使用し，Student's もしくはpaired t-testを性差，左右差の検定に使用し，年齢と各計測値の相関はPearsonの相関係数を用いて評価した．CT計測値の疾患群の比較にはAnalysis of variance（ANOVA/Scheffé's post hoc analysis）を使用した．いずれの検定も危険率5％未満で有意差ありとした．

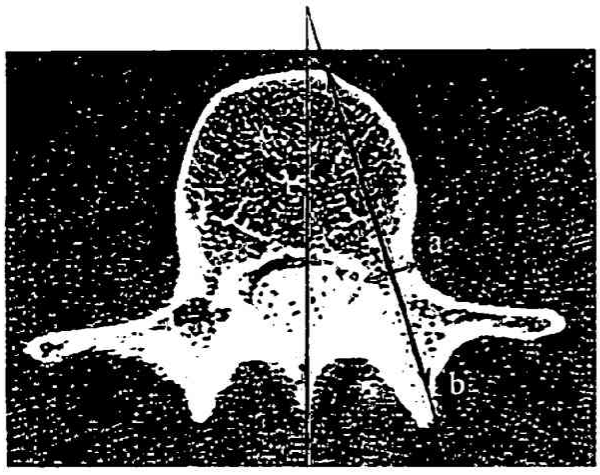

図4
計測法はZindrickら[19]に従い椎弓根短径は椎弓根の最狭部の幅とし，椎弓根軸長は短径の垂直二等分線で椎体の前縁から椎弓の後縁までの距離．椎弓根軸角は短径の垂直二等分線と椎体の正中線とのなす角とした
(Nojiri K et al：Surg Radiol Anat 27：317-321, 2005のFig. 1を許可を得て転載，改変)．

結　果

A．晒浄骨を用いた形態計測（表2）

推定身長：藤井の推定式を用いた結果，標本の推定身長は男性160.1±7.0 cm，女性148.9±4.1 cmであった．

椎弓根短径：T8（男性5.1±1.2 mm，女性4.8±0.9 mm）が最小でT12（男性8.1±1.6 mm，女性7.7±1.5 mm）まで徐々に増加し，上位腰椎で再び減少し，下位腰椎にかけて再度大きくなり，L5（男性11.1±1.7 mm，女性10.6±1.5 mm）で最大となった．

椎弓根長径：T8（男性11.7±1.3 mm，女性10.9±1.3 mm）が最小でT12（男性17.0±2.8 mm，女性16.6±1.5 mm）まで増加し，上位腰椎で減少，中下位腰椎で増加しL5（男性20.7±3.0 mm，女性20.2±2.3 mm）で最大となった．

椎弓根軸長：T8（男性38.2±3.4 mm，女性36.6±2.8 mm）が最小でT11（男性38.8±3.6 mm，女性36.7±2.9 mm）までほとんど変化がなく，T12（男性39.9±4.0 mm，女性37.7±3.3 mm）から最大のL3（男性45.0±3.7 mm，女性43.6±3.4 mm）まで長くなり，下位腰椎にかけて短くなった．

上椎間関節縦径，横径，上関節突起の厚み：縦径はT1-12の全高位でほとんど変化はなかった．横径はT1（男性11.3±1.5 mm，女性10.4±1.7 mm）が最大で，T7（男性9.0±1.3 mm，女性8.3±1.2 mm）まで減少し，下位胸椎にかけ増加し，T12で減少した．厚みは男性でT1-T5，女性でT1-T4まで次第に減少し，中下位胸椎で増加しT12（男性4.3±0.8 mm，女性4.2±1.2 mm）で最大であった．

下椎間関節縦径，横径，下関節突起の厚み：縦径はT1（男性9.2±1.6 mm，女性8.4±1.3 mm）で最小値を示し，T5まで次第に増加し，女性はT7，男性はT8まで減少し，下位胸椎で増加しT12（男性11.1±1.9 mm，女性10.4±1.7 mm）で最大であった．横径はT1からT6まで減少したのちに増加し，T10（男性10.8±1.5 mm，女性9.9±1.5 mm）で最大であった．厚みはT1から減少しT6, 7で最小，下位胸椎で増加しT12（男性5.0±0.9 mm，女性4.8±0.9 mm）で最大であった．

下椎間関節-正中距離：T1-4まで減少し，T6から次第に増加し，T12（男性8.8±1.5 mm，女性8.4±1.3 mm）で最大であった．

椎弓根軸角（水平面）：T1からT12まで徐々に減少し，最小のT12（男性　－1.2±5.7°，女性　－0.8±6.6°）では，椎弓根軸は外側方向に向いていた．L1か

表2　a）椎弓根短径，椎弓根軸長，椎弓根軸角の計測結果椎弓根短径，椎弓根軸長，椎弓根軸角の計測結果

	椎弓根短径		椎弓根長径		椎弓根軸長	
	男性	女性	男性	女性	男性	女性
T8	5.1±1.2	4.8±0.9*	11.7±1.3	10.9±1.3**	38.2±3.4	36.6±2.8**
T9	5.4±1.3	5.0±1.0**	12.4±1.3	12.1±1.4	38.8±3.4	36.7±3.0**
T10	6.0±1.3	6.0±1.4	14.5±1.7	14.1±1.9	38.8±3.3	36.8±2.9**
T11	7.6±1.6	7.0±1.3**	16.3±1.7	16.0±1.7	38.8±3.6	36.7±2.9**
T12	8.1±1.6	7.7±1.5	17.0±2.8	16.6±1.5	39.9±4.0	37.7±3.3**
L1	7.4±2.0	6.9±1.5*	15.9±2.8	15.2±1.4*	42.5±3.7	40.6±3.3**
L2	7.8±1.7	7.4±1.5	14.8±1.6	14.4±1.2*	44.0±3.5	42.7±3.4**
L3	9.1±1.7	8.9±1.6	14.7±1.3	14.2±1.1**	45.0±3.7	43.6±3.4**
L4	10.1±1.7	9.7±1.4*	15.5±2.0	15.0±1.8	44.3±3.6	43.0±3.3**
L5	11.1±1.7	10.6±1.5*	20.7±3.0	20.2±2.3	43.4±3.7	41.2±5.5**

表2　b）上・下椎間関節縦，横径および上・下椎間関節突起の厚みおよび下椎間関節－正中距離の計測結果

	上椎間関節縦径		上椎間関節横径		上関節突起厚み		下椎間関節縦径		下椎間関節横径		下関節突起厚み		下椎間関節－正中距離	
	男性	女性	男性	女性	男性	女性	男性	女性	男性	女性	男性	女性	男性	女性
T1	9.2±1.5	8.7±1.3*	11.3±1.5	10.4±1.7**	3.3±0.8	3.1±0.5*	9.2±1.6	8.4±1.3**	10.3±1.4	9.8±1.5*	4.5±0.7	3.8±0.6**	7.9±1.1	7.4±1.1**
T2	9.2±1.3	8.5±1.2**	10.6±1.4	9.9±1.3**	3.3±0.6	2.8±0.6**	9.4±1.3	8.5±1.2**	10.2±1.2	9.3±1.4**	4.2±0.7	3.6±0.6**	6.3±1.1	5.7±1.0**
T3	9.2±1.3	8.2±1.0**	9.9±1.3	9.1±1.2**	3.2±0.6	2.8±0.5**	9.6±1.6	8.8±1.2**	10.0±1.5	9.2±1.2**	4.3±0.7	3.6±0.7**	5.4±0.9	4.8±0.8**
T4	9.1±1.2	8.2±1.0**	9.7±1.3	8.9±1.1**	3.1±0.6	2.7±0.5**	10.0±1.5	9.1±1.2**	9.6±1.5	8.9±1.3**	4.3±0.8	3.6±0.6**	4.9±1.0	4.3±0.7**
T5	9.3±1.3	8.5±1.1**	9.4±1.4	8.7±1.3**	3.0±0.7	2.8±0.5*	10.0±1.6	9.4±1.4**	9.4±1.3	8.6±1.2**	4.2±1.1	3.5±0.6**	4.9±0.9	4.3±0.7**
T6	9.3±1.4	8.6±1.1**	9.2±1.3	8.5±1.1**	3.2±0.6	2.9±0.5**	9.7±1.2	9.0±1.1**	9.1±1.2	8.5±1.1**	4.0±0.7	3.5±0.8**	5.1±0.9	4.7±0.9**
T7	9.3±1.4	8.3±1.1**	9.0±1.3	8.3±1.2**	3.2±0.6	3.0±0.5**	9.7±1.4	8.9±1.1**	9.3±1.1	8.7±1.1**	4.0±0.7	3.5±0.6**	5.2±0.8	4.6±0.8**
T8	9.3±1.4	8.3±1.1**	9.1±1.1	8.5±1.1**	3.4±0.6	3.2±0.5*	9.6±1.3	9.2±1.4*	9.8±1.3	9.2±1.2**	4.1±0.7	3.6±0.7**	5.2±0.9	4.7±0.7**
T9	9.3±1.3	8.5±1.2**	9.6±1.3	9.0±1.3**	3.6±0.6	3.4±0.6	10.0±1.4	9.3±1.3**	10.5±1.5	9.6±1.4**	4.3±0.7	3.8±0.7**	5.3±0.8	4.9±0.9**
T10	9.5±1.5	8.8±1.3**	10.0±1.5	9.2±1.3**	3.8±0.6	3.6±0.7	10.3±1.5	9.7±1.5**	10.8±1.5	9.9±1.5**	4.3±0.9	3.8±0.6**	5.4±1.0	5.0±0.9*
T11	9.7±1.4	8.8±1.1**	10.4±1.5	9.5±1.1**	3.9±0.7	3.5±0.7**	10.4±1.7	9.7±1.7**	9.7±1.3	9.2±1.4*	4.5±1.0	4.5±1.0	6.9±1.5	6.6±1.4
T12	9.7±2.0	9.2±1.8	9.7±1.1	9.2±1.4**	4.3±0.8	4.2±1.2	11.1±1.9	10.4±1.7**	8.8±1.2	8.1±1.1**	5.0±0.9	4.8±0.9	8.8±1.5	8.4±1.3

*P<0.05, **P<0.01　vs. 男性

(Nojiri K et al : Surg Radiol Anat 27 : 123-128, 2005 の Table 2 を許可を得て転載，改変)

らL5までは徐々に増加し，L5（男性　37.1±8.8°，女性　34.3±9.2°）で最大であった（図5）．

椎弓根軸角（側面）：T3（女性　20.0±7.0°），T4（男性　20.8±7.1°）が最大で，L4（男性　−4.1±8.8°，女性　−3.9±7.6°）で最小だった（第5図）．

下椎間関節角：胸腰移行部であるT12（男性　140.8±16.8°，女性　136.5±16.2°）以外はT1（男性　71.8±6.5°，女性 70.0±7.9°）からT11（男性　86.5±19.0°，女性　88.6±23.0°）までの高位で大きな変化はなかった（第5図）．

T4，T5，T9-12では，上椎間関節よりも下椎間関節で縦径が有意に大きかった．横径はT9，T10で下椎間関節が上椎間関節よりも有意に大きく，逆に，T1，T8，T12では有意に小さかった．下関節突起の厚みはすべての高位で上関節突起よりも有意に大きかった．

男性は女性よりも椎弓根や椎間関節は大きい傾向にあったが，椎弓根軸角や下椎間関節角には明らかな性差を認めなかった．また，年齢と各計測値には有意な相関関係は認めなかった．

B. CTを用いた形態計測

全症例の平均椎弓根短径はL1（男性：7.86±1.47 mm，女性：6.68±1.32 mm）において最小で，下位腰椎にかけて増加し，L5（男性：15.62±2.46 mm，女性：14.21±2.11 mm）が最大であった．椎弓根軸長はL1（男性：49.92±3.16 mm，女性：47.42±3.16 mm）において最小で，L3（男性：52.32±3.38 mm，女性：49.03±3.79 mm）で最大であった．椎弓根軸角はL1（男性：11.42±4.47°，女性：11.28±4.45°）で最小で，下位に従い増加し，L5で最大であった（男性：28.05±7.62°，女性：28.79±6.23°）（図6）．椎弓根短径および椎弓根軸長にはすべての高位で男女間に有意差を認めた（椎弓根短径 p=0.00021-0.00079，椎弓根軸長 p=0.00012-0.00054）．一方，椎弓根軸角には有意差を認

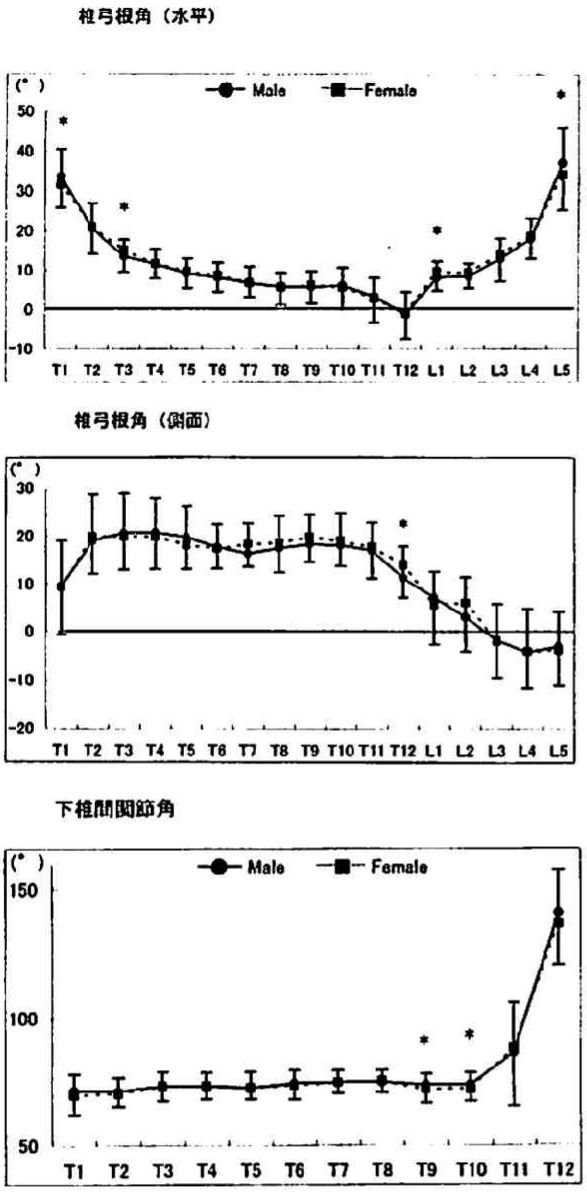

図5
* p<0.05 男女間に有意差を認めた．椎弓根軸角（水平面）：T1 から T12 まで徐々に減少し，最小の T12 では，椎弓根軸は外側方向に向き，L1 から L5 までは徐々に増加し，L5 で最大となった．椎弓根軸角（側面）：T3，T4 が最大で，以降減少し L4 で最小となった．下関節突起角：胸腰移行部である T12 以外は T1-T11 ですべてのレベルで大きな変化はなかった
(Nojiri K et al：Surg Radiol Anat 27：123-128, 2005 の Fig. 4, Fig. 5 を許可を得て転載，改変)．

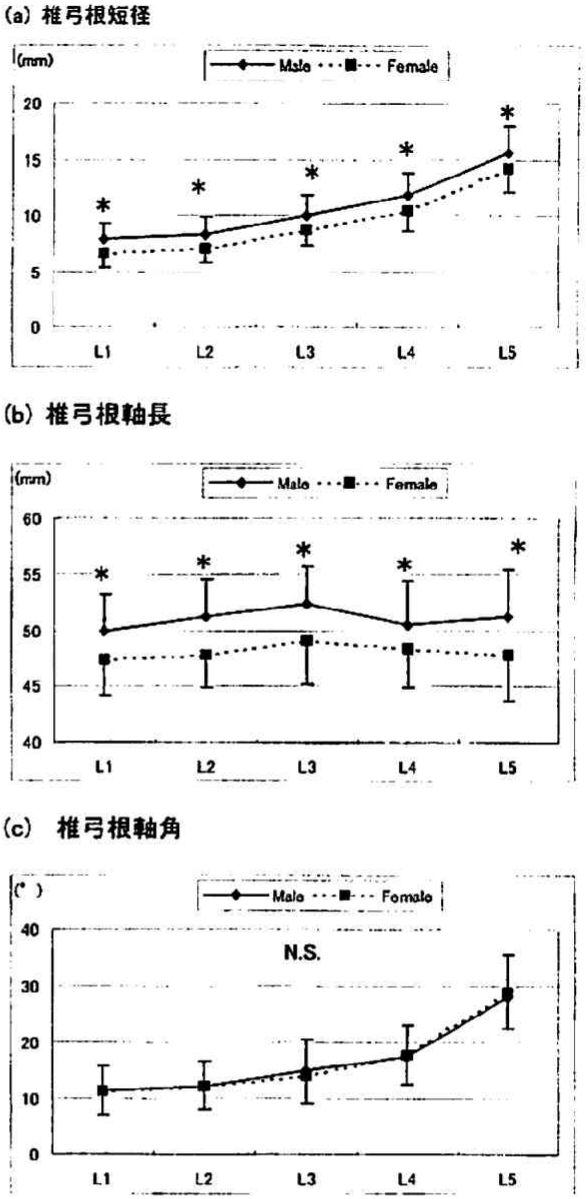

図6　CT の計測結果
* p<0.01 男女間で有意差を認めた．N.S. 男女間で有意差を認めなかった．椎弓根短径および椎弓根軸長にはすべての高位で男女間に有意差を認めた．一方，椎弓根軸角には有意差を認めなかった
(Nojiri K et al：Surg Radiol Anat 27：317-321, 2005 の Fig. 2 を許可を得て転載，改変)

めなかった（p=0.13-0.94），晒骨の直接計測との比較で椎弓根軸長はすべての高位で CT の計測値が明らかに大きかった．椎弓根短径は L1-4 では明らかな差はないが，L5（男性：11.1 mm，女性：10.6 mm）高位のみ CT の計測値が大きかった．またすべての高位で有意な左右差も認めなかった．

4 群別の結果を図7に示す．椎弓根短径は男性で DS 群がコントロール群に比較して大きく，女性で DS 群がコントロール群に比較して小さい傾向にあったが，男女ともに有意差は認めなかった．椎弓根軸長は女性で DS 群が L2-5 のレベルで小さい傾向にあったが，有意差は認めなかった．椎弓根軸角は DS 群および LCS 群で LDH 群およびコントロール群に比較し小さい傾向にあった．

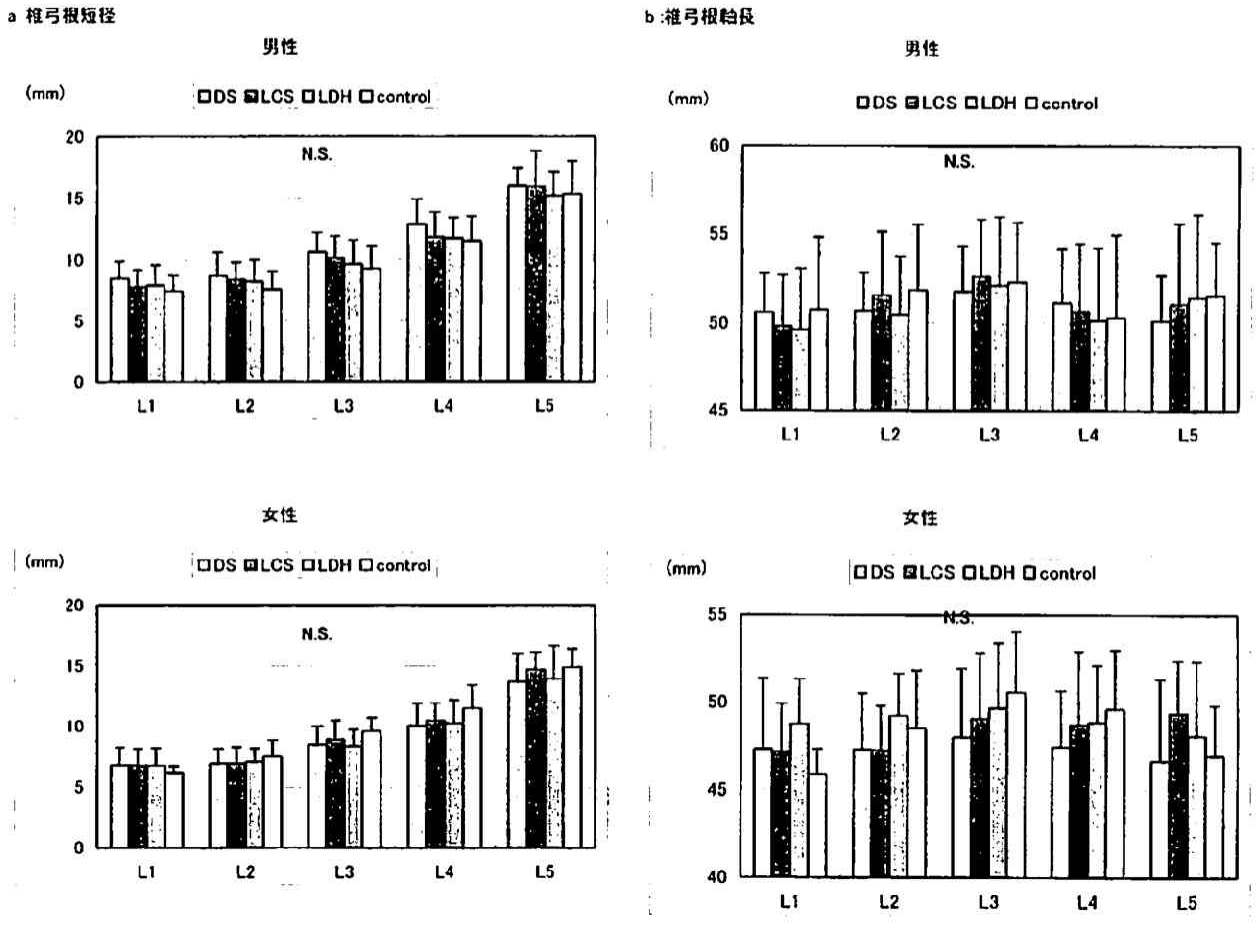

図7　各計測値の疾患別による比較
椎弓根短径および椎弓根軸長は男女ともに4群間の比較では有意差は認めなかった．椎弓根軸角は男性でLCS群がLDH群に比較し各レベルで，女性でDS群がコントロール群に比較し，L2-4のレベルでそれぞれ有意に小さかった．また椎弓根軸角はDS群およびLCS群はLDH群およびコントロール群に比較し小さい傾向にあった．*p<0.05 vs LDH. **p<0.01 vs LDH #p<0.05 vs Control. ##p<0.01 vs Control
(Nojiri K et al : Surg Radiol Anat 27 : 317-321, 2005 の Fig. 3 を許可を得て転載，改変)

考　察

脊椎形態の詳細な把握は安全な脊椎手術を行う上で不可欠である．本邦における脊椎の形態計測の報告は散見されるが，いずれの報告も標本数が少なく，年齢分布などに偏りがあるなどの問題点があった．武田ら[22]の報告では晒浄骨の対象数が20体と少なく年齢や性別が不明であり，小西池ら[21]は屍体標本46体であるが平均年齢76歳（63-90歳）と年齢にかたよりがある点が問題と思われた．また本邦での報告は腰椎の計測のみで，胸椎を対象とした，まとまった報告はない．

我々は日本人で幅広い年齢層を計測するために，慈恵会医科大学解剖学教室所蔵の晒浄骨を対象とした直接計測を行った．また，腰椎疾患患者の腰椎を対象とした

CT画像からの画像計測を行い，直接計測との比較および疾患別での比較を行った．

A．直接計測による椎弓根形態

椎弓根スクリュー刺入時には椎弓根短径および椎弓根軸長は最適なスクリューの径や長さを，また椎弓根軸角はスクリューを最適な方向に刺入する上で重要な指標となる．今回の椎弓根短径の結果は従来の報告とほぼ同様であったがEbrahiem[6]やOlsewski[30]の結果よりも小さく，Scoles[12]の結果よりもほぼ同様か大きい結果となった（第3表）．Scolesらの標本は出生年が1893-1938年と明らかに古かったことが一因と考えられる．我々の晒浄骨の結果ではL3-L5までの椎弓根短径で7 mm以下は5.3%（33/618），5 mm以下の短径は認めなかったことから，L3以下では5 mm径のスクリューは正しい方向に刺入すれば椎弓根を穿破する可能性は低いと考えられる．一方，L1の椎弓根短径は5 mm以下が7.8%（16/206），7 mm以下が50%（103/206）であった．このレベルの正確なスクリューサイズの選択が必要である．T8やT9での椎弓根短径は4 mm以下がそれぞれ17%（35/206），13.1%（27/206）であった．臨床で用いる脊椎インプラントの最小スクリュー径は4.5 mmであるが，4.5 mm径のスクリューは容易に椎弓根を穿破する可能性が考えられた（第4表）．

椎弓根長径と椎弓根軸長も従来の報告と同様の傾向を示した．長径は尾側ほど大きくなり，例外として中位腰椎で減少した．椎弓根軸長は中位腰椎が最大となり下位腰椎で減少した．L5の椎弓根軸長が40 mm以下は23.7%（49/206）であり，長さ40 mmのスクリューは椎体前面を穿孔する可能性が十分に考えられた．

椎弓根軸角（水平面）は椎弓根スクリューを正しく刺入する方向に関して重要な指標である．Louis[32]やRoy-Camille[33]はスクリューを垂直方向に挿入することを勧め，一方，Krag[18]やZindrick[19]は内側に向け挿入した

第3表　椎弓根短径の他家との比較

		T8	T9	T10	T11	T12	L1	L2	L3	L4	L5
野尻	男性	5.1±1.2	5.4±1.3	6.0±1.3	7.6±1.6	8.1±1.6	7.4±2.0	7.8±1.7	9.1±1.7	10.1±1.7	11.1±1.7
Japan	女性	4.8±0.9	5.0±1.0	6.0±1.4	7.0±1.3	7.7±1.5	6.9±1.5	7.4±1.5	8.9±1.6	9.7±1.4	10.6±1.5
Hou	男性		6.0±1.1	7.0±1.3	8.6±1.7	8.8±1.6	7.2±1.3	7.6±1.2	9.4±1.6	10.8±1.4	12.8±2.7
China	女性		5.2±0.9	6.4±1.4	7.5±1.7	7.5±2.3	6.6±1.0	7.1±1.5	9.0±1.8	10.2±2.2	13.0±2.7
Scoles	男性		3.9±0.9			7.4±1.7	8.3±1.4		9.1±1.5		9.7±2.0
America	女性		4.1±1.3			7.2±1.8	6.5±1.8		7.9±1.5		10.2±1.4
Ugur	男性	5.7±1.4	6.2±1.3	6.4±1.3	7.8±1.9	7.9±1.8					
Turkey	女性	5.4±0.9	5.9±0.5	5.4±1.1	6.1±0.5	6.4±0.2					
Olsewski	男性						9.5±2.9	9.6±2.2	11.7±2.5	14.7±2.7	17.4±3.4
America	女性						7.7±1.9	7.9±1.9	9.6±2.4	12.5±2.3	16.2±1.9
Ebraheim	男性	5.0±0.5	5.3±0.9	5.6±0.5	8.3±0.7	8.0±0.9	7.4±1.3	8.4±1.4	9.8±1.8	12.8±2.0	18.3±1.7
America	女性	4.6±0.5	5.5±0.8	6.0±0.8	8.8±0.5	9.4±0.5	7.5±1.6	7.9±1.2	9.7±1.4	12.5±1.8	17.6±3.1

(mm)

椎弓根短径は従来の報告とほぼ同様であったがEbrahiemやOlsewskiよりも小さく，Scolesよりもほぼ同様か大きかった．

第4表　椎弓根短径の計測値の分布（%）

	T8	T9	T10	T11	T12	L1	L2	L3	L4	L5
2-3.99 mm	17.0	13.1	7.8	0.5	0	0.5	0	0	0	0
4-4.99 mm	37.9	32.0	16.5	4.4	1.4	7.3	2.8	0	0	0
5-5.99 mm	28.1	30.6	28.2	15.0	11.2	18.0	11.7	2.8	0.5	0
6-6.99 mm	11.7	18.0	26.2	23.8	13.1	24.2	22.3	9.7	1.9	1.0
7- mm	5.3	6.3	21.3	56.3	74.3	50.0	63.1	87.4	97.6	99.0

L3-L5で7 mm以下は5.3%（33/618）で，5 mm以下は認めなかった．一方，L1の椎弓根短径は5 mm以下が7.8%（16/206），7 mm以下が50%（103/206）で，T8やT9は4 mm以下がそれぞれ17%（35/206），13.1%（27/206）であった．

ほうがより安全と述べている．今回の計測結果では椎弓根軸角（水平面）はT12で最小で，Kim[9]やZindrickら[19]の報告と同様であった．椎弓根軸角（側面）は胸椎から上位腰椎までは尾側を向き，L3からL5は頭側を向いていた．それゆえに矢状面での刺入方向も十分に注意すべきである．

2）CTにおける椎弓根形態

椎弓根短径はCTを用いた画像計測値が直接計測値より下位腰椎で大きかった．武田らが述べているように椎弓根の形態は特に下位腰椎で前額面に水平化するため，CTでは計測値がより大きく出ると報告される一方，Olsweskiら[30]は直接計測でもCTからの計測でも明らかな差はなかったと述べている．術前にスクリューの径や長さ，方向をCT画像に基づきプランニングして決定することが多いが，その際に直接計測値との差を考慮する必要があると考えた．

過去のCTを用いた椎弓根の解剖学的な研究では，Kragら[18]は腰椎疾患を有した41人の患者で91椎体の椎弓根を計測し，椎弓根短径は例外を除いてT10以下のレベルでは5 mm以上で，また下位腰椎では7 mm以上であり，ほとんどの下位腰椎では6 mmや7 mmのスクリューは適合すると述べている．Bernardら[15]も腰痛を有する154人の患者のL2からS1の椎弓根短径を計測しL4-S1はほとんどが7 mm以上であったと述べている．Cheungら[17]は腰椎疾患を有する100人の中国人の椎弓根短径および椎弓根軸角を計測し，性差や左右差は認めず，また年齢との相関も認めなかったと述べ，また椎弓根軸角はL1-4のレベルで中国人は西洋人に比較し大きいと述べている．

3）疾患別椎弓根形態

疾患による椎弓根形態の差異についての過去の研究は極めて少ない．手術が脊椎疾患患者に行われることを考えると，疾患別椎弓根形態に関する知識は不可欠である．

Robertsonら[34]は104人の患者を3群間に分類し［L4変性すべり群（DS群），椎間関節に変形性変化を有する群（OA群），正常群（NP群）］，L3-5を3群間で比較している．椎弓根軸角はL3-4のOA群とL5のDS群はNP群に比較し有意に小さいと述べ，椎弓根短径はL5のDS群でNP群やOA群に比較し有意に小さいと述べている．われわれは疾患別椎弓根形態の比較をRobertsonらより多くの対象数および高位で行った．今回の研究では椎弓根短径や椎弓根軸長には疾患別に差を認めなかったが，椎弓根軸角には差を認めた．すなわちDS群やLCS群はLDH群や対照群に比較し有意に椎弓根軸角が小さかった．LCS群やDS群の患者はLDH群と比較して年齢が高いので椎弓根の矢状面化は加齢が関与している可能性があるが，Cheungら[17]の計測結果では年齢と椎弓根軸角には有意な相関を認めないと述べ，また，われわれの晒浄骨の研究[35]でも年齢と椎弓根軸角との間に有意な相関を認めなかったことから，LCS群やDS群における椎弓根の矢状面化は発育性である可能性が高いと考えられた．

4）胸椎椎間関節の形状

胸椎の後方固定術においてフックは椎弓根スクリューよりも安全に設置しうることから広く用いられているにもかかわらず，胸椎の椎間関節の形状に関する詳細な報告は少ない．本研究において下椎間関節の縦径は上椎間関節に比べ大きい傾向にあったが横径は明らかな違いは認めなかった．下関節突起の厚みは上関節突起よりもすべての高位で有意に大きかった．正中-下関節突起間距離は椎弓にフックを選択する際には重要な指標であり，中位胸椎で小さい傾向であった．T1-11までの下関節角はほとんど同じであったが，T12のみ関節角はより矢状面化していた．これらの結果から，胸椎椎間関節や椎弓にフックを設置する際には関節の大きさや向きを十分に念頭に置く必要がある．

5）本研究の限界

本研究の限界の一つは，晒浄骨標本が古く，推定身長が男性160.1±7.0 cm，女性148.9±4.1 cmと現代日本人の平均身長[41]（50-59歳：男性166.2 cm，女性153.2 cm）と比較すると明らかに小さいことである．従って，椎弓根径などの計測値が現代人の実際の値より小さい可能性は否定し得ない．しかし，臨床の場では脊椎インプラントを用いる手術は高齢者の変性疾患に対して行うことが最も多いことから，本研究の結果は臨床的に意義あるものと考える．

総　括

日本人脊椎骨の胸椎および腰椎の解剖学的，放射線学的計測を行い，以下の結果を得た．

1．日本人の胸腰椎の椎弓根および椎間関節における解剖学的計測を行い，標準値を明らかにした．

2．日本人の生体腰椎における椎弓根の放射線学的計測を行い，標準値を明らかにした．

3．放射線学的計測から疾患による椎弓根軸角の差が明らかになった．腰部脊柱管狭窄症や腰椎変性すべり症の椎弓根軸角は腰椎椎間板ヘルニアやコントロール群に比較し有意に小さかった．

謝　辞

本稿を終えるにあたり，ご指導，ご校閲を賜りました慶應義塾大学医学部整形外科学教室戸山芳昭教授に深甚なる謝意を表します．本研究に際し，直接ご指導，ご校閲をいただきました慶應義塾大学医学部JMM寄付講座運動器機能再建・再生学　松本守雄助教授に深謝いたします．また晒浄骨を提供下さった東京慈恵会医科大学解剖学教室第一の山下廣名誉教授，竹内修二講師に感謝いたします．

文　献

1) Roy-Camille R, Saillant G, Mazel C : Plating of thoracic, thoracolumbar, and lumbar injuries with pedicle screw plates. Orthop Clin North Am 17 : 147-159, 1986
2) Sapkas GS, Papadakis SA, Stathakopoulos DP, Papagelopoulos PJ, Badekas AC, Kaiser JH : Evaluation of pedicle screw position in thoracic and lumbar spine fixation using plain radiographs and computed tomography. Spine 24 : 1926-1929, 1999
3) Esses SI, Sachs BL, Dreyzin V : Complication associated with the technique of pedicle screw fixation. Spine 18 : 2231-2239, 1993
4) Berry J, Moran J, Berg W, Steffee A : A morphometryic study of human lumbar and selected thoracic vertebrae. Spine 12 : 362-367, 1987
5) Chaynes P, Sol JC, Vaysse P, Becue J, Lagarrigue J : Vertebral pedicle anatomy in relation to pedicle screw fixation : cadaver study. Surg Radiol Anat 23 : 85-90, 2001
6) Ebraheim N, Rollins J, Xu R, Yeasting R : Projection of the lumbar pedicle and its morphometric analysis. Spine 21 : 1296-1300, 1996
7) Ebraheim N, Xu R, Ahmad M, Yeasting R : Projection of the thoracic pedicle and its morphometric analysis. Spine 22 : 233-238, 1997
8) Hou S, Hu R, Shi Y : Pedicle morphology of the lower thoracic and lumbar spine in a Chinese population. Spine 18 : 1850-1855, 1993
9) Kim N, Lee H, Chung I, Kim H, Kim S : Morphometric study of the pedicle of thoracic and lumbar vertebrae in Koreans. Spine 19 : 1390-1394, 1994
10) McCormack BM, Benzel EC, Adams MS, Baldwin NG, Rupp FW, Maher DJ : Anatomy of the thoracic pedicle. Neurosurgery 37 : 303-308, 1995
11) Panjabi MM, Goel V, Oxland T, Takata K, Duranceau J, Krag M, Price M : Human lumbar vertebrae. Quantitative three-dimensional anatomy. Spine 17 : 299-306, 1992
12) Scoles P, Linton A, Latimer B, Levy M, Digiovanni B : Vertebral body and posterior element morphology : the normal spine in middle life. Spine 13 : 1082-1086, 1988
13) Tan SH, Teo EC, Chua HC : Quantitative three-dimensional anatomy of lumbar vertebrae in Singaporean Asians. Eur Spine J 11 : 152-158, 2002
14) Uger HC, Attar A, Uz Aysun, Tekdemir I, Egemen N, Genc Y : Thoracic pedicle : Surgical anatomic evaluation and relations. J Spinal Disord 14 : 39-45, 2001
15) Bernard TN, Seibert CE : Pedicle diameter determined by computed tomography. Spine 17 : s160-163, 1992
16) Berlet GC, Boubez G, Gurr KR, Bailey SI : The USS pedicle hook system : A morphometric analysis of its safety in the thoracic spine. J Spinal Disord 12 : 234-239, 1999
17) Cheung KMC, Ruan D, Chan FL, Mch DF : Compute d Tomographic osteometry of asian lumbar pedicles. Spine 19 : 1495-1498, 1994
18) Krag MH, BeynnonBD, Pope MH, Frymoyer JW, Haugh LD, Weaver DL : An internal fixator for posterior application to short segments of the thoracic,lumbar,or lumbosacral spine. Clin Orthop 203 : 75-98, 1985
19) Zindrick MR, Wiltse LL, Doornik A, Widell EH, Knight GW, Patwardhan AG, Thomas JC, Rothman SL, Fields BT : Analysis of the morphometric characteristics of the thoracic and lumbar pedicles. Spine 12 : 160-166, 1987
20) Robertson PA, Stewart NR : The radiologic anatomy of the lumbar and lumbosacral pedicles. Spine 25 : 709-715, 2000
21) Okuyama K, Sato K, Abe E, Onuma S : Vertebral pedicle diameter as determined by computed tomog raphy : inaccuracies observed by direct measurement of cadaveric lumbar spine. Skeletal Radiol 23 : 551-553, 1994
22) 武田直樹，金田清志，鐘邦芳，児玉譲次：腰椎椎弓根の解剖学的計測と Pedicular Screwing. 整形外科 MOOK60 : 299-304, 1990
23) 原真一郎：腰椎椎弓根形態の解剖学的および X 線学的研究. 長崎医学会雑誌 67(4) : 252-257, 1992
24) 小西池泰三：腰椎椎弓根の解剖学的計測.中部整災誌 37(3) : 606-612, 1994
25) 坪内俊二，鈴木信治：Pedicle Screw Fixation 法-椎弓根の形態と刺入部位について．中部整災誌 33(2) : 743-745, 1990
26) Chadha M, Balain B, Maini L, Dhaon BK : Pedicle morphology of the lower thoracic, lumbar,and S1 vertebrae : an Indian perspective. Spine 28 : 744-

本研究の一部は第30，32回日本脊椎脊髄病学会（2001年，高知）（2003年，福岡），第16，17回日本整形外科学会基礎学術集会（2001年，広島）（2002年，青森），および第51回東日本整形災害外科学会（2002年，福島）にて報告した．

749, 2003
27) Kadioglu HH, Takci E, Levent A, Arik M, Aydin IH : Measurements of the lumbar pedicles in the Eastern Anatolian population. Surg Radiol Anat 25 : 120-126, 2003
28) Mitra SR, Datir SP, Jadhav SO : Morphometric study of the lumbar pedicle in the Indian population as related to pedicular screw fixation. Spine 27 : 453-459, 2002
29) Fujii A : On the relation of long bone lengths of limbs to stature. Jyuntendo Taiikugakubu Kiyo 3 : 49-61, 1943 (in Japanese)
30) Olsewski J, Simmons E, Kallen F, Mendel F, Severin C, Berens D : Morphometry of the lumbar spine : anatomical perspectives related to transpedicular fixation. J Bone Joint Surg 72A : 541-549, 1990
31) Ebraheim N, Xu R, Ahmad M, Yeasting R : The quantitative anatomy of the thoracic facet and the posterior projection of its inferior facet. Spine 22 : 1811-1817, 1997
32) Louis R : Fusion of the lumbar and sacral spine by internal fixation with screw plates. Clin Orthop 203 : 18-33, 1986
33) Roy-Camille R, Saillant G, Mazel C : Internal fixation of the lumbar spine with pedicle screw plating. Clin Orthop 203 : 7-17, 1986
34) Robertson PA, Novotny JE, Grobler LJ, Agbai JU : Reliability of axial landmarks for pedicle screw placement in the lower lumbar spine. Spine 23 : 60-66, 1998
35) Nojiri K, Matsumoto M, Chiba K, Toyama Y, Momoshima S : Comparative assessment of pedicle morphology of the lumbar spine in various degenerative diseases. Surg Radiol Anat 27 : 317-321, 2005
36) Nojiri K, Matsumoto M, Chiba K, Toyama Y : Morphometric analysis of the thoracic and lumbar spine in Japanese on the use of pedicle screws. Surg Radiol Anat 27 : 123-128, 2005
37) Davis PR : The medial inclination of the human thoracic intervertebral articular facets. J Ant 93 : 68-74, 1959
38) Ebraheim N, Xu R, Ahmad M, Yeasting R : The quantitative anatomy of the thoracic facet and the posterior projection of its inferior facet. Spine 22 : 1811-1817, 1997
39) Panjabi MM, Oxland T, Takata K, Goel V, Duranceau J, Krag M : Articular facets of the human spine. Quantitative three-dimensional anatomy. Spine 18 : 1298-1310, 1993
40) Panjabi MM, Takata K, Goel V, Federico D, Oxland T, Duranceau J, Krag M : Thoracic human vertebrae. Quantitative three-dimensional anatomy. Spine 16 : 888-901, 1991
41) 厚生労働省：健康局「国民栄養の現状（平成14年国民栄養調査結果）」