

## 脊柱変形への挑戦

平 野 徹

新潟大学大学院医歯学総合研究科

機能再建医学講座整形外科科学分野

### The Challenge to Spinal Deformity

Toru HIRANO

*Division of Orthopedic Surgery, Department of Regenerative and Transplant Medicine,  
Niigata University Graduate School of Medical and Dental Sciences*

#### 要 旨

脊柱変形は脊柱の3次元的な弯曲異常であり、高度進行例では重篤な呼吸機能障害や神経障害を引き起こす。脊柱変形はその原因によって、①特発性、②先天性、③症候（群）性に分類されるが、一般的に発症年齢が低いほど、また、その際の角度が大きいほど、進行する確率が高い。現在有効性が確立されている治療は装具と手術以外には無い。装具の有効性には議論があったが、近年のランダム化比較試験によってその有効性が証明された。遅滞なく装具療法を開始するためには早期発見が重要で、学校検診は有効であるが、校医や養護教諭との連携および啓発が不可欠である。最も多い思春期特発性側弯症は、遺伝子解析などによって原因が解明されつつある。手術治療も進歩が著しく、適切な時期に手術を施行すれば良好な成績が得られる。一方、10歳未満で発症する早期発症側弯症の治療も進歩はしているが、未だに挑戦的な分野である。

キーワード：脊柱変形、思春期特発性側弯症、早期発症側弯症

#### はじめに

機能障害や神経障害を呈することもある。本稿では、主に小児の脊柱変形について述べる。

側弯症に代表される脊柱変形は古くから知られた疾患である。高度に進行する症例もあり、呼吸

Reprint requests to: Toru HIRANO  
Division of Orthopedic Surgery, Department of  
Regenerative and Transplant Medicine,  
Niigata University Graduate School of Medical  
and Dental Sciences,  
1 - 757 Asahimachi - dori, Chuo - ku,  
Niigata 951 - 8510, Japan.

別刷請求先：〒951 - 8510 新潟市中央区旭町通1 - 757  
新潟大学大学院医歯学総合研究科  
機能再建医学講座整形外科科学分野 平 野 徹

### 脊柱変形の基本事項

脊柱変形を一言で定義するならば、異常な脊柱彎曲ということになろう。脊柱の形状や形態を表現するためには、3次元的な評価が必要である。すなわち、冠状面、矢状面、横断面における評価である。冠状面では正常の脊柱は彎曲しておらず、Cobb角が $10^{\circ}$ 以上の彎曲を持つ場合、側弯症という。一方、矢状面での評価は冠状面に比して複雑である。それは正常な脊柱の形態は頸椎で前弯、胸椎で後弯、腰椎で前弯、仙椎で後弯しているためである。どの程度の彎曲までが正常で、どの程度の彎曲から異常であるかを一律に定義することは困難だが、若年者の特発性脊柱変形においては、胸椎(T5-12)で後弯角 $10-40^{\circ}$ が正常の目安となる。また、水平面での変形はいわゆる回旋変形である。これのみの変形は通常なく、他の変形を伴う。例えば、側弯変形は単独で生じることではなく、必ず回旋変形を伴っている。

脊柱変形はすでにエジプトのミイラにおいてその存在が確認されているが、紀元前のHippocratesの書にも脊柱変形の記載がある。実際に現在使用されている、scoliosis(側弯)、kyphosis(後弯)、lordosis(前弯)などの用語は、Galen(131-201 A.D.)によって命名されたとされている<sup>1)</sup>。しかし、その後Ambrose Pare(1510-1590)がコルセットを作成するまで脊柱変形に関する病態や治療についてはほとんど記述がない<sup>2)</sup>。実際に病理理解や治療が進んだのは、1984年のRöntgenによるX線の発見以降であり、以降病態の理解が深まって1910年頃より手術が行われるようになった<sup>2)</sup>。さらに1945年にはBlountによって近代的な装具が開始され(Milwaukee brace)<sup>3)</sup>、1962年には最初の近代的な脊椎内固定金属を用いた矯正手術がHarringtonによって発表された<sup>4)</sup>。以後、内固定金属の発展とともに、急速に治療が進歩し、現在に至っている。

脊柱変形の分類には様々なものがあるが、代表的なものは病因による分類である。古典的にはアメリカ側弯症学会の分類が用いられるが、これはあまりにも複雑な分類であることから、近年は①

特発性(病因がはっきりせず、基礎疾患もないもの)、②先天性(脊柱の奇形や肋骨癒合によるもの)、③症候(群)性(変形を生じやすい何らかの基礎疾患があるもの)の3つに分類するとわかりやすい。

### なぜ脊柱変形は重要か？

では、なぜ脊柱変形が重要で、どのような点が問題となるのであろうか？むろん変形による美容上の問題は生じうる。肩バランス、体幹の左右へのシフト、肋骨隆起、ウエストラインの非対称などが問題となり、時に患者は精神的苦痛を感じるが、変形が高度にならない限りADLやQOLの障害を引き起こすことは少ない。一方、変形が高度になった場合には、呼吸機能低下(特に肺活量低下に伴う拘束性換気障害)、腰背部痛を含む疼痛、脊髄麻痺を含む神経障害、姿勢異常による体幹筋疲労、など様々な機能低下を引き起こし、ADLやQOLを低下させる。特発性側弯症患者においては、若年でも背部痛、特に肋骨隆起に一致した疼痛の頻度が高いことを我々は報告している<sup>5)</sup>。一方、高齢になった場合、脊柱変形はさらに疼痛を引き起こす可能性が高くなる。加えて、脊柱変形は背後にある疾患を発見するきっかけになり得ることも重要で、脊柱変形患者を診察する場合、常に念頭に置くべきである。一見特発性のように思われる患者でも、キアリ奇形による脊髄空洞症を伴うことは少なくない(図1a, b)。

これらの問題点の中でも、最も重篤であるのは呼吸機能低下である。Pehrssonらによれば、10歳未満で発症する脊柱変形患者では脊柱変形を持たない対照群に比べ死亡率が高いこと、特に発症が若年になればなるほどその傾向が強いこと、その多くが呼吸器合併症や肺性心が死因となること、を報告している<sup>6)</sup>。よって、早期発症例では脊柱変形のみでなく、呼吸状態の評価が不可欠である。

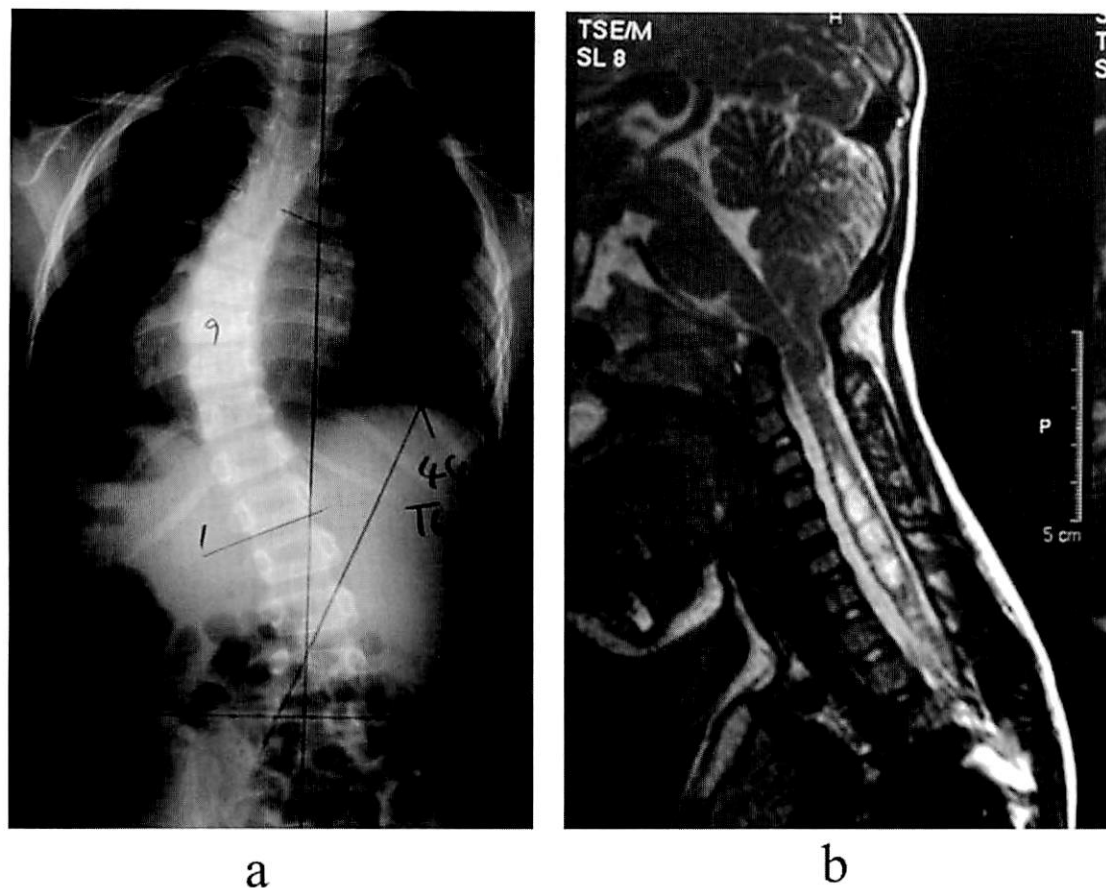


図1 キアリ奇形・脊髓空洞症に伴う側弯症

4歳女児。一見特発性側弯症のX線像と似ているが、特発性の多くが右凸胸椎側弯であるのに対し、左凸胸椎側弯である (a)。MRI ではキアリ奇形、脊髓空洞症が明らかである (b)。

### 脊柱変形の診断

脊柱変形は早期には自覚症状はなく、外観上の変形も自覚しにくいため早期診断が困難である。しかし、最も多い特発性側弯症では適切な時期に装具療法を開始することによって進行を抑制できる可能性があることから、早期発見は重要である。そのため、本邦では昭和54年に学校保健法が改正されてから、側弯症検診が義務づけられている。新潟市では市教育委員会と新潟市が連携して、側弯症検診を行う体制が整っており、全国的にも早期から検診体制が確立された地域である<sup>7)</sup>。具体

的には校医・養護教諭による1次検診、大学整形外科医による2次検診、大学側弯症外来での3次検診という3段階の検診を行っている。この検診により、装具療法の適応となりうる中等度側弯症の8割が検診で発見されていることになり、有用性が確認されている (図2)<sup>8)</sup>。しかし、1次検診の陽性率は各校で大きなばらつきがあり、1次検診の陽性率が低い学校では、発見時の側弯が優位に大きいことも判明している<sup>8)</sup>。また、新潟市における1次検診陽性率は近年低下しており、検診制度向上に向けた啓発が、今後の課題である (図3)。養護教諭や学校医への定期的な情報提供、視

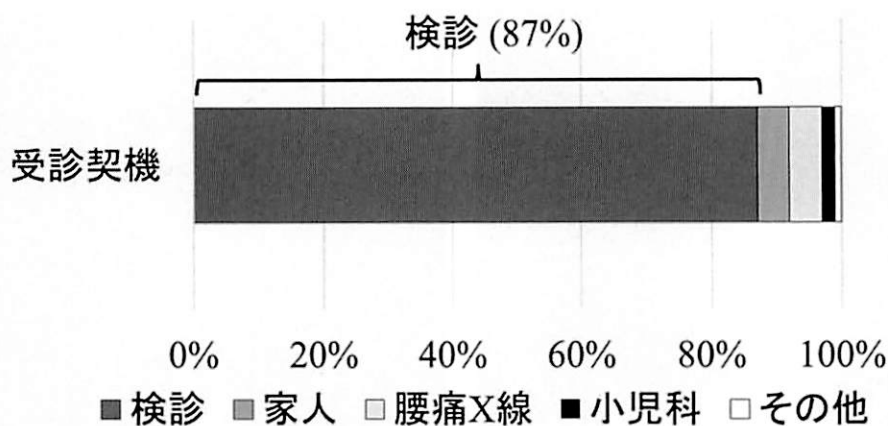


図2 初診時 Cobb 角  $20^{\circ}$  以上の側弯例 ( $n = 359$ ) の受診契機  
 当科側弯症外来を受診する検診対象学年(小学4年~中学3年)の  
 ほとんどが検診で発見されている。

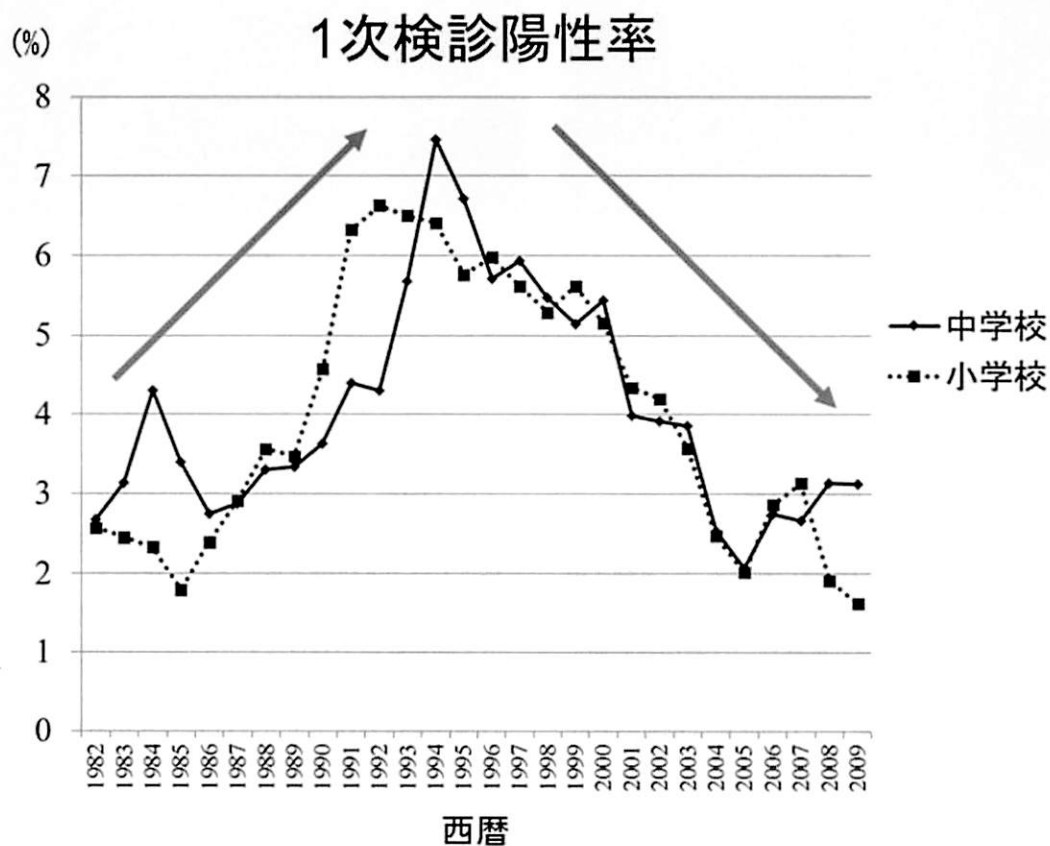


図3 新潟市側弯症学校検診の1次検診陽性率の経年的推移  
 開始から1994年までは増加し、以後減少している。

診のみでなく何らかの診断器具の使用, 家庭における問診票の活用, などが検診陽性率を向上させる可能性があるが, 本年度より実施されている脊柱を含めた運動器検診においては, 問診票が使用されている。

### 代表的な側弯症の現況

脊柱変形には様々なものがあるが, 小児の代表的な脊柱変形である, 特発性側弯症と早期発症側弯症について, 最近の話題を中心に記述したい。

特発性側弯症は原因不明の側弯症と定義されるが, 近年遺伝子レベルでの病態解明が進んでおり, これまでいくつかの感受性遺伝子が本邦より報告されている<sup>9)10)</sup>。特に BNC2 は, 子宮, 軟骨, 骨, 脊髄, 椎間板などでの発現が多く, これを過剰発現させたゼブラフィッシュの 65 % で側弯が発症していることから, 特に有力な感受性遺伝子として期待されている<sup>10)</sup>。これらの病態解明により, 将来的には発症・進行のリスク評価や治療薬の開発が期待される。

このような病態解明の進捗に加え, 当たり前に行われてきたがエビデンスが不足していた装具療法にも, 近年新たな知見が得られている。装具療法は, これまでランダム化比較試験 (RCT) が行われていないことが大きな問題であった。しかし, Weinstein らのグループが装具療法の RCT を行い, 装具療法は経過観察に比べて 50° 以上の側弯に至る割合を有意に低下させること, また装着時間に依存して有効性が高まることを明らかにした<sup>11)</sup>。

また, 手術治療についても, 前述の Harrington instrumentation 以来様々な内固定金属が進歩しており, 近年の強固なアンカーである椎弓根スクリュー<sup>12)</sup>を多用した矯正固定術では, 高い矯正率が得られ, 矯正損失もほとんどない 3 次元矯正が可能となりつつある (図 4)。

脊柱変形で最も頻度の高い思春期特発性側弯症は, 適切な時期に発見されれば大きな問題を残さず治療可能となったといっても過言ではない。

しかし, 思春期特発性側弯症を代表とする脊柱変形に対する検診の有効性は未だ科学的なエビデ

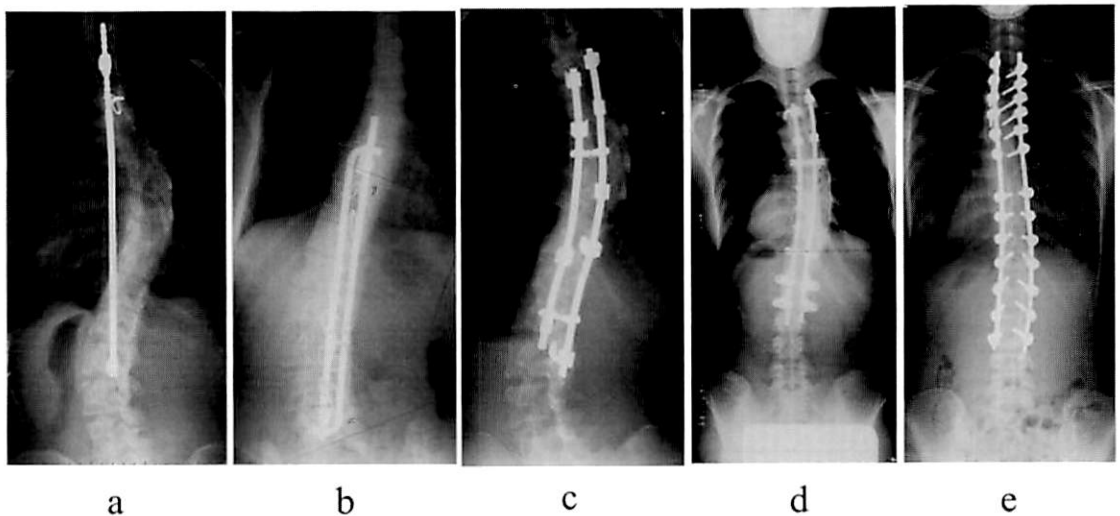


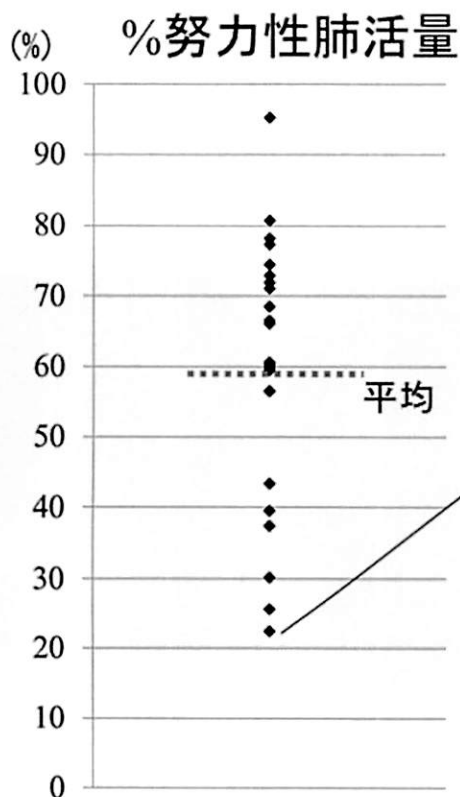
図 4 当科における特発性側弯症手術の変遷  
Harrington 法 (a), Luque 法 (b), Cotrel-Dubousset 法 (c), ISOLA 法 (d), 椎弓根スクリュー法 (e) と変化してきている。徐々に矯正率が向上していることがわかる。

ンスが不足していること、また、現在手術適応とされている側弯症の中でも、 $45-70^{\circ}$ といった中等度の側弯症に対する手術療法の有効性に関するエビデンスが不足していること、など、未だ解決されていない問題も多い。いずれの問題も長期にわたるデータの蓄積以外には解決できないため、組織的な取り組みが必要である。

### 早期発症側弯症

早期発症側弯症は病因を問わず10歳未満で発症する側弯症と定義される。以前より治療困難な脊柱変形のひとつとされてきたが、近年その病態解明や治療にも進歩が見られている。まず、本疾

患では、分類法が確立されていなかったが、近年、年齢、病因、側弯および後弯の大きさ、進行の早さを考慮した分類が提唱されている<sup>13)</sup>。その有用性については今後の検証が必要だが、治療介入の至適タイミングなどの確立には重症度分類は欠かせない。治療については、保存的治療としての装具療法は特発性に比べて有用性が劣る例が多いが、積極的なギブス療法や装具療法が、手術治療の時期を遅らせる意味で非常に重要であることが再認識されている<sup>14)</sup>。一方で以前やむを得ず施行されていた早期矯正固定術は、胸郭の成長を促すことができず、呼吸機能障害のリスクが極めて高いことも明らかになってきた<sup>15)</sup>。我々の5歳未満で発症した早期発症側弯症の22例(男性8



38歳 女性 特発性  
%努力性肺活量: 25%  
一秒率: 79%  
在宅酸素療法中

図5 早期発症側弯症術後患者の呼吸機能  
%努力性肺活量の平均値は59%であり、2例で在宅酸素療法が導入されていた。

例、女性 14 例、発症年齢は平均 2.1 歳、手術時年齢は平均 9.7 歳、観察期間平均 12.7 年）では、% 努力性肺活量（% FVC）が平均 59 % であった。また、うち 6 例（28 %）に % FVC 50 % 未満の高度拘束性換気障害が認められ、2 例では在宅酸素療法が施行されていた（図 5）。さらに、胸郭の縦径、横径ともに成長障害を来した場合には、特に著しい拘束性換気障害を呈していた。

このような状況を背景として、以前より試行錯誤されてきたものの合併症の頻度が高かった、いわゆる instrumentation without fusion（固定術を行わず、内固定金属を用いて矯正を得つつ、脊柱を成長させる方法）に様々な工夫がなされ、より安全に施行できるようになってきた。その代表は Dual growing rod 法であり、頭側にはフックや椎弓根スクリュー、尾側には椎弓根スクリューなどの従来よりも強固なアンカーを使用し、ロッドも 2 本用いることで、従来問題となっていた脱臼や折損のリスクを低減させた<sup>16)</sup>。未だ合併症の発生率は低くないが、従来法に比して良好な成績が期待される<sup>17)</sup>。また、現在本邦では半年に 1 回の手術による延長が必要であるが、海外では磁気によって体外から延長可能な、すなわち延長の際に手術を要さないシステムも使用可能となっている<sup>18)</sup>。この方法以外にも、胸郭を頭尾側に広げるために肋骨に直接装着して、脊柱変形も矯正させることを目的としたデバイスなども使用されつつある<sup>19)</sup>。しかし、若年でこのような instrumentation without fusion 法を開始した場合、手術で展開していない部位であっても拘縮や自然癒合が生じ、徐々に延長しにくくなることが判明している<sup>20)</sup>。よって、これまで以上に装具やギプスに習熟し、できるだけ手術治療の開始年齢を遅延させる努力が不可欠である。

## おわりに

脊柱変形は進行すると呼吸機能障害や麻痺を引き起こし、患者の QOL を著しく低下させる疾患である。また、進行してから治療は、より複雑でリスクの高いものになるため、時機を失するこ

と無く適切な治療を選択する必要がある。

## 謝 辞

稿を終えるにあたり、これまで脊柱変形の治療に携わってこられた新潟大学医学部整形外科教室の多くの先生方に感謝いたします。

## 文 献

- 1) Ogilvie JW: Historical Aspects of Scoliosis. In: Lonstein JE, Bradford DS, Winter RB and Ogilvie JW (eds) *Moe's Textbook of Scoliosis and Other Spinal Deformities*. 3rd ed, WB Saunders, Philadelphia, pp1 - 5, 1994.
- 2) 鈴木信正：脊柱側弯症治療の歴史，川上紀明，宇野耕吉 側弯症治療の最前線 基礎編，初版，医薬ジャーナル社，大阪，pp16 - 33, 2013.
- 3) Blount WP, Schmidt AC, Keever ED and Leonard ET: The Milwaukee brace in the operative treatment of scoliosis. *J Bone Joint Surg Am* 40: 511 - 525, 1958.
- 4) Hartington PW: Treatment of scoliosis. Correction and internal fixation by spine instrumentation. *J Bone Joint Surg Am* 44: 591 - 610, 1962.
- 5) Sato T, Hirano T, Ito T, Morita O, Kikuchi R, Endo N and Tanabe N: Back pain in adolescents with idiopathic scoliosis: epidemiological study for 43,630 pupils in Niigata City, Japan. *Eur Spine J* 20: 274 - 279, 2011.
- 6) Peheresson K, Larsson S, Oden A and Nachemson A: Long - term follow - up of patients with untreated scoliosis. A study of mortality, causes of death, and symptoms. *Spine* 17: 10941 - 10946, 1992.
- 7) 古賀良生，高橋栄明，内山政二，天海憲一：新潟市における側弯症学校検診の成果の検討。脊柱変形 1: 149 - 152, 1986.
- 8) 平野 徹，渡辺 慶，勝見敬一，大橋正幸，遠藤直人：視診による側弯症学校検診の意義と問題点。 *J Spine Res* 5: 1514 - 1517, 2014.
- 9) Takahashi Y, Kou I, Takahashi A, Johnson TA, Kono K, Kawakami N, Uno K, Ito M, Minami S,

- Yanagida H, Taneichi H, Tsuji T, Suzuki T, Sudo H, Kotani T, Watanabe K, Chiba K, Hosono N, Kamatani N, Tsunoda T, Toyama Y, Kubo M, Matsumoto M and Ikegawa S: A genome - wide association study identifies common variants near LBX1 associated with adolescent idiopathic scoliosis. *Nat Genet* 43: 1237 - 1240, 2011.
- 10) Ogura Y, Kou I, Miura S, Takahashi A, Xu L, Takeda K, Takahashi Y, Kono K, Kawakami N, Uno K, Ito M, Minami S, Yonezawa I, Yanagida H, Taneichi H, Zhu Z, Tsuji T, Suzuki T, Sudo H, Kotani T, Watanabe K, Hosogane N, Okada E, Iida A, Nakajima M, Sudo A, Chiba K, Hiraki Y, Toyama Y, Qiu Y, Shukunami C, Kamatani Y, Kubo M, Matsumoto M and Ikegawa S: A functional SNP in BNC2 is associated with adolescent idiopathic scoliosis. *Am J Hum Genet* 97: 337 - 342, 2015.
  - 11) Weinstein SL, Dolan LA, Wright JG and Dobbs MB: Effects of bracing in adolescent with idiopathic scoliosis. *N Engl J Med* 370: 1512 - 1521, 2013.
  - 12) Hirano T, Hasegawa K, Takahashi HE, Uchiyama S, Hara T, Washio T, Sugiura T, Yokaichiya M and Ikeda M: Structural characteristics of the pedicle and its role in screw stability. *Spine* 22: 2504 - 2509, 1997.
  - 13) Williams BA, Matsumoto H, McCalla DJ, Akbarnia BA, Blakemore LC, Betz RR, Flynn JM, Johnston CE, McCarthy RE, Roye DP Jr, Skaggs DL, Smith JT, Snyder BD, Sponseller PD, Sturm PF, Thompson GH, Yazici M and Vitale MG: Development and initial validation of the classification of early - onset scoliosis (C - EOS). *J Bone Joint Surg Am* 96: 1359 - 1367, 2014.
  - 14) 辻 太一, 川上紀明, 宮坂和良, 小原徹哉, 斉藤俊樹, 野原亜也斗, 佐藤貫洋, 伊藤研悠: Corrective cast (Risser - Cotorel cast) による早期発症側弯症の治療. *J Spine Res* 2: 1884 - 7137, 2011.
  - 15) Karol L: Early definitive spinal fusion in young children: what we have learned. *Clin Orthop Relat Res* 469: 1323 - 1329, 2011.
  - 16) Akbarnia BA, Marks DS, Boachie - Adjei O, Thompson AG and Asher MA: Dual growing rod technique for the treatment of progressive early - onset scoliosis: a multicenter study. *Spine* 30: S46 - 57, 2005.
  - 17) Watanabe K, Uno K, Suzuki T, Kawakami N, Tsuji T, Yanagida H, Ito M, Hirano T, Yamazaki K, Minami S, Kotani T, Taneichi H, Imagama S, Takeshita K, Yamamoto T and Matsumoto M: Risk factors for complications associated with growing - rod surgery for early - onset scoliosis. *Spine* 38: E464 - 468, 2013.
  - 18) Cheung KM, Cheung JP, Samartzis D, Mak KC, Wong YW, Cheung WY, Akbarnia BA and Luk KD: Magnetically controlled growing rods for severe spinal curvature in young children: a prospective case series. *Lancet* 379: 1967 - 1974, 2012.
  - 19) Hell AK, Campbell RM and Hefti F: The vertical expandable prosthetic titanium rib implant for the treatment of thoracic insufficiency syndrome associated with congenital and neuromuscular scoliosis in young children. *J Pediatr Orthop B* 14: 287 - 293, 2005.
  - 20) Cahill PJ, Marvil S, Cuddihy L, Schutt C, Idema J, Clements DH, Antonacci MD, Asghar J, Samdani AF and Betz RR: Auto fusion in the immature spine treated with growing rods. *Spine* 35: E1199 - 1203, 2010.

(平成27年10月17日受付)

[特別講演]