

労災疾病臨床研究事業費補助金

脊椎インストゥルメンテーション患者に

アフターケアは本当に必要か？

全国労災病院と産業医科大学を含む多施設大規模調査

平成29年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 須田 浩太

平成30年3月

## I. 総括研究報告

- 脊椎インストゥルメンテーション患者にアフターケアは本当に必要か？  
全国労災病院と産業医科大学を含む多施設大規模調査 . . . . . 1  
独立行政法人労働者健康安全機構  
北海道せき損センター 須田 浩太

## II. 分担研究報告

1. 全国労災病院データを福岡県疫学調査と比較して . . . . . 7  
独立行政法人労働者健康安全機構 総合せき損センター  
前田 健、芝 啓一郎、植田 尊善、坂井 宏旭
  
2. 対象症例の背景分析 . . . . . 12  
北海道大学大学院医学研究院医学統計学教室  
伊藤 陽一
  
3. 非労災患者の脊椎インストゥルメンテーション手術後の  
固定隣接椎間板変性発症率と治療の要否についての検討 . . . . . 18  
北海道大学大学院医学研究院専門医学系部門 機能再生医学分野  
整形外科学教室  
高畑 雅彦、岩崎 倫政  
独立行政法人労働者健康安全機構 北海道せき損センター  
小松 幹
  
4. 労災患者以外の脊椎インストゥルメンテーション手術後における隣接  
椎体骨折の発生状況 . . . . . 22  
産業医科大学 整形外科教室  
中村 英一郎、酒井 昭典
  
5. 高齢者に対する多椎間脊椎インストゥルメンテーション後の至適な  
脊柱骨盤アライメントに関する研究 . . . . . 25  
獨協医科大学医学部医学科整形外科学  
稲見 聡、森平 泰

## III. 研究成果の刊行に関する一覧表 . . . . . 29

# I . 総括研究報告

労災疾病臨床研究事業費補助金  
平成29年度総括研究報告書

脊椎インストゥルメンテーション患者にアフターケアは本当に必要か？  
全国労災病院と産業医科大学を含む多施設大規模調査

研究代表者 須田浩太 独立行政法人労働者健康安全機構  
北海道せき損センター

研究要旨

脊椎インストゥルメンテーションに対するアフターケアの「要否」あるいは「適応基準」を定めるために本研究を計画した。研究の格子は以下の通りである。1) 労災患者における脊椎インストゥルメンテーション症例のデータ集積：全労災病院（全国に34）と産業医科大学の過去5年を目処に労災患者における脊椎インストゥルメンテーション症例のデータを集積する。2) 労災患者以外の脊椎インストゥルメンテーション症例のデータ集積：労災患者以外の脊椎インストゥルメンテーション症例のデータを集積する。3) データの解析：集積したデータを基にアフターケアの要否や適応基準を検討する。脊椎インストゥルメンテーション技術の大幅な進歩に伴い大がかりな脊椎再建術が可能となった。治療成績は向上したものの、隣接椎間障害、隣接椎体骨折、脊椎アライメント異常など従来では想定外であった長期合併症も明らかとなった。脊椎インストゥルメンテーションに起因する後遺症は稀有だが、脊椎アライメント異常が新たに生じた場合はADL障害を生じるためアフターケアの可能性がある。ただし、大幅な脊椎アライメント異常をきたす症例は極めて少なく対象患者は些少と考える。

〈研究分担者〉

(独) 労働者健康安全機構  
北海道せき損センター  
病院長 三浪 明男

(独) 労働者健康安全機構  
総合せき損センター  
病院長 芝 啓一郎

(独) 労働者健康安全機構  
北海道せき損センター  
部長 松本 聡子

(独) 労働者健康安全機構  
総合せき損センター  
副院長 植田 尊善

(独) 労働者健康安全機構  
北海道せき損センター  
部長 小松 幹

(独) 労働者健康安全機構  
総合せき損センター  
部長 前田 健



(独) 労働者健康安全機構  
総合せき損センター  
部長 坂井 宏旭

(独) 労働者健康安全機構  
吉備高原リハビリテーションセンター  
病院長 徳弘 昭博

(独) 労働者健康安全機構  
吉備高原リハビリテーションセンター  
副院長 古澤 一成

産業医科大学整形外科学教室  
教授 酒井 昭典

産業医科大学整形外科学教室  
准教授 中村 英一郎

北海道大学大学院医学研究科  
機能再生医学講座整形外科学分野  
教授 岩崎 倫政

北海道大学大学院医学研究科  
機能再生医学講座整形外科学分野  
准教授 高畑 雅彦

北海道大学大学院医学研究科  
社会医学講座医学統計学分野  
准教授 伊藤 陽一

独協医科大学医学部医学科  
整形外科学  
主任教授 種市 洋

独協医科大学医学部医学科  
整形外科学  
准教授 稲見 聡

独協医科大学医学部医学科  
整形外科学  
講師 森平 泰

#### A. 研究目的

アフターケアは業務災害又は通勤災害による傷病の症状固定後における後遺症状・付随疾病に対する予防と保健措置を提供し労災患者の社会復帰を促進するための制度であり、労働能力を維持し、円滑な社会生活を営ませることを目的としている。対象疾患は限定されており①せき髄損傷、②頭頸部外傷症候群等(頭頸部外傷症候群、頸肩腕障害、腰痛)、③尿路系障害、④慢性肝炎、⑤白内障等の眼疾患、⑥振動障害、⑦大腿骨頸部骨折及び股関節脱臼・脱臼骨折、⑧人工関節・人工骨頭置換、⑨慢性化膿性骨髓炎、⑩虚血性心疾患等、⑪尿路系腫瘍、⑫脳の器質性障害、⑬外傷による末梢神経損傷、⑭熱傷、⑮サリン中毒、⑯精神障害、⑰循環器障害、⑱呼吸機能障害、⑲消化器障害、⑳炭鉱災害による一酸化炭素中毒の20疾病が該当する。中でも①せき髄損傷、②頭頸部外傷症候群等(頭頸部外傷症候群、頸肩腕障害、腰痛)では脊椎インストゥルメンテーションが用いられることが増えた。近年は脊椎インストゥルメンテーション技術の大幅な進歩に伴い、従来は不可能であった大規模な脊椎再建術が平常的に行われるようになった。治療成績は飛躍的に向上し、後遺症が減ったものの、中には脊椎インストゥルメンテーションに起因する症状も少なくない。脊椎インストゥルメンテーション症例に関して、1) 症状固定後に如何なる症状が生じえるか? 2) 如何なる措置がどの程度の期間必要か? 3) どの程度の症例数が見込まれるのか? を明らかにしアフターケアの要否を検討する必要がある。一方で限りある財源の有効活用、効率的分配は労災補償行政において重要課題である。脊椎インストゥルメンテーションにおいてアフターケアが必要な症例は極め

て少ないと予想するが皆無ではない。どの様な症例が該当するのか、どの程度の頻度で存在するのか、アフターケアの適応基準を定め、その際に生じる「医療コスト」を予測することが労災補償行政の上で重要である。本研究ではアフターケアの要否と基準を検討することを目的とした。

## B.研究計画、方法

### (1) 労災患者における脊椎インストゥルメンテーション症例のデータ集積

北海道せき損センター、総合せき損センター、吉備高原医療リハビリテーションセンター、産業医科大学をコアとして全労災病院（全国に34）と産業医科大学の2009年1月からの5年間に全労災病院にて入院加療を行った労災保険患者18,371名、総手術16093件、うち脊椎インストゥルメンテーション手術348件を対象として疾患、年齢、性別、術前・術後レントゲン画像、固定範囲、術後合併症、治療内容、診療報酬内訳、アフターケアの有無を調査した。対象施設は以下の35施設。

1.北海道中央労災病院、2.北海道せき損センター、3.釧路労災病院、4.青森労災病院、5.東北労災病院、6.秋田労災病院、7.福島労災病院、8.鹿島労災病院、9.千葉労災病院、10.東京労災病院、11.関東労災病院、12.横浜労災病院、13.燕労災病院、14.新潟労災病院、15.富山労災病院、16.浜松労災病院、17.中部労災病院、18.旭労災病院、19.大阪労災病院、20.関西労災病院、21.神戸労災病院、22.和歌山労災病院、23.山陰労災病院、24.岡山労災病院、25.中国労災病院、26.山口労災病院、27.香川労災病院、28.愛媛労災病院、29.九州労災病院、30.九州労災病院門司メディカルセンター、31.長崎労災病院、32.熊本労災病院、33.吉備高原医療リハビリテーションセンター、34.総合せき損センター、35.産業医科大学

協力医師

油川修一、池田天史、岡崎裕司、奥山幸一郎、加

治浩三、川添泰弘、日下部 隆、楠瀬浩一、武田宏史、千葉光穂、信田進吾、馬場秀夫、放生憲博、山縣正庸、渡邊健一、舘田聡、伊藤圭吾、岩崎幹希、岡部 聡、笠原孝一、河本正昭、菊地 廉、傳田博司、花林昭裕、平野典和、三上容司、三好光太、湯川泰紹、安藤宗治、大園健二、大西英生、大和田哲雄、岡野 徹、城戸研二、木戸健司、楠城誉朗、國司善彦、佐々木俊二、笹重善朗、壺内貢、富永俊克、生熊久敬、前原 孝、原田良昭

### (2) 労災患者以外の脊椎インストゥルメンテーション症例のデータ集積

2009年1月からの5年間に産業医科大学、北海道大学、獨協医科大学にて施行された脊椎インストゥルメンテーション多椎間固定例を対象に、疾患、年齢、性別、固定範囲、固定アライメント、合併症、隣接椎間変性や骨折、術後の加療要否を調査した。

(1)、(2)で集積したデータを基に、労災患者での脊椎固定頻度、手術内容、治癒期間、治癒後の加療要否などを解析した。

## C.研究結果

### 1. 労災患者分析

アンケート期間中に労災による脊椎・脊髄損傷患者を受け入れ脊椎インストゥルメンテーション手術を行った病院は31施設であった。患者数:281例(男性264例、女性17例 男女比=15.5:1)。入院時平均年齢:48.5歳。平均入院期間:81.2日。受傷部位:頸椎=93例、胸椎=75例、腰椎=108例、不明=6例。入院時Frankel分類:A=48例、B=15例、C=37例、D=64例、E=107例、不明=10例。調査時麻痺残存の有無:残存あり=143例、残存なし=133例、不明=5例。退院後外来通院患者数:104例、アフターケア受給者数:73例であった。頸椎損傷75例中、骨傷あり=69例、骨傷なし=6例、胸腰椎損傷175例中、骨傷あり=156例、骨傷なし=19例であった。入院時

Frankel A = 48 例中、麻痺残存あり = 44 例 (91.6%)、残存なし = 4 例、入院時 Frankel B = 15 例中、麻痺残存あり = 15 例 (100%)、残存なし = 0 例、入院時 Frankel C = 37 例中、麻痺残存あり = 35 例 (94.5%)、残存なし = 2 例、入院時 Frankel D = 64 例中、麻痺残存あり = 44 例 (68.7%)、残存なし = 20 例、入院時 Frankel E = 107 例中、麻痺残存あり = 0 例 (0%)、残存なし = 107 例であった。10 代の受傷患者 3 例中、麻痺残存あり = 2 例、残存なし 1 例、20 代の受傷患者 39 例中、麻痺残存あり = 16 例、残存なし 23 例、30 代の受傷患者 36 例中、麻痺残存あり = 18 例、残存なし 18 例、40 代の受傷患者 52 例中、麻痺残存あり = 32 例、残存なし 20 例、50 代の受傷患者 64 例中、麻痺残存あり = 29 例、残存なし 35 例、60 代の受傷患者 65 例中、麻痺残存あり = 35 例、残存なし 30 例、70 代の受傷患者 14 例中、麻痺残存あり = 10 例、残存なし 4 例、80 代の受傷患者 1 例中、麻痺残存あり = 1 例、残存なし 0 例であった。労災事故による脊椎インストゥルメンテーション手術を行った症例の特徴として、壮青年、男性、胸腰椎レベルの損傷症例が多いことが明らかとなった。また、入院時麻痺を伴う脊椎損傷症例では高率に麻痺が残存していた。

## 2. 医療費

入院医療費の総合計の中央値は 4010144.5 円、平均値は 5230406 円と乖離があり、少数の患者に高額な入院医療費がかかっていた。麻痺有の入院医療費の総合計の中央値は 5090567 円であり、麻痺無の入院医療費の総合計の中央値は 3232127 円であった。Wilcoxon の順位和検定の P 値は 0.0001 未満であった。通院の有無では、通院有が 104 例 (37.1%)、無が 176 例 (62.9%) であった。外来医療費の総合計の中央値は 69607 円、平均値は 149989 円であり一部の外れ値によって、中央値と平均値の乖離が生じていることが分かった。ケア医療費の総合計の中央値は 35696 円、平均値は 89755 円

と乖離があり、少数の対象者に高額なケア医療費がかかっていた。麻痺有の外来医療費の総合計の中央値は 82480 円であり、麻痺無の入院医療費の総合計の中央値は 35182 円であった。麻痺有のケア医療費の総合計の中央値は 34006 円であり、麻痺無のケア医療費の総合計の中央値は 58386.5 円であった。入院医療費、外来医療費、ケア医療費ともに、特定の少数の患者に高額な医療費がかかっていること分かったが、外来医療費およびケア医療費では、欠測が多く妥当な結果が得られていない可能性がある。入院医療費は麻痺有の方が無と比較して有意に高い傾向が認められたが、外来医療費およびケア医療費では、差は認められなかった。これは、外来医療費とケア医療費の症例数が少なく、検出力が低くなっている可能性も考えられる。入院医療費は頸椎、胸椎と比較して、腰椎が低い傾向が認められた。外来医療費については、症例数が少ないものの、胸椎と腰椎が頸椎と比較して有意に高い傾向が認められた。ケア医療費も同様に胸椎と腰椎が頸椎と比較して高い傾向が認められるものの有意な差ではなかった。

## 3. 労災患者以外の隣接椎間障害

対象患者の年齢は平均 65.8 才、女性 103 名、男性 87 名であった。外傷例が 17 例、残りは加齢変性を基盤とした変性疾患であった。手術時間は平均 349 分、出血量は 622cc であつた。固定は平均 2.6 椎間(1-13 椎間)に行われていた。平均経過観察期間 4.5 年 (最低 2 年以上) の経過観察期間で固定上位隣接椎間板変性が進行したと判断されたのは 77/190 例 (40.5%) であり、上記の因子のうち固定上位隣接椎間板変性に関与したのは手術時間 ( $p=0.006$ ) と 2 椎間以上の floating fusion ( $p=0.0045$ ) であつた。一方、固定下位隣接椎間板変性の進行は 67/190 例でみられたが、34/190 例が腰仙椎部の固定で下位に椎間板がない非該当例であつた。そのため、実際には 67/156 例 (42.9%) で固定下位隣接椎間板の変性が進行したと判断さ

れた。腰仙椎部固定を除く 154 例中上下固定隣接椎間板変性がともに進行を判断されたのは 45/156 例 (28.8%) であった。固定下位隣接椎間板変性進行に関与する因子は外傷( $p=0.0486$ ), 手術時間( $p=0.0089$ ), 2 椎間以上の floating fusion( $P=0.0493$ ) および術前前弯角( $p=0.0162$ )であった。最終経過観察時になんらかの治療を要していた患者は 75/190 例 (39.5%) であり、その理由は神経障害が 35 例、上下肢痛が 40 例、体幹痛が 50 例であった。なんらかの治療を要していた 75 例のうち 16 例は固定上位隣接椎間板のみ変性進行があり、8 例は固定下位隣接椎間板のみ変性が進行、25 例は固定の上位、下位ともに椎間板変性進行があった。固定上位隣接椎間板変性のあった 77 例のうち治療を継続してうけていたのは 41 例 (53.2%) であり、固定上位隣接椎間板変性と最終経過観察時の治療の要否については有意な相関を認めた

( $p=0.0049$ )。一方、固定下位隣接椎間板変性のあった 67 例のうち 34 例 (50.7%) が最終経過観察時にも治療を受けており、固定下位隣接椎間板変性と最終経過観察時の治療の要否についても有意な相関を認めた( $p=0.011$ )。しかし、治療のほとんどは投薬加療や理学療法などであり、固定隣接椎間障害(骨折を除く)で手術を要した患者は全体で 2 例のみであった。

#### 4.隣接椎体骨折

対象者は、男性 87 名、女性 103 名の計 190 名で、平均年齢は 65.8 歳であった。そのうち骨脆弱性の圧迫骨折を含む外傷が 35 名であった。固定椎間数は 1~13 椎間で、平均 3 椎間、そのうち 1 椎間固定が 75 例、2 椎間固定が 46 例、3 椎間以上の固定例が 69 例であった。頸椎例は 11 例、胸椎~L2 までの範囲内での固定例は 43 例、L3 以下が 136 例であった。腰椎固定例で、固定最下端が L5 であり、L5/S を固定しなかった Floating Fusion 例は 74 例であった。ついで隣接椎体骨折をアウトカムとしてこれらの因子との関連を検討すると、

固定上位の隣接椎体骨折に関連する因子はなかったが、固定下位の隣接椎体骨折に関連する因子は、年齢( $P < 0.0097$ )、圧迫骨折を含む外傷( $P < 0.031$ )、固定部位が、胸椎~L2 ( $P < 0.014$ )と L3 以下( $P < 0.044$ )である場合に有意差が出た。すなわち、高齢であること、圧迫骨折を含む外傷、胸椎~L2 までの固定と L3 以下の固定である場合に下位隣接椎体骨折が起きやすいことが明らかとなった。ついで多変量解析を行ったが、上位、下位ともに有意な因子は抽出できなかった。一方、アウトカム間に相関があるか否かサブセット解析を行ったところ、下位隣接椎体骨折とその後の治療が必要であることに有意な相関が見られた。

#### 5.アライメント

成人脊柱変形を有する患者に対する多椎間脊椎インストゥルメンテーション手術後 2 年以上経過した 48 例 (年齢  $60.7 \pm 9.7$  歳) を対象とした。最終観察時の立位全脊柱 X 線像から、脊柱骨盤パラメータとして PI、LL、PI-LL、胸椎後弯 (TK)、胸腰椎後弯 (TLK)、Pelvic tilt (PT)、Sagittal vertical axis (SVA)、側弯 Cobb 角を計測した。また、最終観察時の臨床成績を患者立脚型評価法である Oswestry disability index (ODI) にて評価した。最終観察時 ODI の 75 パーセンタイル (ODI=22%) 以下を QOL 良好と定義し、QOL 良好群において PI と PI-LL の関係を回帰分析で解析し、矯正手術で目指すべき理想的な PI-LL の値を求める予測式を算出した。最終観察時の脊柱変形パラメータは、PI:  $49.7 \pm 11.4^\circ$ 、LL:  $38.6 \pm 11.0^\circ$ 、PI-LL:  $11.0 \pm 12.6^\circ$ 、TK:  $30.0 \pm 13.9^\circ$ 、TLK:  $9.2 \pm 7.5^\circ$ 、PT:  $24.9 \pm 9.8^\circ$ 、SVA:  $36.6 \pm 44.6\text{mm}$ 、側弯 Cobb 角:  $13.3 \pm 10.2^\circ$  であった。最終観察時の ODI は  $14.4 \pm 9.9$  (0~35.6%) であった。次に、最終観察時 ODI の 75 パーセンタイル (ODI=22%) 以下の QOL 良好群 ( $n=36$ ) において PI と PI-LL の関係を回帰分析で解析すると、 $PI-LL = 0.41PI - 11.12$  ( $r = 0.45$ ,  $p = 0.0059$ ) の式が導かれた。多椎間脊椎

インストゥルメンテーション術後の QOL が良好な患者においては、脊柱変形矯正の指標である PI-LL の値は一定ではなく、患者固有の骨盤形態から求められる PI の大きさで変化することが判明した。

#### D. 考察

##### アフターケアの要否

社会復帰促進等事業としてのアフターケア実施要領（平成 19 年 4 月 23 日付け基発第 0423002 号、最終改正 平成 28 年 3 月 30 日付け基発 0330 第 5 号）によれば業務災害又は通勤災害により、せき髄損傷等の傷病にり患した者にあつては、症状固定後においても後遺症状に動揺をきたす場合が見られること、後遺障害に付随する疾病を発症させるおそれがあることにかんがみ、必要に応じてアフターケアとして予防その他の保健上の措置を講じ、当該労働者の労働能力を維持し、円滑な社会生活を営ませるものとする、と定められている。脊椎インストゥルメンテーションは脊椎固定術を目的としており、骨癒合が完成した時点で治癒と判断する。単椎間固定であれば後遺症を残すことは極めて少ない。隣接椎間障害は加齢による変性変化の影響が大きく、隣接椎体骨折は骨粗鬆症の影響を無視できない、これら全てを脊椎インストゥルメンテーションに起因すると判断するのは無理がある。調査結果からもアフターケアを必要とする病態は脊椎インストゥルメンテーションに起因するものではなく、神経麻痺の後遺症や付随する合併症と目された。一方で脊椎アライメント異常は状況が全く異なることも明らかとなった。脊椎アライメントにおいて  $PI-LL = 0.41PI-11.12$  ( $r = 0.45, p = 0.0059$ ) を大きく逸脱するような姿勢異常が傷病あるいは脊椎インストゥルメンテーションによって新たに発生した場合にはアフターケアを要する病態と考える。

##### アフターケア適応基準

筆者の考えるアフターケア適応基準案は小病ある

いは脊椎インストゥルメンテーションにより新たなアライメント異常を生じ、ADL 障害を来した症例と考える。明らかなアライメント異常は 30 度以上の新規変化と暫定するが、これに関するエビデンスは今後の課題とする。一方で 30 度以上のアライメント異常を新たに生じる症例は稀有であり、この基準によってアフターケアの対象患者が急増することは予想されない。日本国内における脊椎インストゥルメンテーション手術は年間 6 万件と目されている。そのうち、麻痺のない労災患者を 2% と仮定すると年間症例数は 1200 例。アフターケアにかかる費用は当院平均で年間 30 万円なので、全例を 20 年間アフターケアとすれば 72 億円を要す。しかし、アライメント異常を来した症例は本調査でも該当例がなく頻度的には 1% に満たない可能性が高い。すなわち、上記基準を基に脊椎インストゥルメンテーションによるアフターケアを新設しても、新たな労災補償導入は 1 億円に満たないと想像する。

#### F. 健康危険情報

該当なし

#### G. 研究発表

##### 1. 論文発表

- 1) 松本聡子、須田浩太、小松幹、三浪明男  
高齢者脊髄損傷の疫学 整形・災害外科  
(0837-4095) 61 巻 Page 273-276(2018)

##### 2. 学会発表

データ集積および解析後に予定

#### H. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）

##### 1. 特許取得

なし

##### 2. 実用新案登録

なし

##### 3. その他

## II. 分担研究報告

労災疾病臨床研究事業費補助金  
平成29年度分担研究報告書

脊椎インストゥルメンテーション患者にアフターケアは本当に必要か？  
全国労災病院と産業医科大学を含む多施設大規模調査  
全国労災病院データを福岡県疫学調査と比較して

研究分担者 前田健 労働者健康安全機構 総合せき損センター  
研究分担者 芝啓一郎 労働者健康安全機構 総合せき損センター  
研究分担者 植田尊善 労働者健康安全機構 総合せき損センター  
研究分担者 坂井宏旭 労働者健康安全機構 総合せき損センター

研究要旨

【目的】本邦における労災事故による脊椎インストゥルメンテーション手術のデモグラフィック・データを収集し、その特徴を明らかにすることである。

【方法】

- 1) 全国労災病院における労災外傷における脊椎インストゥルメンテーション手術の現状調査：労災医療における国内最大組織（全労災病院）に対し、2009年1月から5年間、全国労災病院に入院した労災外傷にて脊椎インストゥルメンテーション手術を行った患者を対象としたアンケート調査（年齢、性別、麻痺程度、麻痺高位等）を行った。
- 2) 福岡県における脊髄損傷疫学調査：福岡県下の2次、3次救急病院に対し、2015/1/1-2015/12/31の期間中に搬送された新規脊椎・脊髄損傷患者を対象としたアンケート調査（年齢、性別、麻痺程度、麻痺高位等）を行った。

【結果】

1) アンケート期間中に労災による脊椎・脊髄損傷患者を受け入れ脊椎インストゥルメンテーション手術を行った病院は31施設であった。患者数：281例（男性264例、女性17例）。入院時平均年齢：48.5歳。平均入院期間：81.2日。受傷部位：頸椎=93例、胸椎=75例、腰椎=108例、不明=6例。入院時Frankel分類：A=48例、B=15例、C=37例、D=64例、E=107例、不明=10例。調査時麻痺残存の有無：残存あり=143例、残存なし=133例、不明=5例であった。

2) アンケート期間中に新規脊椎・脊髄損傷患者を受け入れた病院は福岡県下35施設であった（回答率=90%）。患者数：185例（男性128例、女性57例）。入院時平均年齢63.3歳。受傷部位：頸椎=143例、胸・腰椎=42例。搬送時Frankel分類：A=16例、B=11例、C=35例、D=49例、E=74例であった。

【考察】

労災事故による脊椎インストゥルメンテーション手術を行った症例の特徴として、壮青年、男性、胸腰椎レベルの損傷症例が多く、入院時麻痺を伴う脊椎損傷症例では、高率に麻痺が残存していたことが明らかとなった。

## A. 研究目的

労災外傷による脊椎損傷は、脊椎インストゥルメンテーション技術の大幅な進歩に伴い、治療成績は向上したものの、長期にわたる治療が必須な症例も少なくない。アフターケアの「適応基準」を定め、その際に生じる「医療コスト」を予測することが労災補償行政に必須である。

全国には34労災病院があり、総数13,000以上のベッド、約15,000人のスタッフを有する労災医療における国内最大組織（全労災病院）である。さらに、当センターでは、福岡県における新規脊椎・脊髄損傷に関する疫学調査を行っている。本研究の目的は、このように労災医療における国内最大組織に対して国内最大規模調査を行うことで労災患者における脊椎インストゥルメンテーション症例の疫学調査を行い、また、福岡県の疫学調査結果と比較し、その発生状況等を分析することである。

## B. 研究方法

### 1) 全国労災病院における労災外傷における脊椎インストゥルメンテーション手術の現状調査

対象病院：全国34労災病院（1. 北海道中央労災病院、2. 北海道せき損センター、3. 釧路労災病院、4. 青森労災病院、5. 東北労災病院、6. 秋田労災病院、7. 福島労災病院、8. 鹿島労災病院、9. 千葉労災病院、10. 東京労災病院、11. 関東労災病院、12. 横浜労災病院、13. 燕労災病院、14. 新潟労災病院、15. 富山労災病院、16. 浜松労災病院、17. 中部労災病院、18. 旭労災病院、19. 大阪労災病院、20. 関西労災病院、21. 神戸労災病院、22. 和歌山労災病院、23. 山陰労災病院、24. 岡山労災病院、25. 中国労災病院、26. 山口労災病院、27. 香川労災病院、28. 愛媛労災病院、29. 九州労災病院、30. 九州労災病院門司メディカルセンター、31. 長崎労災病院、32. 熊本労災病院、33. 吉備高原医療リハビリテーションセンター、34. 総合せき損センター）を対象として、郵送にてアンケート調査を行った。

対象患者：2009年1月から5年間、全国労災病院に入院した労災外傷にて脊椎インストゥルメンテーション手術を行った患者。

アンケート項目：施設名、性別、入院時年齢、入院年月日、退院年月日、受傷原因、受傷時Frankel分類、受傷部位、骨傷の有無、残存麻痺の有無、残存麻痺高位、手術実施日、手術コード、手術処置名称、手術点数、固定範囲、入院医療費、外来医療費、ケア医療費、外来通院の有無、アフターケア受給の有無等。

### 2) 福岡県における脊髄損傷疫学調査

対象病院：福岡県下の2次、3次救急病院を対象として、郵送にてアンケート調査を行った。

対象患者：2015/1/1-2015/12/31の期間中、上記救急病院に搬送された新規脊椎・脊髄損傷患者。

アンケート項目：施設名、性別、搬送時年齢、受傷原因、受傷時Frankel分類、受傷部位、骨傷の有無。

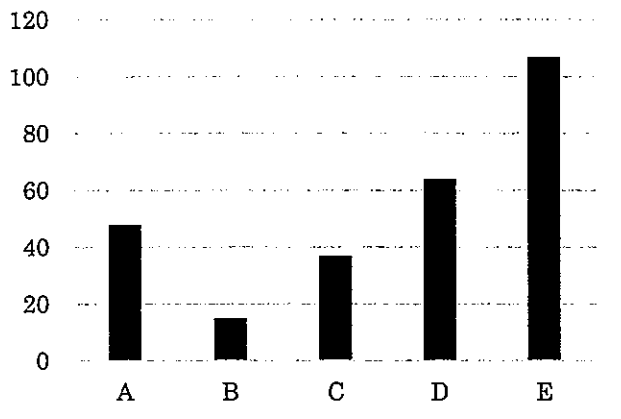
## C. 研究結果

### 1) 全国労災病院における労災外傷における脊椎インストゥルメンテーション手術の現状調査

アンケート期間中に労災による脊椎・脊髄損傷患者を受け入れ脊椎インストゥルメンテーション手術を行った病院は31施設であった。患者数：281例（男性264例、女性17例 男女比=15.5:1）。入院時平均年齢：48.5歳。平均入院期間：81.2日。受傷部位：頸椎=93例、胸椎=75例、腰椎=108例、不明=6例。入院時Frankel分類：A=48例、B=15例、C=37例、D=64例、E=107例、不明=10例（図1）。調査時麻痺残存の有無：残存あり=143例、残存なし=133例、不明=5例。退院後外来通院患者数：104例、アフターケア受給者数：73例であった。

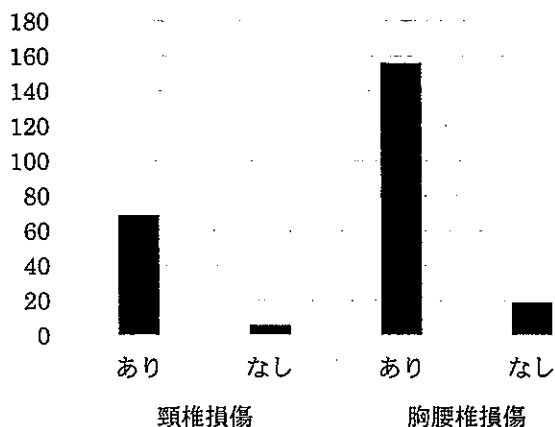


図1 入院時Frankel分類  
(全国労災病院データ)



次に、受傷高位と脊椎損傷の関係について検討した。頸椎損傷 75 例中、骨傷あり=69 例、骨傷なし=6 例、胸腰椎損傷 175 例中、骨傷あり=156 例、骨傷なし=19 例であった (図 2)。

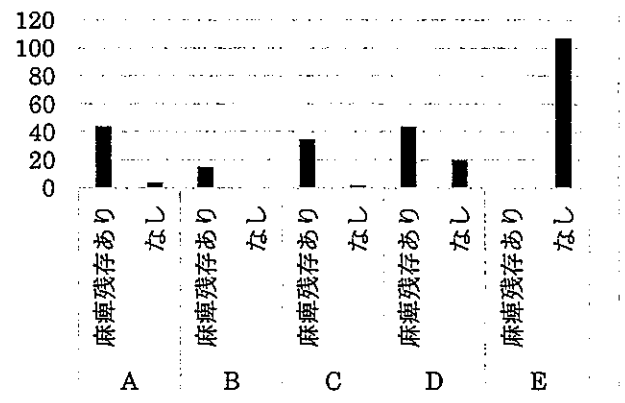
図2 脊椎損傷の有無  
(全国労災病院データ)



さらに、入院時 Frankel 分類と麻痺残存の有無について検討を行った。入院時 Frankel A=48 例中、麻痺残存あり=44 例 (91.6%)、残存なし=4 例、入院時 Frankel B=15 例中、麻痺残存あり=15 例 (100%)、残存なし=0 例、入院時 Frankel C=37 例中、麻痺残存あり=35 例 (94.5%)、残存なし=2 例、入院時 Frankel D=64 例中、麻痺残

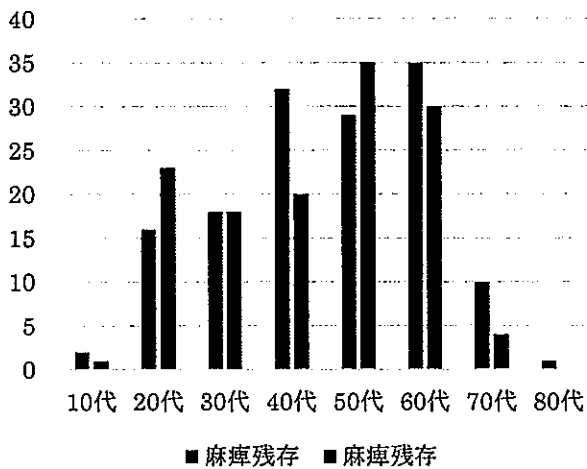
存あり=44 例 (68.7%)、残存なし=20 例、入院時 Frankel E=107 例中、麻痺残存あり=0 例 (0%)、残存なし=107 例であった (図 3)。

図3 入院時Frankel分類と  
麻痺残存  
(全国労災病院データ)



続いて、年代別麻痺残存の有無について検討を行った。10 代の受傷患者 3 例中、麻痺残存あり=2 例、残存なし 1 例、20 代の受傷患者 39 例中、麻痺残存あり=16 例、残存なし 23 例、30 代の受傷患者 36 例中、麻痺残存あり=18 例、残存なし 18 例、40 代の受傷患者 52 例中、麻痺残存あり=32 例、残存なし 20 例、50 代の受傷患者 64 例中、麻痺残存あり=29 例、残存なし 35 例、60 代の受傷患者 65 例中、麻痺残存あり=35 例、残存なし 30 例、70 代の受傷患者 14 例中、麻痺残存あり=10 例、残存なし 4 例、80 代の受傷患者 1 例中、麻痺残存あり=1 例、残存なし 0 例であった (図 4)

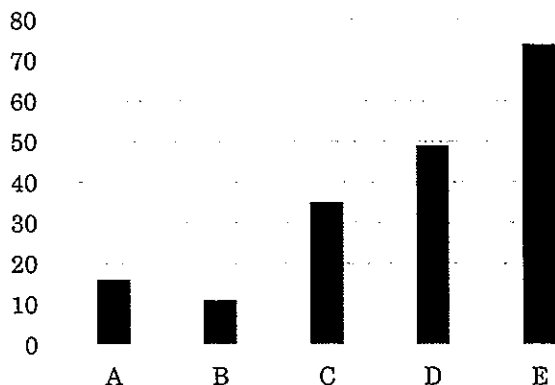
図4 年代別麻痺残存の有無



## 2) 福岡県における脊髄損傷疫学調査

アンケート期間中に新規脊椎・脊髄損傷患者を受け入れた病院は福岡県下 35 施設であった(回答率=90%)。患者数：185 例(男性 128 例、女性 57 例 男女比=2.2 : 1)。入院時平均年齢 63.3 歳。受傷部位：頸椎=143 例、胸・腰椎=42 例。搬送時 Frankel 分類：A=16 例、B=11 例、C=35 例、D=49 例、E=74 例であった(図4)。

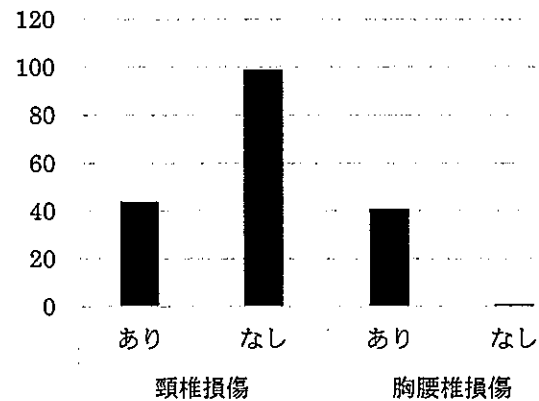
図5 搬送時Frankel (福岡県における脊椎・脊髄損傷患者)



次に、受傷高位と脊椎損傷の関係について検討した。頸椎損傷 143 例中、骨傷あり=44 例、骨傷

なし=99 例、胸腰椎損傷 42 例中、骨傷あり=41 例、骨傷なし=1 例であった(図5)。

図6 脊椎損傷の有無 (福岡県における脊椎・脊髄損傷患者)



## D. 考察

本研究は、労災医療における国内最大組織(全労災病院)に対し、労災事故による脊椎インストゥルメンテーション手術を行った症例を対象とした全国アンケート調査を行った本邦初の研究である。

労災事故による脊椎インストゥルメンテーション手術を行った症例群(以下、労災群)(男女比=15.5 : 1、入院時平均年齢:48.5 歳)では、福岡県における新規脊椎・脊髄損傷疫学調査(以下、福岡県群)の結果(男女比=2.2 : 1、入院時平均年齢 63.3 歳)と比較して男性の割合が多く、入院時平均年齢が低かった。受傷部位は、福岡県群(頸椎:胸腰椎=3.4 : 1)に対し、労災群(頸椎:胸腰椎=0.4 : 1)では、胸腰椎レベルの損傷が多かった。また、福岡県群は、頸椎レベルの損傷だが、骨傷を伴わないいわゆる非骨傷性頸髄損傷の症例が多いことが伺えた。入院時 Frankel 分類において、労災群と福岡県群の間で大きな分布の差は認めなかった。これらのことより、労災群の特徴として、壮青年、男性、胸腰椎レベルの損傷症例が

多いことが明らかとなった。しかし、一方で、本邦の高齢化により、脊椎・脊髄損傷患者の平均年齢は高齢化しており、労災群においても労働人口の高齢化に伴い平均年齢が高齢化することが想定された。

労災群において、入院時 Frankel A-C の症例では、90%以上の割合で、調査時麻痺が残存していた。入院時 Frankel D の症例でも、60%も割合で、調査時麻痺を認めた。一方、調査時麻痺の残存と年齢の関係は、大きな相関を認めなかった。これらのことより、すべての年代において、麻痺を伴う脊椎損傷症例では、高率に麻痺が残存する可能性が示唆された。

#### E. 結論

1. 労災医療における国内最大組織（全労災病院）に対し、労災事故による脊椎インストゥルメンテーション手術を行った症例を対象とした全国アンケート調査を行った。

2. 労災事故による脊椎インストゥルメンテーション手術を行った症例の特徴として、壮青年、男性、胸腰椎レベルの損傷症例が多いことが明らかとなった。

3. 労災事故による脊椎インストゥルメンテーション手術を行った症例のすべての年代において、入院時麻痺を伴う脊椎損傷症例では、高率に麻痺が残存していた。

#### F. 健康危険情報

なし

#### G. 研究発表

##### 1. 論文発表

なし

##### 2. 学会発表

10 year's epidemiological survey of spinal cord injuries (SCI) in Fukuoka Prefecture, Japan H Sakai T Ueta T Maeda E et.al (2017 ISCOS Dublin, Ireland)

#### H. 知的財産権の出願・登録状況

##### 1. 特許取得

なし

##### 2. 実用新案登録

なし

##### 3. その他

なし

労災疾病臨床研究事業費補助金  
平成29年度分担研究報告書

脊椎インストゥルメンテーション患者にアフターケアは本当に必要か？  
全国労災病院と産業医科大学を含む多施設大規模調査  
「対象症例の背景分析」

研究分担者 伊藤 陽一 北海道大学大学院医学研究院医学統計学教室 准教授

研究要旨

脊椎インストゥルメンテーション技術の大幅な進歩に伴い、従来は不可能であった大規模な脊椎再建術が平常的に行われるようになったが、患者の長期予後の状況は明らかではない。そこで、脊椎インストゥルメンテーション患者の国内大規模調査が実施された。本研究では、本調査の対象者の背景因子の分析を行うことを目的とする。解析対象は本調査で集積された281症例の年齢、性別、麻痺の有無、受傷部位、医療費、入院期間などである。分析の結果、入院医療費について、麻痺の有無および受傷部位間で大きな差が認められることが、明らかとなった。外来医療費およびケア医療費についても分析を行ったが、十分な症例数が得られなかったため、確定的な結論は得られなかった。

A. 研究目的

脊椎インストゥルメンテーション技術の大幅な進歩に伴い、従来は不可能であった大規模な脊椎再建術が平常的に行われるようになった。治療成績は飛躍的に向上し、後遺症が減ったものの、中には長期にわたる経過観察や治療が必須な症例も少なくない。そこで、脊椎インストゥルメンテーションを行った症例に関して、1) 症状固定後に如何なる症状が生じるか？ 2) 如何なる措置がどの程度の期間必要か？ 3) どの程度の症例数が見込まれるのか？を明らかにすることを目的とした国内大規模調査が実施された。そこで本研究では、対象となった患者の背景因子を分析することを目的とする。

B. 研究方法

労災患者における脊椎インストゥルメンテーション症例のデータ集積(2年間)の281症例を対象とする。

分析対象とする背景因子は、入院時年齢、性別、施設ごと登録症例数、通院の有無、麻痺の有無、受傷時Frankel分類、受傷部位、入院医療費合計、外来医療費合計、ケア医療費合計、入院期間(日)とした。

C. 研究結果

(1) 各背景因子の分布

入院時年齢の分布は図1の通りであり、平均48.5歳、標準偏差15.0歳であった。

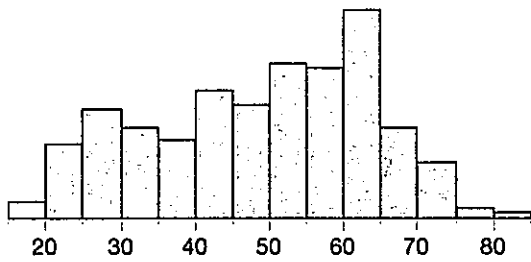


図 1：入院時年齢のヒストグラム

性別は、男性 264 例 (94.0%)、女性 17 例 (6.0%) であった。登録施設数は 31 施設であり、施設ごとの登録症例数の中央値は 6 例、最小値 1 例、最大値 70 例であった。図 2 に施設ごとの登録症例数の分布を示す。

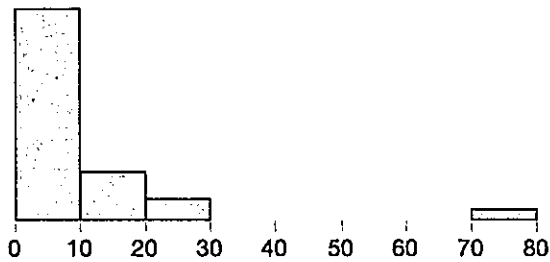


図 2：施設ごとの登録症例数のヒストグラム

通院の有無では、通院有が 104 例 (37.1%)、無が 176 例 (62.9%) であった。麻痺の有無では、有が 143 例 (52.2%)、無が 131 例 (47.8%) であった。受傷時 Frankel 分類は A が 48 例 (28.2%)、B が 15 例 (0.09%)、C が 37 例 (21.8%)、D が 60 例 (35.3%)、E が 6 例 (0.04%)、その他が 4 例 (0.02%)、欠測が 111 例であった。受傷部位は C が 93 例 (33.7%)、T が 75 例 (27.2%)、L が 108 例 (39.1%) であった。入院医療費の総合計の分布を図 3 に示す。中央値は 4010144.5 円、平均値は 5230406 円と乖離があり、少数の患者に高額な入院医療費がかかっていることが分かる。

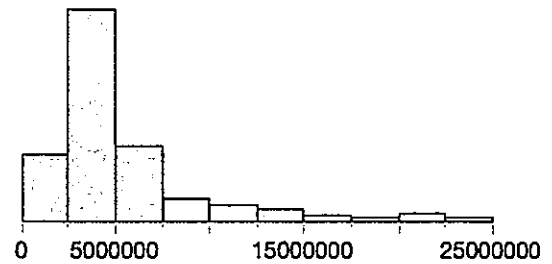


図 3：入院医療費の総合計のヒストグラム

外来医療費の総合計の図を図 4 に示す。中央値は 69607 円、平均値は 149989 円であり一部の外れ値によって、中央値と平均値の乖離が生じていることが分かる。

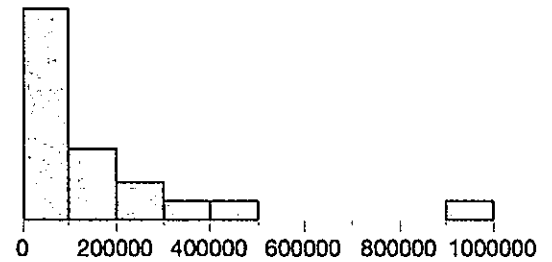


図 4：外来医療費の総合計のヒストグラム

ケア医療費の総合計の分布を図 5 に示す。中央値は 35696 円、平均値は 89755 円と乖離があり、少数の対象者に高額なケア医療費がかかっていることが分かる。

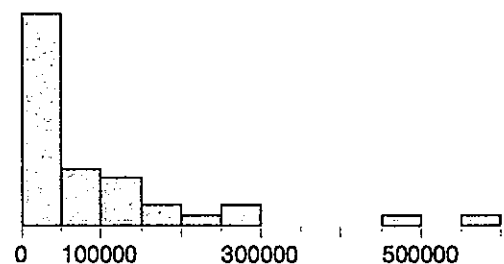


図 5：ケア医療費の総合計のヒストグラム

入院期間(日)の分布を図6に示す。中央値は48日、平均値は81日であり、少数の対象者が極めて長期に入院していることが分かる。

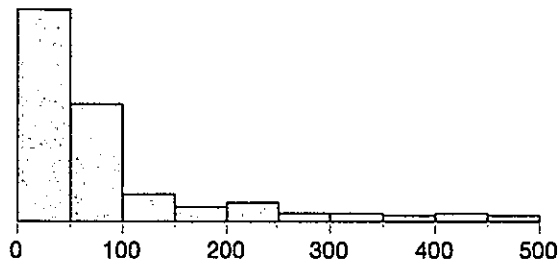


図6：入院期間(日)のヒストグラム

(2) 各背景因子と麻痺の有無との関連

麻痺有では、男性138例(96.5%)、女性5例(3.5%)、麻痺無では、男性119例(90.8%)、女性12例(9.2%)であった。Pearsonのカイ二乗検定のP値は0.0522であった。

麻痺の有無別の入院時年齢の分布と箱ひげ図を図7に示す。麻痺有の入院時年齢の中央値は51歳であり、麻痺無の入院時年齢の中央値は50歳であった。Wilcoxonの順位和検定のP値は0.2570であった。

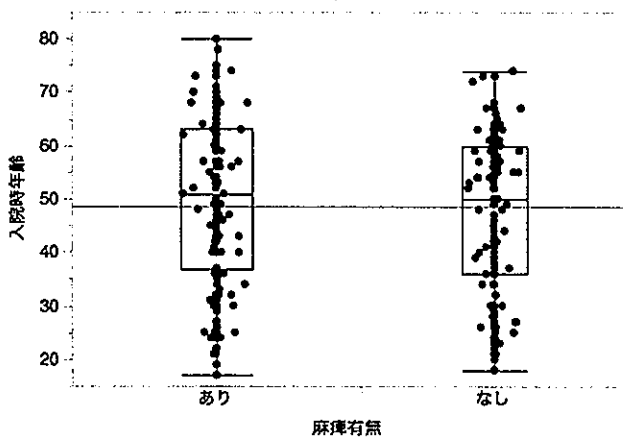


図7：麻痺の有無別の入院時年齢の比較

麻痺の有無別の入院医療費の総合計の分布と箱ひげ図を図8に示す。麻痺有の入院医療費の総合計の中央値は5090567円であり、麻痺無の入院医療費の総合計の中央値は3232127円であった。

Wilcoxonの順位和検定のP値は0.0001未満であった。

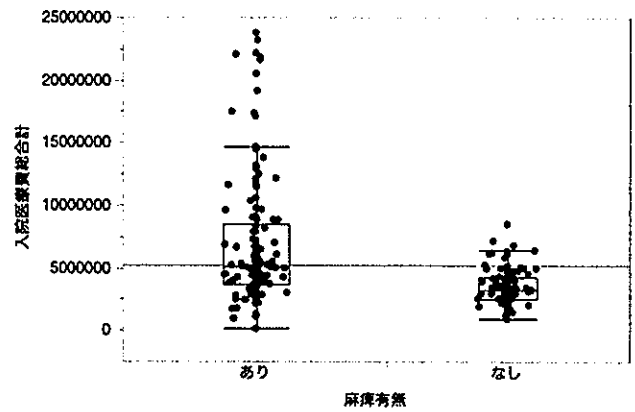


図8：麻痺の有無別の入院医療費の総合計の比較

麻痺の有無別の外来医療費の総合計の分布と箱ひげ図を図9に示す。麻痺有の外来医療費の総合計の中央値は82480円であり、麻痺無の入院医療費の総合計の中央値は35182円であった。Wilcoxonの順位和検定のP値は0.5593であった。

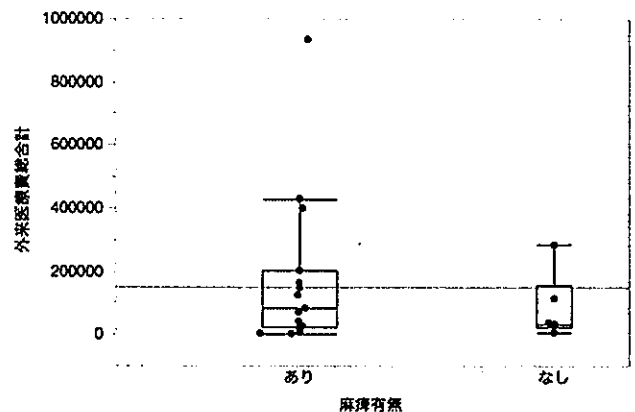


図9：麻痺の有無別の外来医療費の総合計の比較

麻痺の有無別のケア医療費の総合計の分布と箱ひげ図を図10に示す。麻痺有のケア医療費の総合計の中央値は34006円であり、麻痺無の入院医療費の総合計の中央値は58386.5円であった。Wilcoxonの順位和検定のP値は0.1528であった。

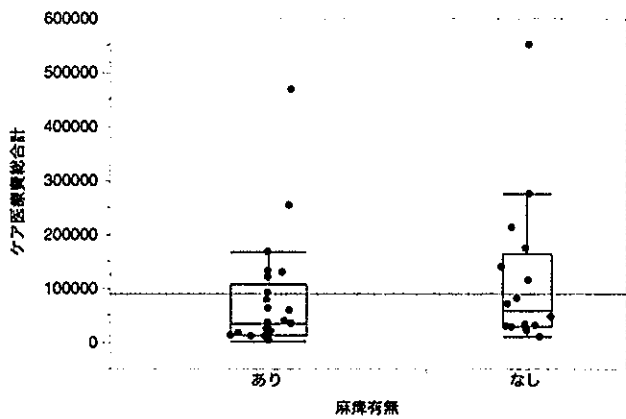


図 10：麻痺の有無別のケア医療費の総合計の比較

麻痺の有無別の入院期間(日)の分布と箱ひげ図を図 11 に示す。麻痺有の入院期間(日)の中央値は 60 日であり、麻痺無の入院期間(日)の中央値は 36 日であった。Wilcoxon の順位和検定の P 値は 0.0001 未満であった。

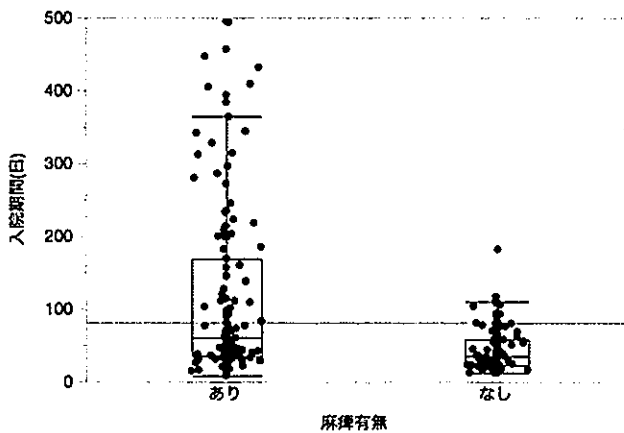


図 11：麻痺の有無別の入院期間(日)の比較

## (2) 各背景因子と受傷部位との関連

受傷部位について、C では、男性が 89 例 (95.7%)、女性 4 例 (4.3%)、T では、男性 70 例 (93.3%)、女性 5 例 (6.7%)、L では、男性 100 例 (92.6%)、女性 8 例 (7.4%) であった。Pearson のカイ二乗検定の P 値は 0.6440 であった。

受傷部位別の入院時年齢の分布と箱ひげ図を図 12 に示す。受傷部位について C の入院時年齢の中央値は 54 歳であり、T の入院時年齢の中央値は 52 歳であり、L の入院時年齢の中央値は 47.5 歳であった。Kruskal-Wallis の順位和検定の P 値は

0.0734 であった。

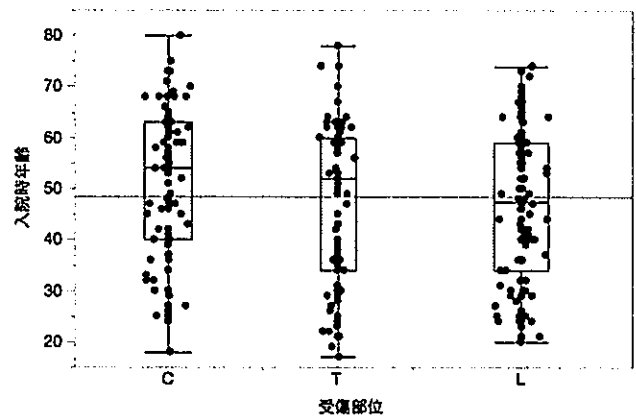


図 12：受傷部位別の入院時年齢の比較

受傷部位別の入院医療費の総合計の分布と箱ひげ図を図 13 に示す。受傷部位について C の入院医療費の総合計の中央値は 4432540 円であり、T の入院医療費の総合計の中央値は 4387715 円であり、L の入院医療費の総合計の中央値は 3471235 円であった。Kruskal-Wallis の順位和検定の P 値は 0.0007 であった。

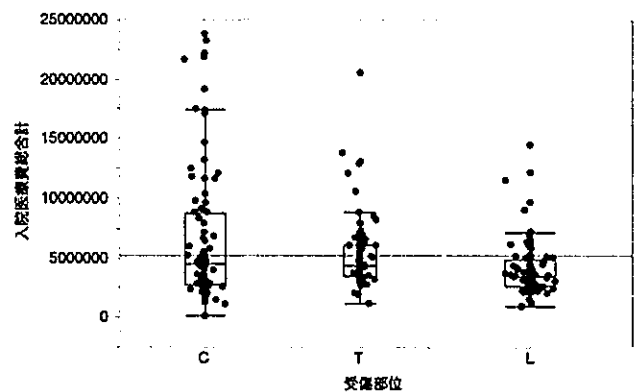


図 13：受傷部位別の入院医療費の総合計の比較

受傷部位別の外来医療費の総合計の分布と箱ひげ図を図 14 に示す。受傷部位について C の外来医療費の総合計の中央値は 4439 円であり、T の外来医療費の総合計の中央値は 91625 円であり、L の外来医療費の総合計の中央値は 146272 円であった。Kruskal-Wallis の順位和検定の P 値は 0.0210 であった。

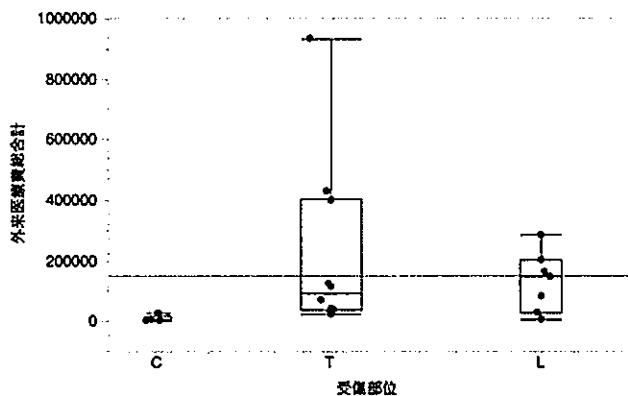


図 14：受傷部位別の外来医療費の総合計の比較

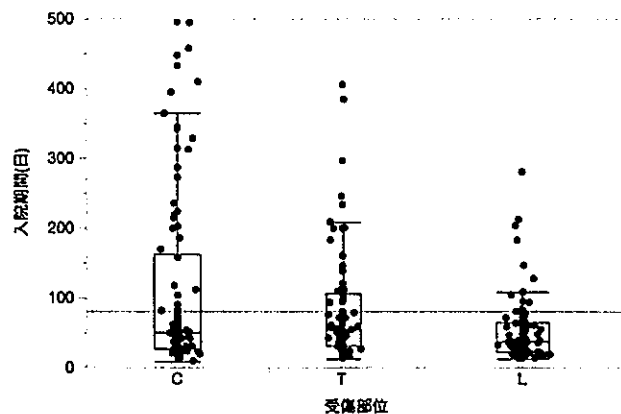


図 16：受傷部位別の入院期間(日)の比較

受傷部位別のケア医療費の総合計の分布と箱ひげ図を図 15 に示す。受傷部位について C のケア医療費の総合計の中央値は 23294 円であり、T のケア医療費の総合計の中央値は 38494 円であり、L のケア医療費の総合計の中央値は 80730 円であった。Kruskal-Wallis の順位和検定の P 値は 0.1300 であった。

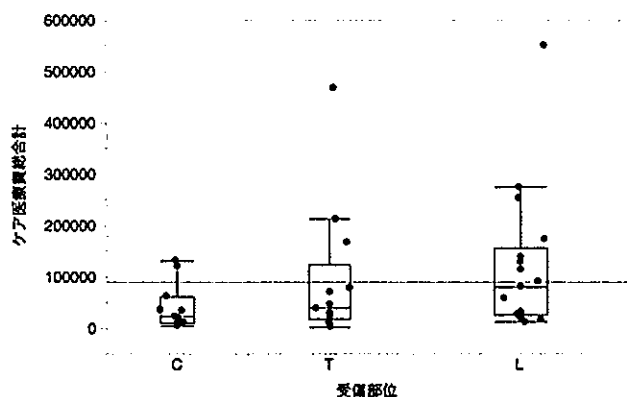


図 15：受傷部位別のケア医療費の総合計の比較

受傷部位別の入院期間(日)の分布と箱ひげ図を図 16 に示す。受傷部位について C の入院期間(日)の中央値は 51 日であり、T の入院期間(日)の中央値は 54 日であり、L の入院期間(日)の中央値は 37.5 日であった。Kruskal-Wallis の順位和検定の P 値は 0.0012 であった。

#### D. 考察

本研究では、脊椎インストゥルメンテーション患者に対する国内大規模調査で登録された対象者の背景因子を分析を行った。

年齢は 20 代から 80 代まで幅広く分布しており、好発年齢は特にないようである。また性別はほぼ男性であり、労災患者ということが反映されているものと推定される。

医療費に関しては、入院医療費、外来医療費、ケア医療費ともに、右に裾を引いた分布となっており、特定の少数の患者に高額な医療費がかかっていること分かる。ただし、外来医療費およびケア医療費では、欠測が多く、解析対象の症例数が少なかったため、妥当な結果が得られていない可能性がある。

麻痺の有無との関連では、入院時年齢とは関連がなく、性別差も認められなかった。医療費との関連では、入院医療費については、麻痺有の方が無と比較して有意に高い傾向が認められたが、外来医療費およびケア医療費では、差は認められなかった。これは、外来医療費とケア医療費の症例数が少なく、検出力が低くなっている可能性も考えられる。また、入院期間については、麻痺有の方が麻痺無と比べて、入院期間が長い傾向が認められた。

受傷部位との関連では、性差、年齢差は認められなかった。入院医療費については、C と T と比較



して、L が低い傾向が認められた。外来医療費については、症例数が少ないものの、TとLがCと比較して有意に高い傾向が認められた。ケア医療費も同様のTとLがCと比較して高い傾向が認められるものの有意な差ではなかった。入院期間については、CとTがLと比較して、有意に長い傾向が認められた。

#### E. 結論

脊椎インストゥルメンテーション患者に対する国内大規模調査で登録された対象者の背景因子の分布および、年齢、性別、医療費、入院期間と麻痺の有無および受傷部位との関連性について、明らかになった。

#### F. 健康危険情報

該当なし

#### G. 研究発表

##### 1. 論文発表

データ集積および解析後に予定

##### 2. 学会発表

データ集積および解析後に予定

#### H. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）

##### 1. 特許取得

なし

##### 2. 実用新案登録

なし

##### 3. その他

労災疾病臨床研究事業費補助金  
平成29年度分担研究報告書

脊椎インストゥルメンテーション患者にアフターケアは本当に必要か？  
非労災患者の脊椎インストゥルメンテーション手術後の  
固定隣接椎間板変性発症率と治療の要否についての検討

研究分担者 高畑雅彦 北海道大学大学院医学研究院  
専門医学系部門 機能再生医学分野 整形外科学教室  
研究分担者 岩崎倫政 北海道大学大学院医学研究院  
専門医学系部門 機能再生医学分野 整形外科学教室  
研究分担者 小松幹 独立行政法人労働者健康安全機構  
北海道せき損センター

研究要旨

脊椎インストゥルメンテーション技術の進歩により多椎間固定が増えたが、術後成績や長期経過に関するデータは少ない。特に脊椎インストゥルメンテーションが労災アフターケアに該当するかは定かではなく、これを解析することは労災補償行政上、非常に重要である。全国34労災病院における労災疾病に対する脊椎インストゥルメンテーション患者を解析するにあたり、対照として、北海道大学、産業医科大学、および獨協医科大学にて同時期に治療された労災疾病以外の脊椎疾患に対して施行された脊椎インストゥルメンテーション手術例における長期経過後の問題点について解析した。本研究の目的は、北海道大学と産業医科大学の症例を統合し、脊椎インストゥルメンテーション手術後における隣接椎間板変性の発生状況を明らかにすることである。脊椎インストゥルメンテーション手術後の固定隣接椎間板変性は平均4.5年で約4割の患者に進行がみられたが、追加手術が必要となった症例は1%のみであった。固定隣接椎間板変性が進行した患者の約半数(全体の2割)が投薬またはリハビリ加療を要していた。ただし、治療の原因は神経障害や上下肢痛、体幹痛などさまざまであり、術前からの遺残症状も含まれるため、固定隣接椎間板変性による治療の要否を明確に分けることはできなかった。

A.研究目的

脊椎インストゥルメンテーション技術の大幅な進歩に伴い、外傷や加齢変性を基盤として生じる腰椎不安定症の治療成績は向上したものの、脊椎固定術後の遺残症状に対して長期にわたる治療が必須な症例も少なくない。そのため、労災アフターケアの「適応基準」を定め、その際に生じる「医

療コスト」を予測することが労災補行政に必須である。本プロジェクトでは全国34労災病院における労災疾病に対する脊椎インストゥルメンテーション患者を解析するが、労災疾病に対する脊椎インストゥルメンテーション手術患者は絶対数が少なく、脊椎インストゥルメンテーション手術後の自然経過や予後を知るうえで限界がある。また痛みや症

状についてはさまざまな修飾要因が含まれるため、非労災患者と異なる可能性がある。そのため、脊椎インストゥルメンテーション手術後の自然経過や予後を予測するためには、労災疾病以外の脊椎インストゥルメンテーション手術患者の術後経過を解析する必要がある。

本研究では北海道大学と産業医科大学において同時期に治療された労災疾病以外の脊椎インストゥルメンテーション手術患者における隣接椎間変性の発生状況を明らかにし、その発症の関与する因子を解析するとともに、固定隣接椎間板変性と最終経過観察時の治療の要否の関係について検討した。

## B. 研究方法

1. 対象：2009年から2013年の5年間に北海道大学整形外科と産業医科大学整形外科にて労災疾病以外の原因によって生じた脊椎疾患に対して、脊椎インストゥルメンテーション手術（脊椎固定術）を行った症例のうち2年以上経過観察可能であった190例について調査した。側弯症や先天奇形の症例は除外した。

### 2. 調査項目：

2-1 患者背景：年齢、性別

2-2 手術関連項目

手術高位は頸椎、胸椎／胸腰椎（胸椎から第2腰椎）、腰仙椎（第3腰椎以下）の3つに分類した。その他、固定椎間数、floating fusionの有無、手術時間、出血量

2-3 アライメント（固定範囲）、術後固定隣接椎間変性進行の有無（上位、下位）

2-4 術後神経障害、痛み（上下肢痛、体感痛）の遺残

2-5 最終経過観察時の治療の有無

### 3. 統計学的検討：

アウトカムを固定の上位あるいは下位椎間板変

性とし、それらに関係する要因を単変量ロジスティック回帰分析で調査した。椎間板変性の進行に関与する因子として年齢、性別、外傷、手術時間、出血量、floating fusion、手術高位、固定椎間数、術前後の固定範囲のアライメント、矯正角度について検討した。上位あるいは下位椎間板変性と治療の要否についての相関の有無はカイ二乗検定を用いて検討した。

## C. 研究結果

対象患者の年齢は平均65.8才、女性103名、男性87名であった。外傷例が17例、残りは加齢変性を基盤とした変性疾患であった。手術時間は平均349分、出血量は622ccであった。固定は平均2.6椎間（1-13椎間）に行われていた。

平均経過観察期間4.5年（最低2年以上）の経過観察期間で固定上位隣接椎間板変性が進行したと判断されたのは77/190例（40.5%）であり、上記の因子のうち固定上位隣接椎間板変性に関与したのは手術時間（ $p=0.006$ ）と2椎間以上のfloating fusion（ $p=0.0045$ ）であった。一方、固定下位隣接椎間板変性の進行は67/190例でみられたが、34/190例が腰仙椎部の固定で下位に椎間板がない非該当例であった。そのため、実際には67/156例（42.9%）で固定下位隣接椎間板の変性が進行したと判断された。腰仙椎部固定を除く154例中上下固定隣接椎間板変性がともに進行を判断されたのは45/156例（28.8%）であった。固定下位隣接椎間板変性進行に関与する因子は外傷（ $p=0.0486$ ）、手術時間（ $p=0.0089$ ）、2椎間以上のfloating fusion（ $P=0.0493$ ）および術前前弯角（ $p=0.0162$ ）であった。

最終経過観察時になんらかの治療を要していた患者は75/190例（39.5%）であり、その理由は神経障害が35例、上下肢痛が40例、体幹痛が50例であった。なんらかの治療を要していた75例のうち16例は固定上位隣接椎間板のみ変性進行があり、8例は固定下位隣接椎間板のみ変性が進行、25例は固定の上位、下位ともに椎間板変性進行が

あった。

固定上位隣接椎間板変性のあった 77 例のうち治療を継続してうけていたのは 41 例 (53.2%) であり、固定上位隣接椎間板変性と最終経過観察時の治療の要否については有意な相関を認めた ( $p=0.0049$ )。一方、固定下位隣接椎間板変性のあった 67 例のうち 34 例 (50.7%) が最終経過観察時にも治療を受けており、固定下位隣接椎間板変性と最終経過観察時の治療の要否についても有意な相関を認めた ( $p=0.011$ )。しかし、治療のほとんどは投薬加療や理学療法などであり、固定隣接椎間障害（骨折を除く）で手術を要した患者は全体で 2 例のみであった。

#### D. 考察

脊椎インストゥルメンテーション手術は外傷や加齢変性により不安定化あるいは支持性を喪失した脊椎に即時安定性を付与する有用性の高い治療法であるが、本来動いていた部分を固定してしまうため、固定隣接椎間（動きが残っている手術を行った部位の隣の部分）の変性を助長する。本研究ではまず固定隣接椎間板の変性がどの程度の症例で進行をするのかを調査した。その結果、平均経過観察期間 4.5 年で固定上位あるいは下位隣接椎間板変性が約 4 割の患者に発生することが示された。これまでに行われた系統的レビューによると腰椎固定隣接椎間変性の発生率は年間 2-14%とされており、本研究の値とおおよそ一致する。ただし本研究における固定隣接椎間板変性は X 線学的に変性の進行したものを陽性とした値であり、必ずしも症候性の椎間板変性の発生率をあらわしたのではない。

本研究における焦点である固定隣接椎間板変性進行と治療継続の要否の関連については統計学的に有意な相関を認めており、椎間板変性進行によって何らかの治療を要する患者はいるようである。しかし、継続的な治療を必要としている患者は固定隣接椎間板変性の進行がみられた患者の約半数

であり全員に治療継続が必要というわけではなかった。また、症候性の固定隣接椎間障害で手術を要すことは稀 (2 例のみ, 1%) で、多くは投薬加療が中心であった。固定隣接椎間板変性が約 4 割でみられ、そのうち何らかの治療をうけている患者が約半数であるので最大で全体の約 2 割の脊椎インストゥルメンテーション手術後の患者が固定隣接椎間板変性が原因で治療が必要ということになる。しかし、本研究の限界として投薬治療等の原因が、術前からの遺残した症状によるものなのか、術後に進行した固定隣接椎間板変性が原因なのかを明確に区別することはできない点がある。投薬やリハビリ治療を行っている患者のほとんどは神経障害や上下肢痛、体幹痛を併せ持っていることから、術後の固定隣接椎間障害で治療が必要となる患者はもっと少ないと考えられる。

#### E. 結論

脊椎インストゥルメンテーション手術後の固定隣接椎間板変性は平均 4.5 年で約 4 割の患者に進行がみられたが、追加手術が必要となった症例は 1% のみであった。固定隣接椎間板変性が進行した患者の約半数（全体の 2 割）が投薬またはリハビリ加療を要していた。ただし、治療の原因は神経障害や上下肢痛、体幹痛などさまざまであり、術前からの遺残症状も含まれるため、固定隣接椎間板変性による治療の要否を明確に分けることはできなかった。

#### F. 健康危険情報

該当なし

#### G. 研究発表

1. 論文発表  
なし
2. 学会発表  
なし

H. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

労災疾病臨床研究事業費補助金  
平成29年度分担研究報告書

脊椎インストゥルメンテーション患者にアフターケアは本当に必要か？  
労災患者以外の脊椎インストゥルメンテーション手術後における隣接椎体骨折の発生状況

研究分担者 中村英一郎 産業医科大学 整形外科教室 准教授  
研究分担者 酒井昭典 産業医科大学 整形外科教室 教授

研究要旨

脊椎インストゥルメンテーション技術の大幅な進歩に伴い、大規模な脊椎再建術が日常的に行われるようになった。これにより脊椎疾患の治療成績は飛躍的に向上したものの、一方、長期にわたる経過観察や治療が必要な症例も少なくない。脊椎インストゥルメンテーション患者の労災アフターケアにおいても「適応基準」を定め、その際に生じる「医療コスト」を予測することは労災補償行政に必須であり、脊椎インストゥルメンテーション手術後の長期経過によって起こりうる合併症について検討することは極めて重要である。

全国34労災病院における労災疾病に対する脊椎インストゥルメンテーション患者を解析するにあたり、対照として、北海道大学、産業医科大学、および獨協医科大学にて同時期に治療された労災疾病以外の脊椎疾患に対して施行された脊椎インストゥルメンテーション手術例における長期経過後の問題点について解析した。本研究の目的は、北海道大学と産業医科大学の症例を統合し、脊椎インストゥルメンテーション手術後における隣接椎間骨折の発生状況を明らかにすることである。下位の隣接椎体骨折に関連する因子として、高齢であること、圧迫骨折を含む外傷、胸椎～L2までの固定とL3以下の固定である場合に下位隣接椎体骨折が起きやすいことが明らかとなった。高齢者の脊椎外傷の場合、骨粗鬆症による椎体の骨脆弱性が潜んでおり、脊椎インストゥルメンテーション手術後の隣接椎体骨折の発生に注意する必要がある。

A. 研究目的

労災疾病に対する脊椎インストゥルメンテーション手術患者は絶対数が少なく、脊椎インストゥルメンテーション手術後の自然経過や予後を知るうえで限界がある。そこで自然経過や予後を予測するために労災疾病以外の脊椎インストゥルメンテーション手術患者を対照群とし術後経過を解析しなければならない。本研究の目的は脊椎インストゥルメンテーション手術後に懸念される隣接椎体骨折の発生状況を明らかにすることである。

B. 研究方法

北海道大学整形外科と産業医科大学整形外科にて2009年から2013年の5年間における労災疾病以外の脊椎インストゥルメンテーション施行例の

データを集積し、そのうち2年以上経過観察可能であった190例を対象とした。調査項目は、説明変数を、年齢、性別、外傷の有無、手術時間、出血量、Floating fusionの有無（腰椎固定でL5/S椎間を固定したか否か：固定なし=Floating fusion+）、固定部位（頸椎、胸椎-L2まで、L3以下）、固定椎間数、術前前弯角、術後前弯角、矯正角度、目的変数を上位隣接椎体骨折、下位隣接椎体骨折、その後の治療の要否とした。

C. 研究結果

対象者は、男性87名、女性103名の計190名で、平均年齢は65.8歳であった。そのうち骨脆弱性の圧迫骨折を含む外傷が35名であった。固定椎間数は1～13椎間で、平均3椎間、そのうち1椎間固定が75例、2椎間固定が46例、3椎間以上の固

定例が 69 例であった。頸椎例は 11 例、胸椎～L2 までの範囲内での固定例は 43 例、L3 以下が 136 例であった。腰椎固定例で、固定最下端が L5 であり、L5/S を固定しなかった Floating Fusion 例は 74 例であった。

ついで隣接椎体骨折をアウトカムとしてこれらの因子との関連を検討すると、固定上位の隣接椎体骨折に関連する因子はなかったが、固定下位の隣接椎体骨折に関連する因子は、年齢 ( $P < 0.0097$ )、圧迫骨折を含む外傷 ( $P < 0.031$ )、固定部位が、胸椎～L2 ( $P < 0.014$ ) と L3 以下 ( $P < 0.044$ ) である場合に有意差が出た。すなわち、高齢であること、圧迫骨折を含む外傷、胸椎～L2 までの固定と L3 以下の固定である場合に下位隣接椎体骨折が起きやすいことが明らかとなった。ついで多変量解析を行ったが、上位、下位ともに有意な因子は抽出できなかった。一方、アウトカム間に相関があるか否かサブセット解析を行ったところ、下位隣接椎体骨折とその後の治療が必要であることに有意な相関が見られた。

#### D. 考察

脊椎インストゥルメンテーションによる固定術は、脊椎外傷ならびに脊椎変性疾患の治療において治療成績を飛躍的に向上させた。その一方で、固定術後の隣接椎間障害の問題は長期的にみて重要な課題の一つとなっている。特に高齢者での脊椎固定術後に隣接椎体骨折が発生することはすでに報告があり、その発生頻度は、Toyone らが 24%、菅原らが 22%と述べている。本研究においても高齢であること、圧迫骨折を含む外傷例であることが下位の隣接椎体骨折に有意に関連していたことより、労災患者の脊椎外傷に対するインストゥルメンテーション手術後において、受傷時、高齢で骨粗鬆症の合併があるケースには固定術後の隣接椎体骨折が起こりうる可能性がありフォローアップが必要と考えられた。

#### E. 結論

高齢者の脊椎外傷の場合、骨粗鬆症による椎体の骨脆弱性が潜んでおり、脊椎インストゥルメンテーション手術後の隣接椎体骨折の発生に注意する必要がある。

#### F. 健康危険情報

該当なし

#### G. 研究発表

##### 1. 論文発表

- 1) Ohnishi YI, Chang A, Utsunomiya H, Suzuki H, Nakamura E, Sakai A, Uchida S. Arthroscopic Technique to Reduce Suture Button Migration During Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Procedure. *Arthroscopy Techniques*. 6 (5), Pages e1927-e1931, 2017
- 2) Murata Y, Uchida S, Utsunomiya H, Hatakeyama A, Nakamura E, Sakai A. A Comparison of Clinical Outcome between Athletes and Nonathletes Undergoing Hip Arthroscopy for Femoroacetabular Impingement. *Clinical Journal of Sport Medicine*. 27 (4), pp. 349-356
- 3) 中村英一郎 他。腰痛の治療と仕事の両立支援のための主治医意見書に関する調査 産業医学ジャーナル 41 巻 1 号 Page57-64、2018

##### 2. 学会発表

- 1) 中村 英一郎 他。胸椎・胸壁浸潤肺癌に対する手術術式と治療成績 第 47 回日本脊椎脊髄病学会学術集会 2017/4/13-15 札幌
- 2) 中村 英一郎 他。頸椎症性脊髄症の術後自宅復帰率に関与する因子の検討 第 47 回日本脊椎脊髄病学会学術集会 2017/4/13-15 札幌
- 3) 中村 英一郎 他。新規胸腰椎移行部椎体骨折患者に対するテリパラチド週 1 回注射製剤とア

レンドロネート製剤の効果の比較 T-WRAP study。第47回日本脊椎脊髄病学会学術集会 2017/4/13-15 札幌

- 4) 中村 英一郎 他。脊椎手術部位感染症における危険因子の分析 第47回日本脊椎脊髄病学会学術集会 2017/4/13-15 札幌
- 5) 中村 英一郎 他。Pedicule screw 抜釘後に椎体骨折を生じた2例第135回西日本整形災害外科学会 2017/6/17-18 久留米
- 6) 中村 英一郎 他。当院における脊椎手術部位感染症の危険因子第87回西日本脊椎研究会 2017/6/16 福岡
- 7) 中村 英一郎 他。骨粗鬆症性椎体骨折に対する経皮的後方固定術の治療成績 第136回西日本整形災害外科学会 2017/11/11-12 鳥取
- 8) 中村 英一郎 他。アルカプトン尿症に合併した硬膜内脱出ヘルニアの1例 第136回西日本整形災害外科学会 2017/11/11-12 鳥取
- 9) 中村 英一郎 他。シンポジウム8 椎間板変性と再生医療 椎間板変性と椎体骨棘形成には Hedgehog シグナルが関与する 第32回日本整形外科学会 基礎学術集会 2017/10/25-27 沖縄
- 10) 中村 英一郎 他。間質性肺炎合併椎体浸潤肺癌に対して左肺上葉切除および第2第3胸椎全椎体合併切除を行い完全切除した1例 第34回日本呼吸器外科学会総会 2017/5/18-19 福岡
- 11) 中村 英一郎 他。人工関節置換(TKA)後の深部静脈血栓(DVT)を完全に予防することはできない! 第65回日本職業災害医学会学術総会 2017/11/25-26 北九州

#### H. 知的財産権の出願・登録状況

(予定を含む)

1. 特許取得
2. 実用新案登録
3. その他



労災疾病臨床研究事業費補助金  
平成29年度分担研究報告書

脊椎インストゥルメンテーション患者にアフターケアは本当に必要か？  
全国労災病院と産業医科大学を含む多施設大規模調査  
高齢者に対する多椎間脊椎インストゥルメンテーション後の  
至適な脊柱骨盤アライメントに関する研究

研究分担者 稲見聡 獨協医科大学医学部医学科整形外科学 准教授  
研究分担者 森平泰 獨協医科大学医学部医学科整形外科学 講師

研究要旨

脊柱変形を有する患者に対する多椎間脊椎インストゥルメンテーション手術後2年時に、脊柱骨盤アライメントとQOLを調査した。多椎間脊椎インストゥルメンテーション後の患者の臨床成績と脊柱骨盤アライメントは多様であり、良好な脊柱骨盤アライメントが矯正手術で形成される重要性が改めて認識された。またQOL良好群において患者固有の骨盤形態から求められるPIと矯正の指標であるPI-LLの関係を回帰分析で解析すると、 $PI-LL = 0.41PI - 11.12$  ( $r = 0.45$ ,  $p = 0.0059$ )の式が導かれた。矯正手術で目指すべき至適な脊柱骨盤アライメントは一定ではなくPIの大きさを反映し変化する。

A. 研究目的

高齢者人口の増加に伴い、脊柱変形を有する患者に対する多椎間脊椎インストゥルメンテーション手術が増加している。脊柱変形は、脊柱骨盤アライメント異常により、体幹の立位バランスが崩れ生活動作が強く障害されるだけでなく、胸腔・腹腔が圧迫され呼吸機能障害や消化器機能障害を引き起こすこともある。

成人脊柱変形の患者に対する矯正手術の際には、Scoliosis Research Society (SRS)-Schwab分類が患者固有の骨盤形態から求められるPelvic Incidence (PI)と矯正手術によって得られる腰椎前弯(Lumbar lordosis: LL)を用いて示した式： $PI-LL < 10^\circ$ が、変形矯正の指標として広く用い

られている。

一方、PIの値は健常者においても $30^\circ \sim 80^\circ$ 程度まで、大きな幅がある。骨盤の形態が異なれば、立位や歩行に関わる脊柱骨盤の力学的特性も異なることが予想され、過去の研究でもPIが大きい場合には骨盤後傾による代償作用が有効に作用することが報告されている。また実際の臨床においては、 $PI-LL > 10^\circ$ でも手術成績が良い例は珍しくない。

今回我々は、多椎間脊椎インストゥルメンテーション手術後の患者を対象にして、矯正手術で目指すべき至適な脊柱骨盤アライメントを検討した。

## B. 研究方法

成人脊柱変形を有する患者に対する多椎間脊椎インストゥルメンテーション手術後2年以上経過した48例（年齢60.7±9.7歳）を対象とした。

最終観察時の立位全脊柱X線像から、脊柱骨盤パラメータとしてPI、LL、PI-LL、胸椎後弯（TK）、胸腰椎後弯（TLK）、Pelvic tilt（PT）、Sagittal vertical axis（SVA）、側弯Cobb角を計測した。また、最終観察時の臨床成績を患者立脚型評価法であるOswestry disability index（ODI）にて評価した。

次に、最終観察時ODIの75パーセンタイル（ODI=22%）以下をQOL良好と定義し、QOL良好群においてPIとPI-LLの関係を回帰分析で解析し、矯正手術で目指すべき理想的なPI-LLの値を求める予測式を算出した。

## C. 研究結果

最終観察時の脊柱変形パラメータは、PI: 49.7±11.4°、LL: 38.6±11.0°、PI-LL: 11.0±12.6°、TK: 30.0±13.9°、TLK: 9.2±7.5°、PT: 24.9±9.8°、SVA: 36.6±44.6mm、側弯Cobb角: 13.3±10.2°であった。最終観察時のODIは14.4±9.9（0～35.6）%であった。

次に、最終観察時ODIの75パーセンタイル（ODI=22%）以下のQOL良好群（n=36）においてPIとPI-LLの関係を回帰分析で解析すると、PI-LL = 0.41PI-11.12（r = 0.45, p = 0.0059）の式が導かれた。

## D. 考察

多椎間脊椎インストゥルメンテーション術後2年経過した患者の臨床成績ならびに脊柱骨盤アラ

イメントは多様で、術後に良好な脊柱骨盤アライメントが形成される重要性が改めて認識された。

QOL良好群の脊柱骨盤アライメントを解析した予測式から、理想的なPI-LLは一定の値ではなく、個人のPIの大きさにより変化する値であることが判明した。実際の数値を予測式に当てはめると、ほぼ平均的な値であるPI=50の場合に理想的なPI-LLは9°となり、SRS-Schwab分類が示した式に一致する。一方PIが30°と小さい値ではPI-LLは1°と計算され、またPIが80°と大きな場合にはPI-LLは22°となる。つまり、PIが小さい場合はPI-LLは0°に近く、PIが大きな場合は10°より大きなPI-LLが許容されることが、この式で示されている。

PI-LLの値がPIによって変化することが明らかになったが、更にその理由を考察する。Duval-BeaupereらはPIが小さいと股関節伸筋が作動するためのレバーアームが短くなるために、economical standing postureに不利になることを指摘している。またRoussoulyらは骨盤後傾の許容量はPIにより規定され、PIが小さいと骨盤後継による代償作用の許容量が小さいと述べている。これらのことから、PIが小さい場合はPIに厳密にマッチしたLLが必要であり、PI-LLは小さな値になると考える。

一方大PIが大きい場合は、股関節伸筋は長いレバーアームを持ち、更に仙骨と骨頭中心間の距離も大きくなる。Legayeらは骨頭中心と仙骨終板中点の距離をSagittal pelvic thickness（SPT）と定義しこの値がPIと相関があることを報告している。つまりPIが大きいと仙骨と骨頭中心の距離が大きく、C7 plumb lineが骨頭後方に保持されるので、大きなPI-LLが許容されると考える。

## E. 結論

多椎間脊椎インストゥルメンテーション術後のQOLが良好な患者においては、脊柱変形矯正の指標であるPI-LLの値は一定ではなく、患者固有の骨盤形態から求められるPIの大きさで変化する。

## F. 健康危険情報

総括研究報告書にまとめて記載。

## G. 研究発表

### 1. 論文発表

- 1) Inami S, Moridaira H, Taneichi H et al. Optimum pelvic incidence minus lumbar lordosis value can be determined by individual pelvic incidence. Eur Spine J. 2016 Nov;25(11):3638-3643.
- 2) 稲見 聡 他。【成人脊柱変形】成人脊柱変形の術後代償機能とPTの意義 Journal of Spine Research(1884-7137)8 巻 9 号 Page1477-1480 (2017. 09)
- 3) 稲見 聡 他。【高齢者脊椎疾患の診断・治療の最近の進歩】脊柱アライメント異常 日本人に最適な脊柱骨盤アライメント 獨協フォーミュラ 関節外科 (0286-5394) 36巻10月増刊 Page64-67 (2017. 10)
- 4) 森平 泰 他。【高齢者脊椎疾患の診断・治療の最近の進歩】胸腰椎と腰椎 成人脊柱変形(骨切り術から多椎間LLIFへ) 関節外科 (0286-5394) 36 巻 10 月 増 刊 Page169-178 (2017. 10)

### 2. 学会発表

- 1) 稲見 聡 他。成人脊柱変形術後のPelvic Tiltは何度が良いのか? 第45回日本脊椎脊髄

病学会 2016. 4 千葉県

- 2) 稲見 聡 他。成人脊柱変形手術の中期成績 5年経過症例から解ること 第45回日本脊椎脊髄病学会 2016. 4 千葉県
- 3) 森平 泰 他。矢状面アライメント異常のある成人脊柱変形に対するLIF併用矯正術の短期成績 従来法との比較 第45回日本脊椎脊髄病学会 2016. 4 千葉県
- 4) 稲見 聡 他。成人脊柱変形手術症例の理想的なpelvic tiltとは? クラスタ解析による考察 第89回日本整形外科学会学術総会 2016. 5 横浜市
- 5) 森平 泰 他。成人脊柱変形に対するLIFを併用した短椎間矯正術の適応 第89回日本整形外科学会学術総会 2016. 5 横浜市

## H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得  
なし
2. 実用新案登録  
なし
3. その他  
なし



### Ⅲ. 研究成果の刊行に 関する一覧表

研究成果の刊行に関する一覧表

1. 論文 (英文)

(独) 労働者健康安全機構 総合せき損センター

Takao T, Kubota K, Maeda T, Okada S, Morishita Y, Mori E, Yugue I, Kawano O, Sakai H, Ueta T, Shiba K	A radiographic evaluation of Facet sagittal angle in cervical Spinal cord injury without major fracture or dislocation	Spinal Cord(2017)55, 515-517;doi:10.1038/sc.2016.172;published online 20 December 2016
Hayashi T, Fujiwara Y, Sakai H, Maeda T, Ueta T, Shiba K	Risk factors for severe dysphagia in acute cervical spinal cord injury	Spinal Cord(2017)55, 940-943;doi:10.1038/sc.2017.63;published online 30 May 2017
Iwahashi K, Hayashi T, Watanabe R, Nishimura A, Ueta T, Maeda T, Shiba K	Effects of orthotic therapeutic Electrical stimulation in the treatment of patients with paresis associated with acute cervical spinal cord injury: a randomized control trial.	Spinal Cord 2017 Jun 27 Doi:10.1038/sc.2017.74
Yugue I, Okada S, Maeda T, Ueta T, Shiba K	Sensitivity and specificity of the 'knee-up test' for estimation of the American Spinal Injury Association Impairment Scale in patients with acute motor incomplete cervical spinal cord injury	Spinal Cord 28 December 2017
Kawano O, Maeda T, Mori E, Yugue I, Ueta T, Shiba K	A Safe Surgical Procedure for Old Distractive Flexion Injuries of the Subaxial Cervical Spine	ASIAN SPINE JOURNAL 2017;11(6);935-942

(独) 労働者健康安全機構 吉備高原リハビリテーションセンター

Tajima F, Kamijo Y, Sumiya T, Nishimura Y, Arakawa H, Nakamura T, Furusawa K	Physiological basis and practice of rehabilitation medicine in the management of individuals with spinal cord injury	Clinical & Experimental Neuroimmunology. 8 (Suppl. 1), 47-53. 2017
Sugiyama T, Hanayama K, Metani H, Seki S, Tsubahara A, Furusawa K, Hyodo M	Assessment of chest movements in tetraplegia patients using a three-dimensional motion analysis system.	Kawasaki Medical Journal 43 (2): 95-105.2017

北海道大学大学院 医学研究科 機能再生医学講座 整形外科分野

Ota M, Takahata M, Shimizu T, Kanehira Y, Kimura-Suda H, Kameda Y, Hamano H, Hiratsuka S, Sato D, Iwasaki N	Efficacy and safety of osteoporosis medications in a rat model of late-stage chronic kidney disease accompanied by secondary hyperparathyroidism and hyperphosphatemia	Osteoporos Int(2017)Apr;28(4):1481-1490 (1F=3.665)(1F 補正值 = 3.665 )
---	--	---

Shiba K, Taneichi H, Namikawa T, Inami S, Takeuchi D, Nohara Y	Osseointegration improves bone-implant interface of pedicle screws in the growing spine: a biomechanical and histological study using an in vivo immature porcine model	Eur Spine J. 26: 2754-2762, 2017 Apr 8. doi:10.1007/s00586-017-506 2-2. [Epub ahead of print] *IF: 2.563
Namikawa T, Taneichi H, Inami S, Moridaira H, Takeuchi D, Shiba Y, Nohara Y	Multiple concave rib head resection improved correction rate of posterior spine fusion in treatment of adolescent idiopathic scoliosis	J Orthop Sci. 2017 May;22(3):415-419. doi:10.1016/j.jos.2017.01.01 3. Epub 2017 Feb 12. *IF: 1.133

2. 論文 (和文)

(独) 労働者健康安全機構 北海道せき損センター

松本聡子、須田浩太 小松幹、三浪明男	高齢者脊髄損傷の疫学	整形・災害外科 (0387-4095) 61巻, Page 273-276 (2018)
-----------------------	------------	---

(独) 労働者健康安全機構 総合せき損センター

前田健	頰椎・頰髄損傷	頭頸部・体幹のスポーツ外傷 Page 116-122
前田健	脊椎損傷	専門医の整形外科外来診療 -最新の診断・治療 Page 194-197
前田健	高齢者脊髄損傷の臨床像	整形・災害外科 61巻, Page 267-271 (2018)
前田健	骨粗鬆症椎体骨折後後弯に 対する治療 椎体形成術を併用 した後方short fusionを中心に	脊椎脊髄 30巻4号 Page 501-506 2017年4月
坂井宏旭、弓削至、河野修、 前田健、植田尊善、芝啓一郎	I. 脊椎脊髄疾患 脊椎・脊髄損傷の診断	MB Orthop 30巻10号 2017, Page 84-96

(独) 労働者健康安全機構 吉備高原リハビリテーションセンター

古澤一成	脊髄損傷のリハビリテーション	吉備高原医療リハビリテー ションセンター看護部 (編) 脊髄損傷者の看護. メディカ 出版, p8-15, 2017
古澤一成	脊髄損傷慢性期リハビリテーシ ョンのマネージメント -回復 期から維持期のリハ医療で知っ ておきたいこと-	Monthly Book Medical Rehabilitation ; 第209号 P21-29. 2017.

稲見 聡、種市 洋	目指すべきPI-LL および pelvic tilt はすべての年齢層に 当てはまるのか?	臨整外52 : 429-432, 2017
-----------	---	-----------------------

飯村拓哉、稲見 聡、森平 泰、 竹内大作、上田明希、司馬 洋、 大江真人、浅野太志、野原 裕、 種市 洋	Pelvic Incidenceにマッチした適切な腰椎前弯は椎体形状により決定される	J Spine Res 8 : 1455-1460、 2017
森平 泰、種市 洋	LLIF の手術手技 XLIF	脊椎脊髄30 (10) : 893-900、 2017
稲見 聡、種市 洋	日本人に至適な脊柱骨盤アライメント：獨協フォーミュラ	関節外科 36 (10) : 64-67、2017
森平 泰、種市 洋	脊柱変形に対する矯正固定術のプランニング 胸腰椎部・骨盤	脊椎脊髄30 (4) : 377-382、 2017





ORIGINAL ARTICLE

# A radiographic evaluation of facet sagittal angle in cervical spinal cord injury without major fracture or dislocation

T Takao<sup>1</sup>, K Kubota<sup>2</sup>, F Maeda<sup>1</sup>, S Okada<sup>2</sup>, Y Morishita<sup>1</sup>, E Mōri<sup>1</sup>, I Yugue<sup>1</sup>, O Kawano<sup>1</sup>, H Sakai<sup>1</sup>,  
T Ueta<sup>1</sup> and K Shiba<sup>1</sup>

**Study Design:** A retrospective radiographic study with a minimum 2-year follow-up.

**Objective:** To evaluate the relationships between the cervical articular facets' morphology and the incidence of traumatic cervical spinal cord injury (CSCI) without major fracture or dislocation.

**Setting:** Spinal Injuries Center, Japan.

**Methods:** This study included 113 patients with traumatic CSCI without major fracture or dislocation. Eighty-four healthy volunteers without neurological deficits or cervical cord pathology on magnetic resonance imaging (MRI) were defined as control subjects. We used a plain sagittal radiograph to measure the facet sagittal angles (FSA) at four cervical segments in all the CSCI patients and controls. We defined the FSA as the angle between the inferior margin of the superior cervical spinal body and the inferior articular process of the superior vertebra.

**Results:** Most frequent incidence of CSCI was seen at C3–4 segment (54%). With respect to CSCI at C3–4 segment, 55.7% of the subjects showed smallest FSA at C3–4 segment.

**Conclusion:** Most of the traumatic CSCI at C3–4 segment showed raised cervical articular facets at C3–4 segment. On the basis of our results, we hypothesized that the raised cervical articular facets might have an important role in the etiology of traumatic CSCI. The cervical spinal cord at the C3–4 segment might receive the highest load during acute hyperextension of the cervical spine because of the C3–4 articular facets' morphology.

*Spinal Cord* (2017) 55, 515–517; doi:10.1038/sc.2016.172; published online 20 December 2016

## INTRODUCTION

The incidence of traumatic cervical spinal cord injury (CSCI) without major fracture or dislocation has increased in developed countries because of the increasing elderly population.<sup>1</sup> Most patients with CSCI are elderly and presented with spinal hyperextension predominantly at the C3–4 level.<sup>2</sup> Several studies have reported that the cervical spinal cord at the C3–4 segment might receive the highest load during acute hyperextension of the cervical spine.<sup>3–5</sup> We previously studied about the relationships between spinal canal diameter and pathophysiology of traumatic CSCI without major fracture or dislocation.<sup>6,7</sup> In the study, the narrow spinal canal might be an important risk factor for the incidence of traumatic CSCI. However, we could not find the exact etiology why most of traumatic CSCI occurred at the C3–4 segment. To our knowledge, few reports, included in our previous study, have described the biomechanical etiology of traumatic CSCI without major fracture or dislocation, and this remains unclear.

Through our previous studies, we hypothesized that the development of traumatic CSCI without major fracture or dislocation was associated with cervical articular facets' morphology. In the study, we measured the cervical facet sagittal angle by using a plane radiograph in the sagittal plane. The aim of the present study was to evaluate the relationships between the cervical articular facets' morphology and the incidence of traumatic CSCI without major fracture or dislocation.

## MATERIALS AND METHODS

### Study population

From 2005 to 2011, 194 patients with traumatic CSCI without major fracture or dislocation were treated in our facility. All these patients underwent functional plain radiography, computed tomography, magnetic resonance imaging (MRI) on the cervical spine and neurological examination by a senior spine surgeon at the time of admission. All the subjects were admitted to our facility within 2 days of trauma, and had evidence of CSCI with cervical intramedullary intensity change on T2-weighted MRI. The following subjects were excluded from this study: patients with multiple segmental cervical cord injuries, existing cervical myelopathy before trauma, apparent herniated disc at the injured segment, severe instability at the injured segment on functional radiography, or ankylosing spondylitis at cervical spine.

In this study, 113 patients (101 men and 12 women; mean age, 62 years (range, 22–88 years)) with traumatic CSCI without major fracture or dislocation were included. Of these, 3 subjects had an injury at the C2–3 segment, 61 subjects had an injury at the C3–4, 32 subjects had an injury at the C4–5, 13 subjects had an injury at the C5–6 and 4 subjects had an injury at the C6–7. Eighty-four healthy volunteers (HV) (51 men and 33 women; mean age, 51 years (range, 28–86 years)) without neurological deficits or cervical cord pathology on MRI were defined as control subjects. No significant difference in age was found between CSCI and HV groups. The summaries of traumatic CSCI patients and HV are shown in Table 1.

Institutional review board approval was granted and informed consent was obtained from all of the patients.

<sup>1</sup>Department of Orthopaedic Surgery, Spinal Injuries Center, Iizuka, Japan and <sup>2</sup>Department of Orthopaedic Surgery, Kyushu University, Fukuoka, Japan  
Correspondence: Dr T Takao, Department of Orthopaedic Surgery, Spinal Injuries Center, 550-4 Iizuka, Iizuka 820-0053, Japan.  
E-mail: tsuneaki@iris.ocn.ne.jp

Received 1 December 2015; revised 29 October 2016; accepted 30 October 2016; published online 20 December 2016

**Measurement of the facet sagittal angle in the sagittal plane.**

We used a plain radiograph in the sagittal plane to measure the facet sagittal angle (FSA) at four cervical segments (C3-4, C4-5, C5-6 and C6-7) in all of the CSCI patients and controls. We defined FSA as the angle between the inferior margin of the superior cervical spinal body and the inferior articular process of the superior vertebra (Figure 1).

**Statistical analysis**

The Mann-Whitney U test and Fisher's exact test were used for statistical analyses. A P-value of <0.05 was considered statistically significant.

**RESULTS**

In the present series, the incidence rates of traumatic CSCI without major fracture or dislocation at the C2-3, C3-4, C4-5, C5-6 and C6-7 segments were 2.7, 54, 28.3, 11.5 and 3.5%, respectively. Most frequent incidence of CSCI was seen at C3-4 segment.

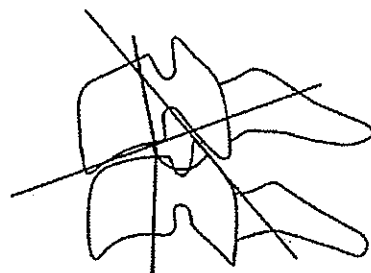
The mean values of the FSA at the four cervical segments for the subjects with traumatic CSCI and HV are shown in Table 2. When compared with traumatic CSCI and HV, there were no significant differences at all of the segments. Among all the segments, except C6-7, the C3-4 segment had a significantly smaller FSA than the C4-5 and C5-6 segments in both groups. (Figures 2a and b).

The relationships between the incidence of traumatic CSCI without major fracture or dislocation and the morphology of cervical articular facets are shown in Table 3. 55.7% of the C3-4 SCI showed smallest

**Table 1** The patients with traumatic cervical spinal cord injury (CSCI) and healthy volunteers (HV)

	Traumatic CSCI	HV
No. (M:F)	113 (101:12)	84 (51:33)
Average age	62 (22-88)	51 (28-86)

Abbreviations: CSCI, cervical spinal cord injury; HV, healthy volunteers.



**Facet sagittal angle**

**Figure 1** Facet sagittal angle (FSA). We defined the FSA as angle between the inferior margin of the superior cervical spinal body and the inferior articular process of the superior vertebrae.

FSA at the C3-4 segment. Moreover, with respect to C3-4 SCI, the

**Table 2** The average values of the FSA at the four cervical segments

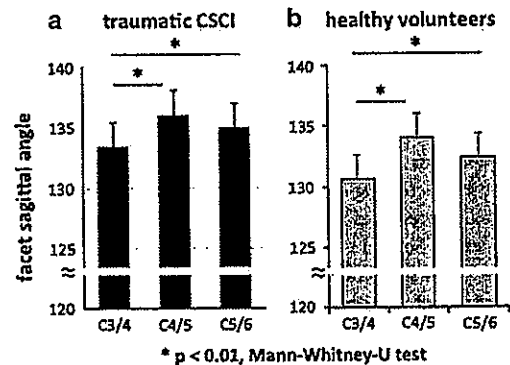
	Facet sagittal angle (FSA) (°)			
	C3-4	C4-5	C5-6	C6-7
CSCI	133.4 ± 6 ns	136 ± 5.7 ns	135 ± 6.2 ns	128.4 ± 6.5 ns
HV	130.6 ± 5.9	134.1 ± 5.9	132.4 ± 5.6	124.8 ± 6.2

Abbreviations: CSCI, cervical spinal cord injury; HV, healthy volunteers; ns, not significant. Mann-Whitney U test was used for this statistical analysis.

C3-4 FSA was significantly smaller than those at the C4-5 and C5-6 segments (P=0.0195, Fisher's exact test).

**DISCUSSION**

Several studies have reported the frequent incidence of traumatic CSCI at the level of C3-4 segment in the Japanese population.<sup>6</sup> We believe that morphological differences between the cervical segments may contribute to the mechanism of traumatic CSCI. Hayashi et al,<sup>9</sup> reported that the cervical spine of the older subjects displayed narrowing of intervertebral discs and osteophytes at the levels of C5-6 and C6-7, where range of motion was decreased. Such degenerative changes resulted in retrolisthesis predominantly at the levels of C3-4 and C4-5, where intervertebral disc space was well maintained and mobility was well preserved. Moreover, Koyanagi et al.<sup>10</sup> hypothesized that the restricted intervertebral movement of the lower cervical segments due to degenerative changes might in fact protect the spinal cord at these segments from traumatic injury. Therefore, the upper segments (C3-4 or C4-5) rostral to the fixed segments might be damaged with cervical spinal hyperextension. However, through our experiences, not only elder patients but also many younger patients without degenerative changes in the lower cervical segments developed CSCI at the C3-4 segment. On the basis of this factor, we could not agree with their hypothesis. Imajo et al.<sup>4</sup> reported that the C3-4 finite element model with 60° facet was most susceptible to CSCI without radiological abnormality and that the bony pincers mechanism was dependent on facet joint inclination.



**Figure 2** The FSA at the three cervical segments for the subjects with traumatic CSCI without major fracture or dislocation (a) and the healthy volunteers (b). Among all the segments, except C6-7, the C3-4 segment had a significantly smaller FSA than the C4-5 and C5-6 segments in both groups.

**Table 3** The relationships between the incidence of traumatic CSCI without major fracture or dislocation and the morphology of cervical articular facets

Injured segment	No.	Smallest FSA		
		C3-4	C4-5	C5-6
C3-4	61	34 (55.7%)	11 (18%)	16 (26.3%)
C4-5	31	13 (41.9%)	8 (25.8%)	10 (32.3%)
C5-6	13	6 (41.1%)	2 (15.4%)	5 (38.5%)

Abbreviation: FSA, facet sagittal angle.

On the other hand, Morishita *et al*<sup>5</sup> reported that the cervical spinal cord at the C3–4 segment might receive the highest bony impingement load during acute hyperextension of the cervical spine. We previously studied about the relationships between cervical spinal canal diameter and the incidence of traumatic CSCI without major fracture or dislocation.<sup>6,7</sup> However, we could not find the significant relationships between cervical spinal canal diameter and the incidence of traumatic CSCI without major fracture or dislocation. Those published papers could not indicate the exact biomechanical etiology of traumatic CSCI without major fracture or dislocation.

The FSA at the C3–4 segment demonstrated significant smaller angle when compared with the C4–5 and C5–6 segments. Moreover, most of traumatic CSCI at the C3–4 segment showed smallest FSA at the C3–4 segment. On the basis of our results, we hypothesized that the raised cervical articular facets might have an important role in the etiology of traumatic CSCI without major fracture or dislocation. The cervical spinal cord at the C3–4 segment might receive the highest mechanical stress during acute hyperextension of the cervical spine because of the C3–4 articular facets' morphology.

Some issues remain unaddressed in this study. In the study, the C6–7 FSA was smallest among the cervical segments. However, we could not discuss the affects of C6–7 articular facets' morphology on the etiology of traumatic CSCI. Using the present investigation as the pilot study, further research that uses anatomical analysis of the cervical spinal column with a larger patient population may help shed light on these issues. Moreover, the biomechanical etiology of traumatic CSCI without major fracture or dislocation should be clarified in quite some detail.

#### DATA ARCHIVING

There were no data to deposit.

#### CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

- 1 Kawano O, Ueta T, Shiba K, Iwamoto Y. Outcome of decompression surgery for cervical spinal cord injury without bone and disc injury in patients with spinal cord compression: a multicenter prospective study. *Spinal Cord* 2010; 48: 548–553.
- 2 Okada S, Maeda T, Ohkawa Y, Harimeya K, Saiwai H, Kumamaru H *et al*. Does ossification of the posterior longitudinal ligament affect the neurological outcome after traumatic cervical cord injury? *Spine* 2009; 34: 1148–1152.
- 3 Ueta T. Cervical cord injuries without X-ray evidence of bony damages-Its pathology and treatment in the early stage. *Nitidoku Ihou (in Japanese)* 2000; 45: 301–316.
- 4 Imajo Y, Hiragi I, Kato Y, Taguchi T. Use of the finite element method to study the mechanism of spinal cord injury without radiological abnormality in the cervical spine. *Spine* 2009; 34: E83–E87.
- 5 Morishita Y, Naito M, Wang JC. Cervical spinal canal stenosis: the differences between stenosis at the lower cervical and multiple segment levels. *Int Orthop* 2011; 35: 1517–1522.
- 6 Takao T, Morishita Y, Okada S, Maeda T, Katoh F, Ueta T *et al*. Clinical relationship between cervical spinal canal stenosis and traumatic cervical spinal cord injury without major fracture or dislocation. *Eur Spine J* 2013; 22: 2228–2231.
- 7 Takao T, Okada S, Morishita Y, Maeda T, Kubota K, Iida R *et al*. The clinical influence of cervical spinal canal stenosis on the neurological outcome after traumatic cervical spinal cord injury without major fracture or dislocation. *Asian Spine J* 2016; 10: 536–542.
- 8 Shimada K, Tokioka T. Sequential MRI studies in patients with cervical cord injury but without bony injury. *Paraplegia* 1995; 33: 573–578.
- 9 Hayashi H, Okada K, Hamada M, Toda K, Ueno R. Etiologic factors of myelopathy: a radiographic evaluation of the aging changes in the cervical spine. *Clin Orthop Relat Res* 1987; 214: 200–209.
- 10 Koyanagi I, Iwasaki Y, Hida K, Akino M, Imamura H, Abe H *et al*. Acute cervical cord injury without fracture or dislocation of the spinal column. *J Neurosurgery* 2000; 93: 15–20.

ORIGINAL ARTICLE

# Risk factors for severe dysphagia in acute cervical spinal cord injury

T Hayashi<sup>1</sup>, Y Fujiwara<sup>2</sup>, H Sakai<sup>1</sup>, T Maeda<sup>1</sup>, T Ueta<sup>1</sup> and K Shiba<sup>1</sup>

**Study design:** A retrospective, consecutive case series.

**Objectives:** The relationship between dysphagia and acute cervical spinal cord injury (CSCI) has been recently reported; however, the cause and mechanism of dysphagia are still not well understood. No definitive factors have yet been established according to multivariate analysis. The objective is to elucidate the incidence and risk factors of dysphagia in patients with acute CSCI.

**Setting:** Spinal Injuries Center, Fukuoka, Japan.

**Methods:** A total of 298 patients with acute CSCI, who were evaluated for neurological impairment within 3 days after injury, were reviewed. CSCI patients with tube dependence due to obvious aspiration after injury were defined as having dysphagia. The factors postulated to increase the risk for dysphagia, including the patient's age, sex, American Spinal Injury Association (ASIA) impairment scale at 3 days after injury, level of injury, tracheostomy and operative treatment, were analyzed using a multiple logistic regression model.

**Results:** Of 298 patients, 21 were suffering from severe dysphagia after acute CSCI (7.0%). Of these 21 patients, 12 (57%) had CSCI at the C3–C4 level. Multivariable logistic regression analysis revealed that old age (>72 years), severe ASIA impairment scale (A or B) and presence of tracheostomy were significant risk factors of dysphagia. Level of injury  $\geq$  C3–C4 was not a significant risk factor after adjustment for several potential confounders.

**Conclusion:** The incidence of severe dysphagia associated with aspiration was 7%. Old age, severe paralysis and presence of tracheostomy may be the risk factors for dysphagia. The risk for dysphagia should be evaluated to prevent aspiration pneumonia.  
*Spinal Cord* (2017) 55, 940–943; doi:10.1038/sc.2017.63; published online 30 May 2017

## INTRODUCTION

Dysphagia following cervical spinal cord injury (CSCI) in the acute phase can increase the risk of pulmonary complications, which may cause life-threatening conditions.<sup>1</sup> Diseases of the respiratory system are the first leading primary cause of death in patients with spinal cord injury.<sup>2</sup> In the USA, 67.4% of these are cases of pneumonia.<sup>2</sup> Especially, aspiration pneumonia remains a major cause of further morbidity and mortality.<sup>3,4</sup>

The relationship between dysphagia and CSCI has been recently reported;<sup>4–7</sup> however, the cause and mechanism of dysphagia are not well understood. Although several risk factors for dysphagia such as age, tracheostomy and anterior surgery have been postulated in patients with CSCI,<sup>4–8</sup> no definitive factors have yet been established according to a multivariate analysis. We conducted the analysis in order to identify the risk factors of dysphagia using larger number of patients and multivariate model. The purpose of this study was to elucidate the incidence and risk factors of dysphagia in patients with acute CSCI.

## PATIENTS AND METHODS

### Patients

A total of 464 consecutive patients with traumatic cervical spinal injury with and without spinal cord damage were treated at our institute and were

registered in our database system from January 2007 to December 2014. All patients underwent computed tomography, magnetic resonance imaging and neurological examination at admission. We retrospectively selected 298 patients based on the following criteria:<sup>1</sup> admission within 3 days following injury,<sup>2</sup> patients with paresis or paralysis,<sup>3</sup> patients without brain injury<sup>4</sup> and patients without premorbid history of swallowing disorder before trauma. Neurological impairment scale was evaluated according to American Spinal Injury Association (ASIA) impairment scale<sup>9</sup> by surgeons and physiotherapists. Level of injury was determined by two surgeons using computed tomography and magnetic resonance imaging. All surgeons were expert board members of the Japanese Society for Spine Surgery and Related Research, who determined the level of injury and neurological impairment by using the ASIA classification.

Medical records were individually reviewed retrospectively to evaluate condition of eating, tracheostomy due to respiratory complication and operation of CSCI. We extracted patients with tube dependence due to obvious aspiration after injury. The functional oral intake scale (FOIS)<sup>10</sup> was used to evaluate oral intake function (FOIS items—Level 1: Nothing by mouth, Level 2: Tube-dependent with minimal attempts of food or liquid, Level 3: Tube-dependent with consistent oral intake of food or liquid, Level 4: Total oral diet of a single consistency, Level 5: Total oral diet with multiple consistencies, but requiring special preparation or compensations, Level 6: Total oral diet with multiple consistencies without special preparation, but with specific food limitations and Level 7: Total oral diet with no restrictions). Levels 1 through 3 relate to varying degrees of non-oral feeding; levels 4 to 7 relate to varying

<sup>1</sup>Department of Orthopaedic Surgery, Japan Organization of Occupational Health and Safety, Spinal Injuries Center, Fukuoka, Japan and <sup>2</sup>Department of Nursing, Japan Organization of Occupational Health and Safety, Spinal Injuries Center, Fukuoka, Japan  
Correspondence: Dr T Hayashi, Department of Orthopaedic Surgery, Japan Organization of Occupational Health and Safety, Spinal Injuries Center, 550-4 Igusa, Izuka city, Fukuoka 820-8508, Japan.  
E-mail: tetsuo884hayashi@yahoo.co.jp

Received 4 January 2017; revised 8 April 2017; accepted 2 May 2017; published online 30 May 2017

degrees of oral feeding without non-oral supplementation. In this study, FOIS levels 1 through 3, whose patients were tube-dependent for nutrition due to obvious aspiration, were defined as having severe dysphagia.

This study was approved by our Institutional Review Board of Spinal Injuries Center. Some of the patients in this study were included in our previous paper, which examined the risk factors of tracheostomy between 1996 and 2010.<sup>11</sup>

**Data analysis**

We analyzed the factors postulated to increase the risk for dysphagia, including the patient's age, ASIA impairment scale (AIS) at 3 days after injury, level of injury, tracheostomy and operative treatment. Patients with dysphagia were compared with those without dysphagia.  $\chi^2$ -test was used after the variables were categorized. A logistic regression model was used to compute odds ratios (ORs) and 95% confidence intervals (95% CIs) for an increased risk for dysphagia. Age was categorized into the following two groups: 72 years or less and >72 years. The cutoff value of 72 years was analyzed and selected using receiver operating characteristic curve. AIS at 3 days after injury was categorized into severe (A or B) and mild (C or D). Level of injury was categorized into the following two groups: C3–C4 or more cephalic and C4–C5 or more caudal. Treatment method was categorized into conservative treatment and operative treatment. Whether the patients received tracheostomy within a month after trauma was also categorized. The logistic regression model was adjusted for age, sex, AIS, level of injury, treatment and tracheostomy. All statistical analyses were performed using the JMP 10 statistical software package (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). A P-value of less than 0.05 was considered statistically significant.

**RESULTS**

Table 1 shows the patient demographics of this study. Of the 298 patients, 21 appeared to be suffering from severe dysphagia after acute traumatic CSCI (7.0%). All of these patients experienced evident aspiration, had to stop oral intake due to aspiration and were tube-dependent temporarily for nutrition. The neurological status of each patient with dysphagia revealed that 13 of those patients were AIS A, 6 patients were AIS B and 2 patients were AIS C. Of the 21 patients, 12 (57.1%) received tracheostomy.

Of 21 patients who had severe dysphagia, 12 patients (57%) had spinal cord injury at C3–C4, 4 patients (19%) at C4–C5, 4 patients (19%) at C5–C6 and 1 patient (5%) had spinal cord injury at C6–C7.

CSCI patients with and without dysphagia were compared in Table 2. Those with dysphagia showed significantly greater age, more severe AIS, higher level of injury and presence of tracheostomy by both  $\chi^2$ -tests and simple logistic regression analyses. After adjustment

**Table 1 Summary of demographic data of 298 patients with cervical spinal cord injury**

	Severe dysphagia <sup>a</sup> (+)	Severe dysphagia <sup>a</sup> (-)	Total
Cases (n)	21	277	298
Age (median (range))	73 (32–84)	63 (14–91)	64 (14–91)
Sex (male) (n (%))	20 (95)	236 (85)	256 (86)
Operative treatment (n (%))	7 (33)	92 (33)	99 (33)
Tracheostomy (n (%))	12 (57)	14 (5)	26 (9)
ASIA impairment scale (n (%))			
A	13 (62)	85 (31)	98 (33)
B	6 (29)	32 (12)	38 (13)
C	2 (10)	125 (45)	127 (43)
D	0 (0)	35 (13)	35 (12)

Abbreviations: ASIA, American Spinal Injury Association; FOIS, functional oral intake scale.  
<sup>a</sup>Severe dysphagia: FOIS < 3.

for potential confounding factors, multivariable logistic regression analysis revealed that age >72 years (OR: 3.71, 95% CI: 1.21–12.3, P=0.02), AIS A or B (OR: 8.98, 95% CI: 2.06–63.60, P=0.008) and presence of tracheostomy (OR: 16.41, 95% CI: 5.14–58.26, P<0.001) were significant risk factors for dysphagia.

**DISCUSSION**

Several previous studies<sup>6–8</sup> have reported that the incidence of dysphagia after CSCI was between 8.3 and 41%. Shin et al.<sup>4</sup> reported that 10 of 121 (8.3%) tetraplegic patients showed evidence of aspiration on a videofluoroscopic swallowing study. Şhem et al.<sup>6</sup> reported that dysphagia was present in 12 of 29 (41%) individuals with acute tetraplegia who underwent a prospective bedside swallow evaluation. In our study, which included the greatest number of patients with acute CSCI compared with previous studies, the rate of incidence was lower than in previous reports. The reason for this is that patients with CSCI often present with varying degrees of dysphagia, which makes it difficult to set a definition for dysphagia. Our criteria for dysphagia, which was defined as patients with tube dependence for nutrition due to obvious aspiration (FOIS levels 1–3), may signify a more severe swallowing disorder than seen in other studies.

Old age was significantly related to the higher incidence of dysphagia in our study. Previous studies<sup>6,8</sup> also identified age as a significant risk factor. Aging itself, independent of CSCI, can increase

**Table 2 Risk factors for dysphagia in acute cervical spinal cord injury**

	Severe dysphagia <sup>a</sup>		P-value <sup>b</sup>	Crude OR (95% CI)	Adjusted OR (95% CI)
	(+) n=21	(-) n=277			
Age (yr), n (%)					
≤72	10 (48)	210 (76)		Reference	Reference
>72	11 (52)	67 (24)	0.004	3.44 (1.39–8.62) <sup>c</sup>	3.71 (1.21–12.3) <sup>c</sup>
ASIA impairment scale, n (%)					
C, D	2 (10)	168 (56)		Reference	Reference
A, B	19 (90)	117 (44)	<0.001	12.9 (3.67–82.52) <sup>c</sup>	8.98 (2.06–63.60) <sup>c</sup>
Level of injury, n (%)					
≤C4/5	9 (43)	189 (63)		Reference	Reference
≥C3/4	12 (57)	109 (37)	0.04	2.47 (1.01–6.26) <sup>c</sup>	2.57 (0.71–10.43)
Treatment, n (%)					
Conservative treatment	14 (67)	185 (62)		Reference	Reference
Operative treatment	7 (33)	92 (38)	0.991	1.01 (0.37–2.50)	0.78 (0.18–3.43)
Tracheostomy, n (%)					
Negative	9 (43)	263 (88)		Reference	Reference
Positive	12 (57)	14 (12)	<0.001	25.05 (9.19–71.71) <sup>c</sup>	16.41 (5.14–58.26) <sup>c</sup>

Abbreviations: ASIA, American Spinal Injury Association; CI, confidence interval; FOIS, functional oral intake scale; OR, odds ratio.  
The logistic regression model was adjusted for age, sex, AIS, level of injury, treatment and tracheostomy.

<sup>a</sup>Severe dysphagia: FOIS < 3.

<sup>b</sup>P-value was calculated by the  $\chi^2$ -test.

<sup>c</sup>P<0.05 by univariate or multivariate logistic analysis.

the risk for dysphagia, because changes in physiology with aging are seen in the upper esophageal sphincter and pharyngeal region, whose sensation is blunted with age.<sup>12</sup>

Tracheostomy was a significant risk factor for dysphagia in this study. As tracheostomy accompanied with acute respiratory failure was reported to be correlated with severe neurological impairment scale, they may be confounding factors of dysphagia.<sup>11</sup> Previous studies<sup>6,8</sup> also supported this correlation. Gross et al.<sup>13</sup> reported that the reduction of respiratory volume and subglottic pressure due to a tracheostomy tube or a thorax trauma raised the risk of aspiration. The reduction of subglottic pressure and stimulation of a tracheal cannula to larynx and esophagus may cause dysphagia of patients with tracheostomy.<sup>14</sup> The OR of tracheostomy was highest among significant risk factors demonstrated in this study; thus, we need to pay special attention to aspiration of patients with tracheostomy.

Our study demonstrated that severe paralysis (AIS A or B) was a significant risk factor for dysphagia. Maeda et al.<sup>15</sup> reported that the area of prevertebral hyperintensity on T2-weighted magnetic resonance imaging had a significant negative correlation with the ASIA motor score, indicating that patients who had larger prevertebral hyperintensity tended to show more severe paralysis. Therefore, swelling at the retropharyngeal space due to vertebral fracture or soft tissue damage may affect swallowing dysfunction.

Multiple logistic regression analysis revealed that level of injury  $\geq$  C3–C4 was not a significant risk factor, whereas both  $\chi^2$ -test and simple logistic regression model showed a significant difference. More than half the patients with dysphagia had a spinal injury at C3–C4 level, whereas no patient had dysphagia at C2–C3 level in our study. Seidl et al.<sup>5</sup> also showed that the number of swallowing disorders increased as the level of tetraplegia lowered with the peak of the C4 level. On the other hand, Shem et al.<sup>6</sup> reported that no relationship between dysphagia and level of injury was found to exist. Buchholz and Neumann<sup>16</sup> postulated changes in pharyngeal wall sensitivity as a result of separation of the rear wall of pharynx as a result of trauma and surgery. Most of the CSCI in old patients are spinal cord injury without major bone injury, and they often occur at the C3–C4 level.<sup>17,18</sup> Confounding factors, such as age and level of injury, should be considered although injury at C3–C4 may affect a cause of dysphagia because larynx is located just in front of C3–C4 vertebrae.

Our study showed that operation was not a significant risk factor for dysphagia. Anterior surgical approach of cervical spine has been reported to cause dysphagia.<sup>19,20</sup> Andrew and Sidhu<sup>19</sup> reported that the greatest level of swelling or change in the prevertebral soft tissues after anterior cervical surgery occurred at the mid-body of C4 with an average change of 10.7 mm. Because only 1 of 7 patients who underwent surgery underwent anterior approach for CSCI, operation might not be identified as a risk factor for dysphagia in this study.

Limitations to this study should be acknowledged. Patients with dysphagia present with varying degrees of swallowing disorders. Difficulty with food transmission through pharynx and problem of mastication, which were other symptoms of dysphagia, were not evaluated in this study, because we focused on aspiration. Also, as tube dependence due to aspiration is a very important line between life and death in clinical practice, we aimed to examine the risk factors for severe dysphagia. Because our criteria for dysphagia was FOIS levels 1–3 due to obvious aspiration, only severe swallowing disorder was defined as severe dysphagia and examined in this study. Moreover, detailed examination using videofluoroscopic examination of swallowing or videoendoscopic evaluation of swallowing would provide more accurate diagnosis of aspiration.

When we treat acute CSCI patients with these risk factors, caution is necessary to avoid aspiration. In addition to these risk factors, patients with a past history of stroke, aspiration pneumonia or chronic pulmonary disease may also require close attention and screening tests in clinical practice. Diet with special preparation, oral care, avoidance of unnecessary tracheostomy and screening for dysphagia should be performed to prevent pulmonary complications associated with dysphagia and maintain better nutritive condition. Therefore, the risk for dysphagia should be evaluated.

## CONCLUSION

A total of 298 patients were retrospectively reviewed to detect risk factors for dysphagia using a multiple logistic regression model. The incidence of severe dysphagia associated with aspiration was 7%. Old age, severe paralysis and tracheostomy may be at risk for dysphagia. Risk for dysphagia should be evaluated to prevent aspiration pneumonia.

## DATA ARCHIVING

There were no data to deposit.

## CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The manuscript submitted does not contain information about medical device (s)/drug(s). Works of Dr Hayashi and Dr Maeda have been funded by the Grant-in-aid for Scientific Research (C) from The Japanese Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology.

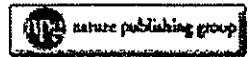
- Shem K, Castillo K, Wong SL, Chang J, Kolakowsky-Hayner S. Dysphagia and respiratory care in individuals with tetraplegia: incidence, associated factors, and preventable complications. *Top Spinal Cord Inj Rehabil* 2012; 18: 15–22.
- National Spinal Cord Injury Statistical Center. *Annual Report for the Spinal Cord Injury Model System. Public Version*. Birmingham, AL, USA, 2014.
- DiBardino DM, Wunderink RG. Aspiration pneumonia: a review of modern trends. *J Crit Care* 2015; 30: 40–48.
- Shin JC, Yoo JH, Lee YS, Goo HR, Kim DH. Dysphagia in cervical spinal cord injury. *Spinal Cord* 2011; 49: 1008–1013.
- Seidl RO, Nusser-Muller-Busch R, Kurzweil M, Niedeggen A. Dysphagia in acute tetraplegics: a retrospective study. *Spinal Cord* 2010; 48: 197–201.
- Shem K, Castillo K, Wong S, Chang J. Dysphagia in individuals with tetraplegia: incidence and risk factors. *J Spinal Cord Med* 2011; 34: 85–92.
- Wolf C, Meiners TH. Dysphagia in patients with acute cervical spinal cord injury. *Spinal Cord* 2003; 41: 347–353.
- Kirshblum S, Johnston MV, Brown J, O'Connor KC, Jarosz P. Predictors of dysphagia after spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil* 1999; 80: 1101–1105.
- Kirshblum SC, Burns SP, Biering-Sorensen F, Donovan W, Graves DE, Jha A et al. International standards for neurological classification of spinal cord injury (revised 2011). *J Spinal Cord Med* 2011; 34: 535–546.
- Crary MA, Mann GD, Groher ME. Initial psychometric assessment of a functional oral intake scale for dysphagia in stroke patients. *Arch Phys Med Rehabil* 2005; 86: 1516–1520.
- Yugue I, Okada S, Ueta T, Maeda T, Mori E, Kawano O et al. Analysis of the risk factors for tracheostomy in traumatic cervical spinal cord injury. *Spine (Phila Pa 1976)* 2012; 37: E1633–E1638.
- Achem SR, Devault KR. Dysphagia in aging. *J Clin Gastroenterol* 2005; 39: 357–371.
- Gross RD, Steinhauer KM, Zajac DJ, Weissler MC. Direct measurement of subglottic air pressure while swallowing. *Laryngoscope* 2006; 116: 753–761.
- Elperin EH, Borkgren Okonek M, Bacon J, Gerstlung C, Skrzynski M. Effect of the Pessy-Muir tracheostomy speaking valve on pulmonary aspiration in adults. *Heart Lung* 2000; 29: 287–293.
- Maeda T, Ueta T, Mori E, Yugue I, Kawano O, Takao T et al. Soft-tissue damage and segmental instability in adult patients with cervical spinal cord injury without major bone injury. *Spine (Phila Pa 1976)* 2012; 37: E1560–E1566.
- Buchholz DW, Neumann S. Vocal fold paralysis following the anterior approach to the cervical spine. *Dysphagia* 1997; 12: 57–58.

- 17 Hayashi T, Kawano O, Sakai H, Ideta R, Ueta T, Maeda T *et al*. The potential for functional recovery of upper extremity function following cervical spinal cord injury without major bone injury. *Spinal Cord* 2013; 51: 819-822.
- 18 Takao T, Morishita Y, Okada S, Maeda T, Katoh F, Ueta T *et al*. Clinical relationship between cervical spinal canal stenosis and traumatic cervical spinal cord injury without major fracture or dislocation. *Eur Spine J* 2013; 22: 2228-2231.
- 19 Andrew SA, Sidhu KS. Airway changes after anterior cervical discectomy and fusion. *J Spinal Disord Tech* 2007; 20: 577-581.
- 20 Kepler CK, Rihn JA, Bennett JD, Anderson DG, Vaccaro AR, Albert TJ *et al*. Dysphagia and soft-tissue swelling after anterior cervical surgery: a radiographic analysis. *Spine J* 2012; 12: 639-644.



Format: Abstract

Full text links



*Spinal Cord*. 2017 Jun 27. doi: 10.1038/sc.2017.74. [Epub ahead of print]

## Effects of orthotic therapeutic electrical stimulation in the treatment of patients with paresis associated with acute cervical spinal cord injury: a randomized control trial.

Iwahashi K<sup>1</sup>, Hayashi T<sup>1,2</sup>, Watanabe R<sup>1</sup>, Nishimura A<sup>1</sup>, Ueta T<sup>1,2</sup>, Maeda T<sup>2</sup>, Shiba K<sup>2</sup>.

### Author information

### Abstract

**STUDY DESIGN:** A randomized controlled trial.

**OBJECTIVES:** To determine the effects of orthotic therapeutic electrical stimulation (TES) on the hand in patients with paresis associated with acute cervical spinal cord injury.

**SETTING:** Spinal Injuries Center, Fukuoka, Japan.

**METHODS:** The study included patients treated for spinal cord injuries (Frankel classification, grades B and C) at our institution within 1 week post injury between May 2011 and December 2014. The patients were allocated randomly to TES and control groups at the time of admission and underwent TES+conventional training or conventional training alone, respectively. Both hands of each patient were treated in the same way. The primary outcome was total passive motion (TPM) of the fingers (degrees). The secondary outcomes were edema (cm) and the upper-extremity motor scores of the International Standards for the Neurological Classification of Spinal Cord Injury (ISNCSCI). After randomization, outcomes were assessed at 1 week, 1 month and 3 months post injury in both groups.

**RESULTS:** Twenty-nine individuals were assessed at 3 months (15, TES; 14, control). There were no significant between-group differences for TPM of the fingers, edema and upper-extremity motor scores at 1 week, 1 month and 3 months after injury, although TPM of the fingers tended to be lower in the control group.

**CONCLUSIONS:** It is unclear from the results of this study whether TES has a therapeutic effect on TPM, edema or the upper-extremity motor score of the ISNCSCI. The results of this study provide useful data for future meta-analyses. *Spinal Cord* advance online publication, 27 June 2017; doi:10.1038/sc.2017.74.

PMID: 28653674 DOI: [10.1038/sc.2017.74](https://doi.org/10.1038/sc.2017.74)



# Sensitivity and specificity of the 'knee-up test' for estimation of the American Spinal Injury Association Impairment Scale in patients with acute motor incomplete cervical spinal cord injury

Itaru Yugué<sup>1</sup> · Seiji Okada<sup>2</sup> · Takeshi Maeda<sup>1</sup> · Takayoshi Ueta<sup>1</sup> · Keiichiro Shiba<sup>1</sup>

Received: 20 July 2017 / Revised: 13 November 2017 / Accepted: 20 November 2017  
© International Spinal Cord Society 2017

## Abstract

**Study design** A retrospective study.

**Objective** Precise classification of the neurological state of patients with acute cervical spinal cord injury (CSCI) can be challenging. This study proposed a useful and simple clinical method to help classify patients with incomplete CSCI.

**Setting** Spinal Injuries Centre, Japan.

**Methods** The sensitivity and specificity of the 'knee-up test' were evaluated in patients with acute CSCI classified as American Spinal Injury Association Impairment Scale (AIS) C or D. The result is positive if the patient can lift the knee in one or both legs to an upright position, whereas the result is negative if the patient is unable to lift the knee in either leg to an upright position. The AIS of these patients was classified according to a strict computerised algorithm designed by Walden et al., and the knee-up test was tested by non-expert examiners.

**Results** Among the 200 patients, 95 and 105 were classified as AIS C and AIS D, respectively. Overall, 126 and 74 patients demonstrated positive and negative results, respectively, when evaluated using the knee-up test. A total of 104 patients with positive results and 73 patients with negative results were classified as AIS D and AIS C, respectively. The sensitivity, specificity, positive predictive and negative predictive values of this test for all patients were 99.1, 76.8, 82.5 and 98.7, respectively.

**Conclusions** The knee-up test may allow easy and highly accurate estimation, without the need for special skills, of AIS classification for patients with incomplete CSCI.

## Introduction

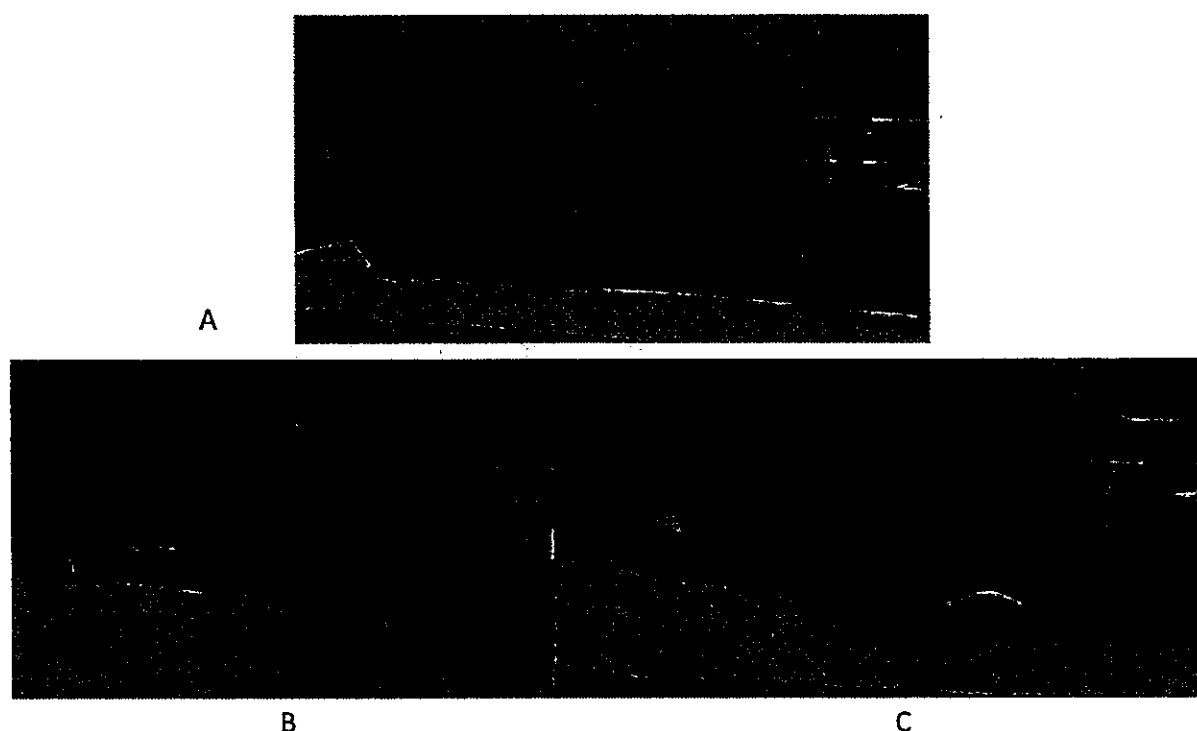
Precise classification of the neurological state of patients with acute spinal cord injury (SCI) is essential in determining the prognosis, therapeutic strategy and outcomes/benefits from the interventions [1–10]. The American Spinal Injury Association (ASIA) published standards for neurological and functional classification of SCI in 1982 [11]. The International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury (ISNCSCI) was accepted and recommended by the International Medical Society of

Paraplegia (IMSOP) in 1992, and the ASIA Impairment Scale (AIS) based on the revised version of ISNCSCI [12, 13] is now used worldwide to determine motor and sensory impairments in patients with SCI. In order to accurately assess AIS, it is mandatory to determine the sensory level, sensory scores, motor level and strength of the key muscles using the ISNCSCI classification [14]. The ISNCSCI method was tested for its inter- and intra-rater reliabilities [15–26]. This method is slightly complicated, and several studies illustrated that training and experience may be required for accurate agreement [15, 20, 21, 25, 26]. Importantly, some studies reported that the reliability of sensory and motor components of ISNCSCI in patients with incomplete SCI was lower than that in patients with complete SCI [15, 19, 20, 22, 26]. In the patients with motor incomplete SCI, the most complicated task even after training was to distinguish AIS B from AIS C/D based on the motor sparing of more than three segments below the motor level [20, 24, 27]. Moreover, in the patients classified

✉ Itaru Yugué  
iyugue@orange.ocn.ne.jp

<sup>1</sup> Department of Orthopaedic Surgery, Spinal Injuries Centre, Iizuka, Fukuoka, Japan

<sup>2</sup> Department of Orthopaedic Surgery, Kyushu University, Fukuoka, Japan



**Fig. 1** **a** In the knee-up test, the patient was placed in the supine position. **b** Clinicians ask patients to lift up their knees off the bed. If patient was able to lift their knees to an upright position, then the

patient had a positive knee-up test result (left leg). **c** If the patient was unable to lift the knees up to the upright position, then the patient had a negative knee-up test result (left leg)

as AIS D after training, ~15% of those was misclassified [20, 27]. These results indicate that a very careful evaluation was mandatory to correctly assess AIS in patients with incomplete SCI. These patients often exhibit spontaneous motor function recovery; hence, an easy and quick to perform screening tool needs to be developed because a complete ISNCSCI examination in these patients might reach up to an hour, and frequent evaluation using the full ISNCSCI method is not practical in the early stage of injury.

We previously reported that the knee-up test was useful for the early detection of postoperative motor deficit [28] as well as hysterical paralysis [29]. This test is also thought to have a possibility to easily estimate the severity of paralysis. The purpose of this study is to verify the usefulness of estimating paralysis severity using the 'knee-up test' in patients with incomplete SCI, especially in distinguishing AIS C from D.

## Methods

### Study population

A total of 675 patients with cervical SCI (CSCI) were treated at the Department of Orthopaedic Surgery of the

Spinal Injuries Centre from June 2005 to June 2016. The inclusion criteria were the following: (1) patients with traumatic CSCI verified using magnetic resonance imaging, (2) patients with motor incomplete CSCI determined according to the ISNCSCI classification at the time of admission and (3) ability to adequately communicate. The medical records of 215 consecutive patients with acute motor incomplete CSCI, who were treated within 2 days after injury, were reviewed. Fifteen patients were excluded because some motor functions were not testable due to fracture and/or hypersensitivity of the extremities. The medical records of the remaining 200 patients were then analysed.

Informed consent was obtained from all individual participants included in the study.

### Manoeuvre of the knee-up test

Patients were placed in the supine position, and the clinicians asked them to lift up their knees off the bed (Fig. 1a). If patients were able to lift their knees to an upright position, they were considered to have a positive knee-up test result (Fig. 1b). If patients were unable to do so, then the knee-up test had a negative result (Fig. 1c). Patient had a positive single knee-up test if he/she was able to lift at least one of

his/her knees, whereas the patient was considered to have a negative single knee-up test if he/she was not able to lift either of his/her legs.

Patients were independently examined at the time of admission by two expert orthopaedic surgeons (I.Y. and T. U.), who had >5 years of experience in using the ISNCSCI method. At the same time, two non-expert residents who had <1 year of experience in using the ISNCSCI method performed the knee-up tests. They were blinded to the results obtained by the other observers.

### Key muscles for knee-up positive and relation between the key muscles and upper and lower extremities' muscle functions

Considering that the physiologic continuity of the spinal cord long tract fibres is broken into CSCI, paralysis of one muscle is often linked to paralysis of the other muscles in the upper and lower extremities. Therefore, we analysed the key leg muscles that contributed positively to the knee-up test and the relationship between the motor scores of all key muscles and key leg muscles associated with the knee-up test.

### AIS classification

Regarding AIS, data to be filled into the neurological worksheet were: sensory scores including light touch and pin prick, motor score for each segment, presence of voluntary anal contraction, and results of the knee-up test. Since 1980, non-key muscles, such as shoulder elevation, shoulder abductors, wrist flexors, finger extensors, hip adductors, hip abductors and long toe flexors, were examined and graded using the Manual Muscle Test. All data were collected prospectively. Given that the ISNCSCI methods were improved during our study period, to update the AIS classification, every parameter, including sensory score, motor score for each segment and presence of voluntary anal contraction of each patient, was entered into a personal computer, and the AIS of each patient was evaluated and verified by the computerised algorithm designed by Walden et al. [30]. after completing the data entry.

When a disagreement existed between the results of the single knee-up test and the results of AIS obtained by the two observers, the results were classified as single knee-up test negative and as AIS C.

### Statistical analysis

The association between the result of the single knee-up test of a patient and the results of AIS was investigated. Fisher's exact test was used to compare categorical data. Odds ratio

(OR), and 95% confidence interval (CI), sensitivity, specificity, positive predictive value (PPV), and negative predictive value (NPV) were calculated. The kappa statistic was used to assess the inter-observer agreement on the knee-up test.

To clarify the importance of the key leg muscles in maintaining the knee in its lifted position, the relationship between the result of the knee-up test and the strength of each key leg muscle was analysed using a multiple logistic regression model. Correlations between the motor scores of the significant key muscles and those of the other key muscles were analysed using Pearson's correlation coefficient. The correlation coefficient ( $r$ ) was interpreted as follows: value of  $r$  between  $-1.0$  and  $-0.7$  or  $1.0$  and  $0.7$ : a strong linear relationship; between  $-0.7$  and  $-0.5$  or  $0.5$  and  $0.7$ : a moderate linear relationship; and between  $-0.5$  and  $-0.3$  or  $0.3$  and  $0.5$ : a weak linear relationship [31]. All statistical analyses were performed using the JMP 11 statistical software package (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). A value of  $p < 0.05$  was considered to be statistically significant.

### Results

Two hundred eligible patients (166 males, 34 females) were selected for inclusion in the final sample. All injuries were the result of blunt trauma. Mean patients' age was  $62.4 \pm 15.6$  years (mean  $\pm$  SD) (range, 16–91 years). The consciousness level of all patients was normal. The mean interval between the day of injury and the day of evaluation was  $0.8 \pm 0.75$  day (mean  $\pm$  SD) (range, 0–2 days). The neurological status of each patient was evaluated at the time of admission. Neurological level of injury was C2 in 4 patients, C3 in 15, C4 in 104, C5 in 45, C6 in 25, C7 in 6 and C8 in 1 patient. Ninety-five of the 200 patients were classified as AIS C. The mean total upper motor score (TUEMS) was  $11.95 \pm 1.14$  (mean  $\pm$  SD) and mean total lower motor score (TLEMS) was  $14.26 \pm 1.08$  (mean  $\pm$  SD). According to Pouw et al. [32], traumatic central cord syndrome (TCCS) was defined as a TUEMS of 10 points less than the TLEMS; 30 in 95 patients (31.58%) had TCCS. One hundred and five of the 200 patients were classified as AIS D. The mean TUEMS was  $30.10 \pm 1.07$  (mean  $\pm$  SD) and mean TLEMS was  $41.78 \pm 1.02$  (mean  $\pm$  SD). Fifty-five in the 105 patients (52.38%) had TCCS. Both mean TUEMS and TLEMS in the AIS D group were statistically significantly higher than those in the AIS C group (TUEMS:  $p < 0.0001$ , TLEMS:  $p < 0.0001$ ) and the percentage of TCCS in the AIS C group was statistically significantly higher than that in the AIS D group ( $p = 0.0041$ ) (Table 1). The kappa coefficient for the AIS between two expert orthopaedic surgeons was 0.99 ( $p <$

**Table 1** Demographic characteristics according to the American Spinal Injury Association impairment scale

Patients	C 95 patients	D 105 patients	<i>p</i>
Sex	Male: 77; female: 18	Male: 89; female: 16	0.572
Age (years)	64.1 ± 1.59 (mean ± SD)	60.8 ± 1.52 (mean ± SD)	0.145
TUEMS	11.95 ± 1.14 (mean ± SD)	30.10 ± 1.07 (mean ± SD)	<0.0001*
TUEMS: 0–10	53 patients	7 patients	
TUEMS: 11–20	27 patients	20 patients	
TUEMS: 21–30	11 patients	26 patients	
TUEMS: 31–40	4 patients	23 patients	
TUEMS: 41–50	No patient	29 patients	
TLEMS	14.26 ± 1.08 (mean ± SD)	41.78 ± 1.02 (mean ± SD)	<0.0001*
TLEMS: 0–10	41 patients	1 patient	
TLEMS: 11–20	25 patients	2 patients	
TLEMS: 21–30	22 patients	15 patients	
TLEMS: 31–40	6 patients	20 patients	
TLEMS: 41–50	2 patients	67 patients	
TCCS	TCCS: 30; non-TCCS: 65	TCCS: 55; non-TCCS: 50	0.0041**

TUEMS total upper motor scores, TLEMS total lower motor scores, TCCS traumatic central cord syndrome

\* Unpaired *t* test: *p* < 0.05

\*\* Fisher's exact test: *p* < 0.05

0.0001). There was no difference in the knee-up test derived by the two non-expert examiners.

One hundred and twenty-six patients exhibited positive results when evaluated using the single knee-up test, whereas 74 patients exhibited negative results. The mean TUEMS was 27.03 ± 1.10 (mean ± SD) and the mean TLEMS was 39.16 ± 0.94 (mean ± SD) in the knee-up positive group, whereas the mean TUEMS was 12.04 ± 1.44 (mean ± SD) and the mean TLEMS was 10.91 ± 1.24 (mean ± SD) in the knee-up negative group. Seventy-one in 126 patients (56.35%) had TCCS in the positive group and 14 in 74 patients (18.92%) had TCCS in the negative group. Both mean TUEMS and TLEMS in the knee-up positive group were statistically significantly higher than those in the knee-up negative group (TUEMS: *p* < 0.0001, TLEMS: *p* < 0.0001) and the percentage of TCCS in the negative group was statistically significantly higher than that in the positive group (*p* < 0.0001) (Table 2). One hundred and four of the patients with positive results were classified as AIS D. Seventy-three patients with negative single knee-up

test were classified as AIS C (Fisher's exact *p* < 0.0001; OR, 345.1; 95% CI, 45.5–2617.7) (Table 3). The sensitivity, specificity, PPV and NPV of this test for all cases were 99.1, 76.8, 82.5 and 98.7, respectively. Concerning the relationship between the knee-up test and TCCS (Table 4), the sensitivity, specificity, PPV and NPV of this test were 83.5, 52.17, 56.35 and 81.03, respectively.

Multiple logistic regression demonstrated that hip flexors (*p* < 0.0001; OR, 5.87; 95% CI, 2.94–13.6), hip adductors (*p* = 0.0352; OR, 2.11; 95% CI, 1.04–4.29) and hip abductors (*p* = 0.0291; OR, 1.86; 95% CI, 1.06–3.49) were statistically significant for the key leg muscles that contributed positively to the knee-up test (Table 5). When the muscles were restricted only to the ASIA key muscles, multiple logistic regression demonstrated that hip flexors (*p* < 0.0001; OR, 10.9; 95% CI, 5.9–23.4) and ankle dorsiflexors (*p* = 0.0255; OR, 1.6; 95% CI, 1.1–2.6) were statistically significant for the key leg muscles that contributed positively to the knee-up test (Table 6).

The motor score of both hip flexors (Table 7) and ankle dorsiflexors (Table 8) showed significantly strong correlations with that of the other key muscles in the lower extremities, and significantly moderate correlations with that of the elbow extensors, finger flexors and finger abductors. The motor scores of hip flexors and ankle dorsiflexors showed a significantly weak correlation compared to those of the elbow flexors and wrist extensors.

## Discussion

In the present study, we demonstrated the usefulness of the knee-up test for AIS assessment in patients with motor incomplete CSCI. To correctly assess AIS, several complicated examination steps are required. First, sensory (ie, light touch and pin prick sensation) and motor examinations for the right and left extremities are determined according to the ISNCSCI method. Second, NLI, which is the most caudal segment of the cord with intact sensation and anti-gravity muscle function strength, should be determined. Third, AIS is evaluated using these sensory and motor findings in a comprehensive manner. Mastery of skills needed for each step in the ISNCSCI method is required for clinicians as described above, indicating that examination skills might influence the result of AIS grading. Both AIS C and D indicate that motor function is preserved below the NLI; however, the distinction between them is not always easy. The function of more than half of the key muscles below the single NLI have a grade of <3 (grades 0–2) is classified as AIS C, whereas the case wherein at least half (half or more) of the key muscles below the NLI have a grade greater or equal to 3 (grades 3–5) is classified as AIS D [14].

**Table 2** Demographic characteristics according to the result of knee-up test

Patients	Positive 126 patients	Negative 74 patients	<i>p</i>
Sex	Male: 107; female: 19	Male: 59; female: 15	0.436
Age (years)	61.06 ± 1.39 (mean ± SD)	64.58 ± 1.80 (mean ± SD)	0.123
TUEMS	27.03 ± 1.10 (mean ± SD)	12.04 ± 1.44 (mean ± SD)	<0.0001*
TLEMS	39.16 ± 0.94 (mean ± SD)	10.91 ± 1.24 (mean ± SD)	<0.0001*
TCCS	TCCS: 71; non-TCCS: 55	TCCS: 14; non-TCCS: 60	<0.0001**

TUEMS total upper motor scores, TLEMS total lower motor scores, TCCS traumatic central cord syndrome

\* Unpaired *t* test: *p* < 0.05

\*\* Fisher's exact test: *p* < 0.05

**Table 3** Relationship between the American Spinal Injury Association impairment scale and the knee-up sign findings

	The ASIA impairment scale		
	C ( <i>n</i> )	D ( <i>n</i> )	Total ( <i>n</i> )
Knee-up test positive	22	104	126
Knee-up test negative	73	1	74
Total	95	105	200

**Table 4** Relationship between the traumatic central cord syndrome and knee-up test findings

	TCCS ( <i>n</i> )	Non-TCCS ( <i>n</i> )	Total ( <i>n</i> )
	Knee-up test positive	71	55
Knee-up test negative	14	60	74
Total	85	115	200

TCCS traumatic central cord syndrome

**Table 5** Multiple logistic regression by combined muscle functions for the positive knee-up test (with the non-key muscles)

Combined muscle functions	<i>p</i>	Odds ratio	95% confidence interval
Hip flexors	<0.0001*	5.88	2.94–13.6
Hip adductors	0.0353*	2.10	1.05–4.29
Hip abductors	0.0292*	1.85	1.06–3.49
Knee extensors	0.3549	0.78	0.45–1.30
Ankle dorsiflexors	0.1745	1.35	0.87–2.15
Long toe extensors	0.9054	1.03	0.59–1.77
Ankle plantar flexors	0.7574	1.09	0.63–1.86

\* *P* < 0.05

In patients with acute CSCI, some merits exist for accurate distinction between AIS C and D. For example, AIS C is a more appropriate neurological condition in validating the efficacy of treatment for neurological improvement [1–4]. In addition, acute complications were found to develop more frequently in patients with AIS C than in those with AIS D [5, 6]. Therefore, early distinction

**Table 6** Multiple logistic regression by combined muscle functions for the positive knee-up test

Combined muscle functions	<i>p</i>	Odds ratio	95% confidence interval
Hip flexors	<0.0001*	10.85	5.9–23.4
Knee extensors	0.7918	0.93	0.57–1.52
Ankle dorsiflexors	0.0255*	1.64	1.07–2.59
Long toe extensors	0.8930	0.96	0.57–1.62
Ankle plantar flexors	0.3503	1.26	0.77–2.07

\* *P* < 0.05

**Table 7** Correlation between the motor score of hip flexors and those of the other key muscles

Key muscle	<i>p</i>	Correlation coefficient
Elbow flexors	<0.0001*	0.357
Wrist extensors	<0.0001*	0.459
Elbow extensors	<0.0001*	0.566
Finger flexors	<0.0001*	0.564
Small finger abductors	<0.0001*	0.509
Knee extensors	<0.0001*	0.857
Ankle dorsiflexors	<0.0001*	0.844
Long toe extensors	<0.0001*	0.807
Ankle plantar flexors	<0.0001*	0.836

\* *P* < 0.05

between AIS C and D is important to evaluate treatment outcomes and complication risk during the early stage of injury, especially the need for tracheostomy [5] in patients with incomplete CSCI.

Several studies reported the inter-rater and intra-rater reliability of ISNCSCI [15–26]. Generally, intra-rater and inter-rater agreements among trained or experienced raters were acceptable; [17, 21–23] however, even for trained examiners, the agreements of sensory and/or motor examination were less reliable in patients with an incomplete SCI than in those with a complete SCI [19, 22]. In addition,

**Table 8** Correlation between the motor score of ankle dorsiflexors and those of the other key muscles

Key muscle	<i>p</i>	Correlation coefficient
Elbow flexors	<0.0001*	0.270
Wrist extensors	<0.0001*	0.410
Elbow extensors	<0.0001*	0.520
Finger flexors	<0.0001*	0.534
Small finger abductors	<0.0001*	0.508
Hip flexors	<0.0001*	0.845
Knee extensors	<0.0001*	0.837
Long toe extensors	<0.0001*	0.896
Ankle plantar flexors	<0.0001*	0.858

\* *P* < 0.05

although several studies have reported that training improved accuracy of agreement [15, 16, 18, 20, 24–26], efficacy was significantly lower in incomplete than in complete SCI [15, 16, 20, 24–26]. For example, Chafetz et al. [20] reported that training improved correct classification of patients with AIS C from 29 to 54% and of those with AIS D from 37 to 84%, and stated clearly that accurate classification of AIS designation remained unacceptably low even after training. These reports suggested that non-experts should receive proper training before using the ISNCSCI in clinical practice [20, 25]. In this study, interrater agreements among two expert orthopaedic surgeons who had 5 years or more of experience in using the ISNCSCI method in >400 SCI cases were high enough. This means that to be able to correctly classify patients with motor incomplete CSCI, proper training and greater level of experience are needed.

In contrast, the knee-up test presented in this study does not require special skills when performing. We previously reported that the knee-up test was useful for the early detection of postoperative motor deficit [28] as well as hysterical paralysis [29]. In the current study, no patient data overlapped with the previous studies [28, 29]. In a previous study [28], hip adductors and abductors were important muscles in lifting the knees up (knee-up test positive) and in keeping the knee in this position. However, these muscles were not used to analyse their correlations with the key muscles in the current study, because they were not key muscles of the ISNCSCI classification. The knee-up test also provides easy distinction between AIS C and D in patients with motor incomplete CSIC. If the patient could not lift his/her knees in either legs to an upright position (single knee-up test negative), this patient was classified as AIS C with 98.6% probability; on the other hand, if the patient was able to lift his/her knee in at least one leg (single knee-up test positive) to an upright position, this patient was classified as AIS D with 82.5% probability.

Although the knee-up test was useful to estimate AIS C or D, the purpose of this test was not to promote shortcuts for clinical evaluations but to screen the severity of motor incomplete CSCI for non-expert examiners using an easy clinical tool. The knee-up test is thought to be useful to estimate TCCS. However, with regard to the relationship between the knee-up test and TCCS, the sensitivity, specificity, PPV and NPV of this test were 83.5, 50.89, 56.35 and 80.26, respectively. These results suggest that the knee-up test is more useful for the distinction between AIS C and D in patients with incomplete CSCI than for the distinction of TCCS.

Even though the single knee-up test was positive in 126 patients, only 22 were classified as AIS C. This might explain the relatively low specificity of the knee-up test. Among these patients, 15 (68%) had a one side positive test result. When a single positive test is divided into two categories: both side positive (73 of 80 cases (91%) were AIS D) and one side positive (31 of 46 cases (67%) were AIS D), the percentage of correctly identified cases with AIS D increased; however, the sensitivity and specificity of the test could not be calculated. Regardless of its relatively low specificity, these correction rates of classification (98.6% and 82.5%) are high enough to be compared to the results of the trained raters [15, 20, 24, 27].

In this study, we analysed the motor score of the key muscles necessary for lifting the knee using a multiple logistic regression model and found that the hip flexors and ankle dorsiflexors were the statistically significantly associated with the knee-up test (Table 2). Notably, the motor score of these muscles had a strongly positive correlation with the score of the key muscles in the lower limbs and a moderately positive correlation with that of the key muscles of upper limbs. These results suggest that a simple examination using the knee-up test yields general information of paralysis in extremities, especially in the legs, with great accuracy. Alternatively, the lower-limb muscles, besides the hip flexors and ankle dorsiflexors, had a moderate correlation with the upper-limb muscles. These results indicate that patients with a positive knee-up test most likely had a substantial motor function in the upper and lower limbs. Given that the distinction between AIS C and D is that whether at least half of the key muscle functions below the NLI have a muscle grade of >3 (5–3) or <3 (2–0), there is a high possibility that patients with positive knee-up test are classified as AIS D. For this reason, this test could estimate the AIS classification with high probability in patients with incomplete CSCI.

There are several possible limitations associated with this study. First, the sample size was relatively small. Second, the knee-up test was evaluated at a single institution. Third, this test is not applicable to patients with pelvic fracture and/or lower-limb fracture who are unable to lift up their

knees. Fourth, because only patients in a very acute stage were examined, the results of this study cannot be transferred to patients in the chronic stage because of severe spasticity, joint contractures, pain and heterotopic ossifications. Finally, the knee-up test is not useful for the patient with CSCI who has absent motor function of the lower extremities but sacral sensory sparing with sparing of motor function more than three levels below the motor level for that side of the body; the patient is then classified as AIS C. When the patient had no leg motor function but who has sacral sensory sparing, adequate ISNCSCI examination is mandatory to precisely classify AIS. Despite these limitations, we believe that this test is useful at bedside for non-trained clinicians who are not familiar with the ISNCSCI method. In addition, this test is applicable for the patients who have difficulties with precise communication and neurological evaluation.

In conclusion, the sensitivity, specificity, PPV and NPV of this test for distinction between AIS C and D in patients with motor incomplete CSCI were 99.1, 76.8, 82.5 and 98.7, respectively.

### Compliance with ethical standards

**Conflict of interest** The authors declare that they have no conflict of interest.

### References

- Kejžar N, Vesel M, Al Mawed S, Dobravec M, Herman S, et al. Neurological recovery after traumatic cervical spinal cord injury is superior if surgical decompression and instrumented fusion are performed within 8 h versus 8 to 24 h after injury: a single center experience. *J Neurotrauma*. 2015;32:1385–92.
- Mazaki T, Ito Y, Sugimoto Y, Koshimune K, Tanaka M, Ozaki T. Dose laminoplasty really improve neurological status in patients with cervical spinal cord injury without bone and disc injury? A prospective study about neurological recovery and early complications. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2013;133:1401–5.
- Chikuda H, Seichi A, Takeshita K, Matsunaga S, Watanabe M, Nakagawa Y, et al. Acute cervical spinal cord injury complicated by preexisting ossification of the posterior longitudinal ligament: a multicenter study. *Spine*. 2011;36:1453–8.
- Kawano O, Ueta T, Shiba K, Iwamoto Y. Outcome of decompression surgery for cervical spinal cord injury without bone and disc injury in patients with spinal cord compression: a multicenter prospective study. *Spinal Cord*. 2010;48:548–53.
- Menaker J, Kufera JA, Glaser J, Stein DM, Scalea TM. Admission ASIA motor score predicting the need for tracheostomy after cervical spinal cord injury. *J Trauma Acute Care Surg*. 2013;75:629–34.
- Grossman RG, Frankowski RF, Burau KD, Toups EG, Crommett JW, et al. Incidence and severity of acute complications after spinal cord injury. *J Neurosurg Spine*. 2012;17(1 Suppl):119–28.
- Nakashima H, Yukawa Y, Ito K, Machino M, Kato F. Mechanical patterns of cervical injury influence postoperative neurological outcome: a verification of the allen system. *Spine*. 2011;36:E441–6.
- Nakashima H, Yukawa Y, Ito K, Machino M, El Zahlawy H, Kato F. Posterior approach for cervical fracture-dislocations with traumatic disc herniation. *Eur Spine J*. 2011;20:387–94.
- van Middendorp JJ, Goss B, Urquhart S, Atresh S, Williams RP, Schuetz M. Diagnosis and prognosis of traumatic spinal cord injury. *Global Spine J*. 2011;1:1–8.
- Fehlings MG, Vaccaro A, Wilson JR, Singh A, W Cadotte D, Harrop JS, et al. Early versus delayed decompression for traumatic cervical spinal cord injury: results of the Surgical Timing in Acute Spinal Cord Injury Study (STASCIS). *PLoS ONE*. 2012;7:e32037.
- American Spinal Injury Association. Standards for neurological classification of spinal injured patients. Chicago: ASIA; 1982.
- Kirshblum SC, Burns SP, Biering-Sorensen F, Donovan W, Graves DE, Jha A, et al. International standards for neurological classification of spinal cord injury (revised 2011). *J Spinal Cord Med*. 2011;34:535–46.
- Kirshblum S, Waring W 3rd. Updates for the International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury. *Phys Med Rehabil Clin N Am*. 2014;25:505–17.
- International Standards for the Neurological Classification of Spinal Cord Injury Revised. Booklet. Atlanta: American Spinal Injury Association; 2011.
- Cohen ME, Ditunno JF, Jr, Donovan WH, Maynard FM, Jr, A test of the 1992 International Standards for Neurological and Functional Classification of Spinal Cord Injury. *Spinal Cord*. 1998;36:554–60.
- Jonsson M, Tollbäck A, Gonzales H, Borg J. Inter-rater reliability of the 1992 international standards for neurological and functional classification of incomplete spinal cord injury. *Spinal Cord*. 2000;38:675–9.
- Savic G, Bergström EM, Frankel HL, Jamous MA, Jones PW. Inter-rater reliability of motor and sensory examinations performed according to American Spinal Injury Association standards. *Spinal Cord*. 2007;45:444–51.
- Mulcahey MJ, Gaughan J, Betz RR, Vogel LC. Rater agreement on the ISCSI motor and sensory scores obtained before and after formal training in testing technique. *J Spinal Cord Med*. 2007;30 (Suppl 1):S146–9.
- Marino RJ, Jones L, Kirshblum S, Tal J, Dasgupta A. Reliability and repeatability of the motor and sensory examination of the international standards for neurological classification of spinal cord injury. *J Spinal Cord Med*. 2008;31:166–70.
- Chafetz RS, Vogel LC, Betz RR, Gaughan JP, Mulcahey MJ. International standards for neurological classification of spinal cord injury: training effect on accurate classification. *J Spinal Cord Med*. 2008;31:538–42.
- Mulcahey MJ, Gaughan J, Betz RR. Agreement of repeated motor and sensory scores at individual myotomes and dermatomes in young persons with complete spinal cord injury. *Spinal Cord*. 2009;47:56–61.
- Chafetz RS, Gaughan JP, Vogel LC, Betz R, Mulcahey MJ. The International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury: intra-rater agreement of total motor and sensory in the pediatric population. *J Spinal Cord Med*. 2009;32:157–61.
- Mulcahey MJ, Gaughan JP, Chafetz RS, Vogel LC, Samdani AF, Betz RR. Interrater reliability of the international standards for neurological classification of spinal cord injury in youths with chronic spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil*. 2011;92:1264–9.
- Schuld C, Wiese J, Franz S, Putz C, Stierle I, Smoor I, et al. Effect of formal training in scaling, scoring and classification of the International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury. *Spinal Cord*. 2013;51:282–8.



25. Liu N, Zhou MW, Krassioukov AV, Biering-Sørensen F, Training effectiveness when teaching the International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury (ISNCSCI) to medical students. *Spinal Cord*. 2013;51:768–71.
26. Hales M, Biros E, Reznik JE, Reliability and validity of the sensory component of the International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury (ISNCSCI): a systematic review. *Top Spinal Cord Inj Rehabil*. 2015;21:241–9.
27. Schuld C, Franz S, van Hedel HJ, Moosburger J, Maier D, Abel R, et al. International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury: classification skills of clinicians versus computational algorithms. *Spinal Cord*. 2015;53:324–31.
28. Yugué I, Okada S, Masuda M, Ueta T, Maeda T, Shiba K. "Knee-up test" for easy detection of postoperative motor deficits following spinal surgery. *Spine J*. 2016;16:1437–44.
29. Yugué I, Shiba K, Ueta T, Iwamoto A. New clinical evaluation for hysterical paralysis. *Spine*. 2004;29:1910–3.
30. Walden K, Bélanger LM, Biering-Sørensen F, Burns SP, Echeverria E, Kirshblum S, et al. Development and validation of a computerized algorithm for International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury (ISNCSCI). *Spinal Cord*. 2016;54:197–203.
31. *Statistic for dummies, Part V: Interpreting the correlation*, 2nd ed., 284 (Hoboken: Wiley Publishing Inc.)
32. Pouw MH, van Middendorp JJ, van Kampen A, Hirshfeld S, Veth RP, Curt A, et al. Diagnosis criteria of traumatic central cord syndrome. Part 1: a systematic review of clinical descriptors and scores. *Spinal Cord*. 2010;48:652–6.

# A Safe Surgical Procedure for Old Distractive Flexion Injuries of the Subaxial Cervical Spine

Osamu Kawano, Takeshi Maeda, Eiji Mori, Itaru Yague, Takayoshi Ueta, Keiichiro Shiba

Department of Orthopaedic Surgery, Spinal Injuries Center, Fukuoka, Japan

**Study Design:** Retrospective review.

**Purpose:** To describe a safe and effective surgical procedure for old distractive flexion (DF) injuries of the subaxial cervical spine.

**Overview of Literature:** Surgical treatment is required in old cases when a progression of the kyphotic deformity and/or persistent neck pain and/or the appearance of new neurological symptoms are observed. Since surgical treatment is more complicated and dangerous in old cases than in acute distractive-flexion cases, the indications for surgery and the selection of the surgical procedure must be carefully conducted.

**Methods:** To identify a safe and effective surgical procedure, the procedure selected, reason(s) for its selection, and associated neurological complications were investigated in 13 patients with old cervical DF injuries.

**Results:** No neurological complications were observed in nine patients (DF stage 2 or 3) who underwent the anterior-posterior-anterior (A-P-A) method and two patients (DF stage 1) who underwent the posterior method. It was initially planned that two patients (DF stage 2) who underwent the P-A method would be treated using the Posterior method alone; however, anterior discectomy was added to the procedure after the development of a severe spinal cord disorder.

**Conclusions:** The A-P-A method (anterior discectomy, posterior release and/or partial facetectomy, reduction and instrumentation, anterior bone grafting) is considered to be a suitable surgical procedure for old cervical DF injuries.

**Keywords:** Old cervical spine injuries; Distractive flexion injuries; Post-traumatic deformity; Circumferential release; Delayed presentation

## Introduction

Distractive flexion (DF) injuries [1] are often observed among patients with subaxial cervical spine injuries. The treatment generally selected for patients with such injuries is closed or open reduction and internal fixation with the purpose of spinal reconstruction, ensuring protection of the spinal cord. Reduction is usually performed

during the acute phase, and good alignment can usually be obtained. However, the surgical treatment of patients with old injuries, where the injury was overlooked at the initial assessment, can be complicated and dangerous in terms of spinal alignment and spinal cord safety [2,3]. Surgical treatment is required in patients with old injuries when there is progression of the kyphotic deformity and/or persistent neck pain and/or the appearance of new

Received Sep 21, 2016; Revised Nov 30, 2016; Accepted Dec 26, 2016

Corresponding author: Osamu Kawano

Department of Orthopaedic Surgery, Spinal Injuries Center, 550-4 Igisu, Iizuka, Fukuoka 820-8508, Japan

Tel: +81-948-24-7500, Fax: 81-948-29-1065, E-mail: orthotic@orange.ocn.ne.jp

ASJ

Copyright © 2017 by Korean Society of Spinal Surgery.  
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Asian Spine Journal is indexed/abstracted by MEDLINE, EMBASE, CINAHL, and SCOPUS.

neurological symptoms [4]. Because surgical treatment is more complicated and dangerous in patients with old injuries than in those with acute DF injuries, indications for surgery and the selection of an appropriate surgical procedure must be carefully conducted.

The purpose of this study was to clarify which surgical procedure was the safest and most effective for treating patients with old DF injuries of the subaxial cervical spine. We also investigated the reasons why this type of injury is sometimes overlooked at the initial assessment and discuss the initial diagnostic methods that can be used to avoid overlooking such injuries in the future.

## Materials and Methods

The medical records of all 1,208 patients with subaxial cervical spinal injuries who were surgically treated at our institute between 1990 and 2015 were retrospectively reviewed. Of these patients, only 13 were surgically treated and had old trauma injuries, which were all classified as DF injuries [1]. All patients were male and ranged in age from 23 years to 73 years. The mean duration of follow-up was 2.8 years (range, 2–5 years).

To investigate the reasons why DF injuries were overlooked at the initial assessment, eventually resulting in old fracture dislocation or post-traumatic kyphotic deformities requiring treatment, the following four items were obtained from the records of the 13 patients: (1) the affected

intervertebral segment, (2) the presence of neck pain and neurological symptoms at the initial assessment, (3) the use of radiography at the initial assessment and the detection of any abnormalities on available radiographs, and (4) the time between injury and surgery and the symptoms that led to the correct diagnosis. To investigate the suitability of the surgical procedure, the following items were investigated: (5) the surgical procedure and the reason(s) for its selection and (6) neurological and any other complications associated with surgery.

## Results

### 1. Affected segment of the cervical spine

Among the 13 patients, the C4/5 segment was affected in three, the C5/6 segment in four, and the C6/7 segment in six (Table 1). Many of the injuries affected the lower cervical spine, where injuries are prone to being overlooked during radiography because of overlap with the shoulder. One patient with a C4/5 injury was diagnosed with a DF injury at the initial assessment at another hospital; however, the patient was conservatively treated using a halo vest to obtain reduction and fibrous fusion. Another patient with a C4/5 injury had a complication of a dislocated larynx; treatment for this delayed the treatment for cervical spine dislocation. A third patient with a C4/5 injury had subluxation that spontaneously repositioned in the supine

Table 1. Case summary: primary assessment

Case	Level	Neck pain	Neurological symptom	Radiographic examination	Radiographic abnormality
1	C6/7	+	Arm pain	+	None
2	C4/5	-	-	+	+ (Halo vest)
3	C5/6	+	-	+	None
4	C5/6	+	-	-	-
5	C6/7	-	-	+	None
6	C5/6	+	-	-	-
7	C6/7	-	-	-	-
8	C6/7	+	-	+	None
9	C5/6	+	Arm pain	+	None
10	C6/7	+	Quadriplegia	+	None
11	C4/5	+	-	+	+ (Dislocation of the larynx)
12	C4/5	+	-	+	None
13	C6/7	+	-	+	CT: C7 fracture

CT, computed tomography.

position at the initial assessment.

2. Symptoms immediately following injury

Neck pain was observed at the initial assessment in 10 patients, with some type of neurological symptoms observed in three patients (two with arm pain and one with incomplete quadriplegia) (Table 1).

3. Radiography at the initial assessment

Radiography was not performed at the initial assessment in three patients (Table 1). Of the 10 patients examined by radiography, abnormal findings were observed in only two: the patient treated with a halo vest and the patient with the laryngeal injury, described above. A patient was diagnosed as having a C7 vertebral body fracture by a computed tomography (CT) scan. No abnormalities were observed in seven patients who were radiographically ex-

Table 2. Case summary: primary and new symptoms

Case	Primary symptoms (persistence or aggravation)	New symptoms
1	Neck pain	-
2	Neck pain (halo vest)	-
3	Neck pain	ROM limitation of the neck
4	Neck pain	Numbness of the arm
5	-	Neck and arm pain
6	-	Numbness of the fingers
7	-	Neck pain and palsy of U/E
8	Neck pain	Palsy of U/E
9	Neck pain and arm pain	-
10	-	Quadriplegia
11	Neck pain (dislocation of larynx case)	-
12	Neck pain	Lt. C5 palsy
13	Neck pain	Lt. arm pain

ROM, range of motion; U/E, upper extremity; Lt., left.

Table 3. Case summary: diagnosis, treatment, and complications

Case	Time between injury and surgery (mo)	Reduction prior to surgery	Surgical method	Neurological deterioration
1	1	+	P	-
2	5	-	A-P-A	-
3	4.5	-	A-P-A	-
4	1.5	+	P	-
5	1.5	-	A-P-A	-
6	3	-	A-P-A	-
7	3	-	A-P-A	-
8	2	-	P-A	AIS E→A→D
9	2	-	A-P-A	-
10	3.5	-	P-A	AIS D→A→C
11	1.5	-	A-P-A	-
12	1	-	A-P-A	-
13	2	-	A-P-A	-

P, posterior; A anterior; P-A, posterior-anterior; AIS, American Spinal Injury Association Impairment Scale.

amed. It was thought that these cases included patients in whom the subluxation became spontaneously repositioned or the affected segment was hidden by the shoulder and could not be diagnosed.

#### 4. Time between injury and surgery and key symptoms that led to the correct diagnosis

Table 2 lists the patients' primary and new symptoms, and Table 3 summarizes their diagnoses and treatment. The time interval between injury and surgery was one to five months (mean, 2.4 months). Nine patients were diagnosed on the basis of other radiological examinations investigating new symptoms, and two patients were diagnosed upon reinvestigation because of symptoms that had persisted since the initial assessment.

#### 5. Surgical procedures

The anterior-posterior-anterior (A-P-A) method (anterior discectomy, posterior release and/or partial facetectomy, reduction and instrumentation, and anterior bone grafting) (Fig. 1) was performed for nine patients (five at DF stage 2 and four at DF stage 3); the posterior-anterior (P-A) method (posterior release and/or partial facetectomy reduction and instrumentation, anterior discectomy, and bone grafting) was performed for two patients, both at DF stage 2; and the posterior (P) method (posterior release, reduction, and fusion) was performed for two patients, both at DF stage 1 (Table 3). Either spinous process wiring or the lateral mass screw and rod system was used for posterior instrumentation. Lateral flexion-extension radiography using X-ray images obtained prior to surgery

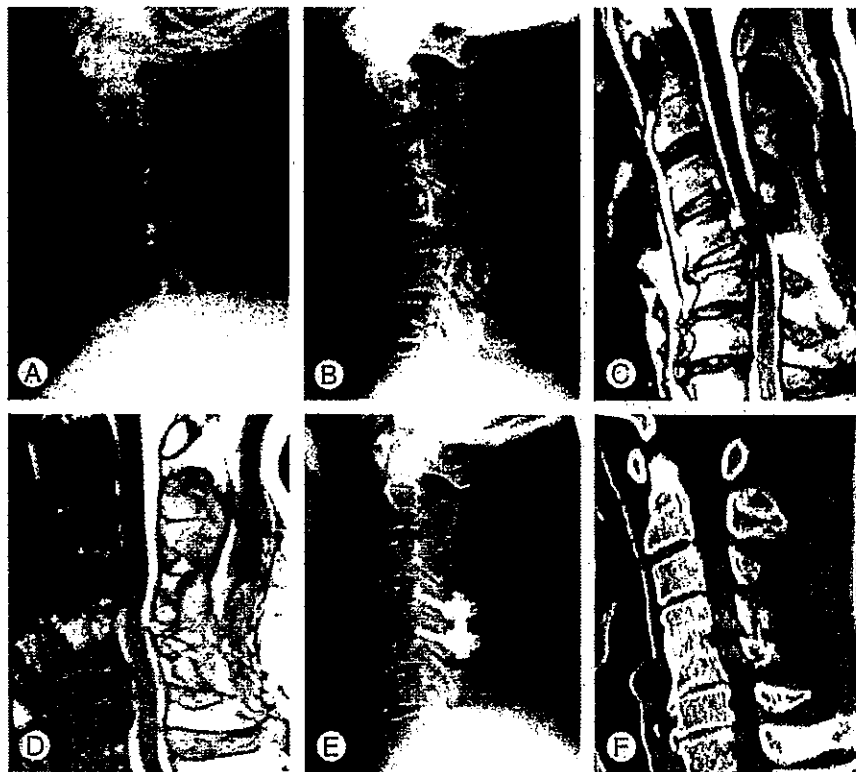


Fig. 1. (A) Lateral X-ray obtained immediately after the injury (supine position). The distractive flexion (DF) injury was not clear. (B) Lateral X-ray obtained after three weeks (sitting position). C4/5 subluxation due to the DF injury has been cleared. The patient's neck pain persisted and left C5 palsy subsequently developed. (C) Magnetic resonance imaging (MRI): T2 sagittal image. The C4/5 disc migrated to the spinal canal. (D) MRI: T2 sagittal image. Disc herniation was removed with sufficient spinal cord decompression. (E) Lateral X-ray obtained after surgical treatment with the anterior-posterior-anterior method using the lateral mass screw system and anterior iliac bone grafting. Good alignment was obtained. (F) Multi planar reconstruction-computed tomography (one year after surgery). Good bony fusion was obtained at the C4/5 intervertebral body.

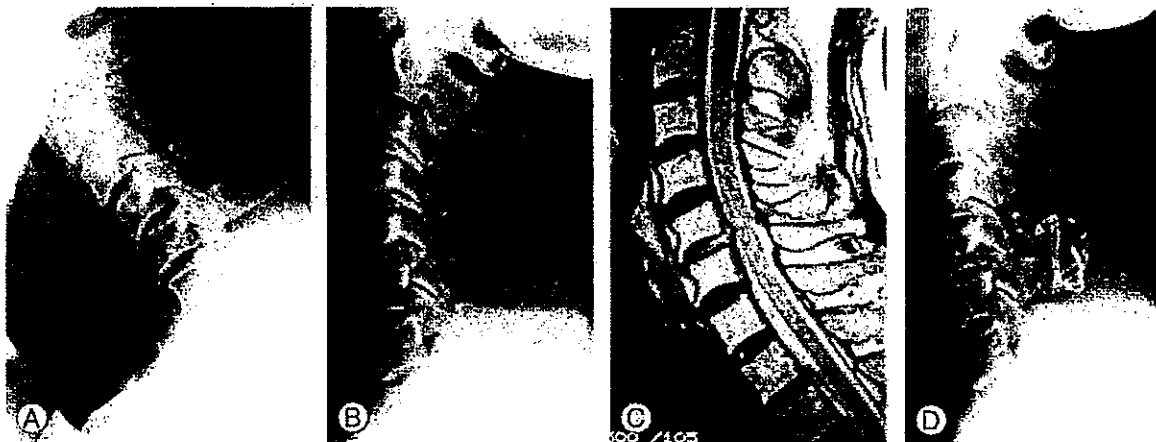


Fig. 2. (A) Lateral flexion X-ray: C5/6 distractive flexion injury, C5 subluxation (DFS1). (B) Lateral extension X-ray: a reduction position was obtained with no neurological deterioration. (C) Magnetic resonance imaging (MRI): T2 sagittal image. No neurological complications occurred despite C5/6 disc bulging. (D) Lateral X-ray obtained after surgical treatment: posterior reduction and fixation with spinous process wiring and bone grafting were performed.

confirmed that both patients treated with the P method alone had obtained a reduction. Radiography had been performed with the assistance of a spine surgeon while the patient was conscious, and the lack of any new neurological symptoms (spinal cord disorder or radiculopathy) was confirmed at that time (Fig. 2).

It was initially planned that the two patients who underwent the P-A method would be treated using the P method alone; however, these patients developed severe spinal cord disorders. Therefore, anterior decompression with discectomy and bone grafting were also performed. Neither patient achieved reduction, as indicated by lateral flexion-extension radiography using X-ray images prior to surgery.

#### 6. Outcomes and complications

There were no intraoperative or postoperative complications among the nine patients treated using the A-P-A method or the two patients treated using the P method. These patients obtained good bony fusion. As described above, the anterior method was added to the treatment regimen of two patients because of the development of severe spinal cord disorders. In both patients, aggravation of the spinal cord disorder was caused by increased spinal cord compression due to intervertebral disc herniation. In one of these patients, the neurological status deteriorated from American Spinal Injury Association Impairment Scale (AIS) E to AIS A immediately after posterior

surgery. However, one year after undergoing immediate anterior decompression surgery, the patient's neurological status had recovered to AIS D (Fig. 3). The other patient's neurological status was AIS D before surgery. Because neurological deterioration from AIS D to AIS A was noted immediately after posterior surgery, emergency anterior decompression surgery was subsequently performed. At the final follow-up visit two years after presentation, the patient's neurological status was found to have recovered to only AIS C.

The mean surgical time was 229.3 minutes (range, 160–325 minutes) for the A-P-A method, 64.0 minutes (range, 60–68 minutes) for the P method, and 201.5 minutes (range, 178–225 minutes) for the P-A method. The mean blood loss was 269.2 g (range, 89–538 g) for the A-P-A method, 99.5 g (range, 80–119 g) for the P method, and 152.5 g (range, 108–197 g) for the P-A method.

#### 7. Compliance with ethical standards

This article does not contain any studies with human participants or animals performed by any of the authors. Informed consent was obtained from all individual participants included in the study.

#### Discussion

Two problems can arise regarding old cervical DF injuries. The first relates to the initial assessment, and the second

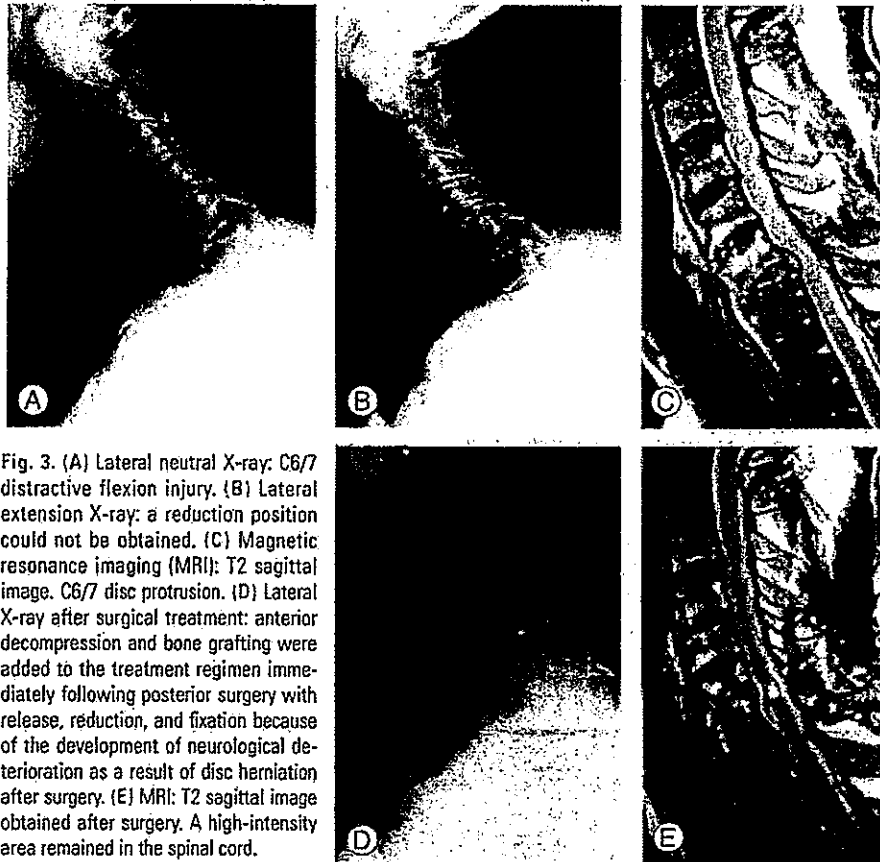


Fig. 3. (A) Lateral neutral X-ray: C6/7 distractive flexion injury. (B) Lateral extension X-ray: a reduction position could not be obtained. (C) Magnetic resonance imaging (MRI): T2 sagittal image. C6/7 disc protrusion. (D) Lateral X-ray after surgical treatment: anterior decompression and bone grafting were added to the treatment regimen immediately following posterior surgery with release, reduction, and fixation because of the development of neurological deterioration as a result of disc herniation after surgery. (E) MRI: T2 sagittal image obtained after surgery. A high-intensity area remained in the spinal cord.

relates to the surgical procedure. The initial diagnosis and treatment are performed as emergency medical services, where it is difficult to sufficiently evaluate the lower cervical spine because it is hidden by the shoulder [5,6]. CT scanning has become simplified in recent years, allowing the evaluation of bone fractures in the lower cervical spine. However, spontaneous reduction of anterior dislocation or subluxation without fractures in the lower cervical spine can sometimes occur in association with DF injuries, but these cannot be accurately evaluated using CT [7]. When a cervical spine injury is suspected based on the circumstances under which the injury occurred or because of the presence of symptoms such as severe neck pain, it is necessary to carefully apply lateral flexion-extension radiography using X-ray images, with the assistance of a spine surgeon, in addition to radiography and CT scans.

In patients in whom the affected segment of the cervical spine is hidden by the shoulder, it is worth evaluating

using swimmer's lateral view flexion-extension radiography or a CT scan in the flexion position. At our institute, lateral flexion-extension radiography or CT scans in the flexion position are performed during the initial assessment and the degree of instability due to soft tissue injury is evaluated [8]. These investigations should be carefully performed such that the patient's neurological symptoms are not aggravated. Recently, many surgeons have been using magnetic resonance imaging (MRI) to detect soft tissue injuries. The frequency of performing stress radiography is therefore expected to decrease in the future.

Our patients were surgically treated because of the persistence of neck and arm pain or the deterioration of neurological symptoms [4]. These symptoms were caused by progression of the kyphotic deformity and/or persistent instability of the cervical spine. Accordingly, when selecting the surgical procedure, the goal should be to achieve both good alignment and bony fusion to reconstruct the injured cervical spine and avoid worsening any neurologi-

cal symptoms.

Previous reports have discussed surgical procedures for old (or delayed presentation) DF injuries, with apparent advantages and disadvantages for each of these methods [2,9-11]. Bartels and Donk [2] concluded that the A-P-A method should be performed for patients with non-acute bilateral cervical facet dislocations. Hassan [10] reported a method involving five steps, with traction in between; however, the method is very complicated and leads to a long treatment course. Liu et al. [11] reported that anatomical reduction can be successfully achieved with the P-A method, primarily including posterior release, anterior release, reduction, intervertebral bone grafting, and anterior plating. However, we are concerned about the possibility of the failure of reduction via the anterior method and the low stability provided by anterior plating for circumferential soft tissue release to the cervical spine. Basu et al. [12] reported that preoperative traction is a safe and effective initial treatment for patients with neglected cervical facet dislocation. Traction may be effective for acute and subacute patients; however, the patients in that study were treated at 7 to 21 days (mean, 14 days) after injury, whereas our patients were treated more than one month after the injury. Goni et al. [13] suggested that there was no role for skull traction in neglected DF injuries to the cervical spine after a delay of more than three weeks. They recommended the Posterior method followed by the anterior method.

Based on our experience, surgery can be safely performed without worsening the patient's neurological symptoms using the A-P-A method (anterior discectomy, posterior release and/or partial facetectomy, reduction and instrumentation, and anterior bone grafting), and we believe that this method should therefore be recommended, even though it is rather complex to perform. Based on their experience, Liu et al. [11] recommended either the P-A method (posterior release, anterior release, reduction, intervertebral grafting, and anterior plating) or the P-A-P method (posterior release, anterior reduction and plate fixation, and posterior instrumentation). However, the Posterior method has advantages in terms of safety and strength for instrumentation during the reduction and for arranging spinal alignment. We therefore consider the A-P-A method to be more reasonable and to be able to provide better outcomes than the P-A and P-A-P methods. In any case, circumferential release, fixation, and bone grafting are likely to be necessary in patients with old DF injuries

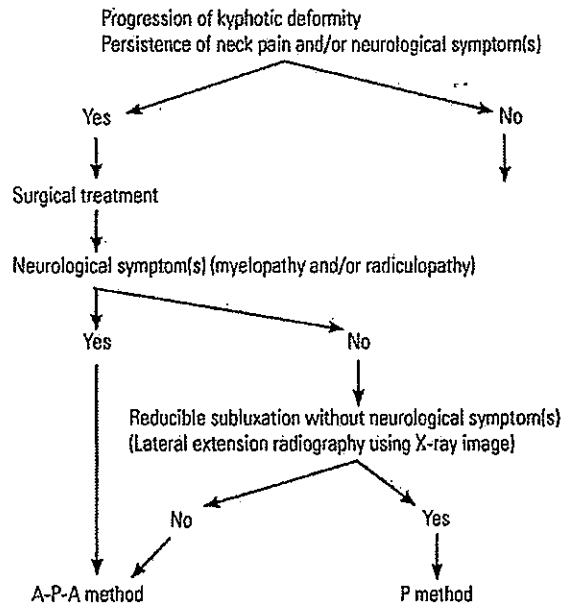


Fig. 4. Flowchart for selecting the surgical method for treating patients with old distractive flexion injuries. A-P-A, anterior-posterior-anterior; P, posterior.

associated with neurological symptoms and/or kyphotic deformities.

The P method can be applied in patients at DF stage 1; using this method, good reduction is achieved on lateral extension radiography using X-ray images prior to surgery, without worsening the patient's neurological symptoms or disc herniation on MRI (Fig. 4).

Our experience of patients with old cervical DF injuries in which one or more months have passed since the trauma has shown that forcible reduction via posterior release alone results in an excess load to the anterior element (intervertebral disc) during the process of scar formation, bringing the risk of deterioration of the patient's neurological symptoms due to herniation of the intervertebral discs [14]. The optimal type of surgical management should be determined not only by the label of "old" but also based on whether there is an irreducible condition due to scar formation resulting from the microinstability of an old DF injury. The A-P-A method is considered to be a reasonable, safe, and reliable procedure that can be applied for patients with old DF injuries of the subaxial cervical spine. The P method can be applied, such as in patients at DF stage 1, in whom good reduction is achieved on lateral extension radiography using X-ray images prior to sur-



gery, without a deterioration in the patient's neurological symptoms or disc herniation on MRI.

A limitation of the present study was the small population size (only 13 patients). However, this was inevitable, as this kind of lesion is infrequent. We nevertheless hope that our clinical experience can help spine surgeons safely treat patients with old DF injuries.

### Conclusions

Because surgical treatment is more complicated and dangerous for patients with old DF injuries than for those with acute DF injuries, the surgical method must be carefully considered. Circumferential release, fixation, and bone grafting of the spinal column are likely to be necessary in patients with old cervical DF injuries associated with neurological symptoms and/or kyphotic deformities. The A-P-A method (anterior discectomy, posterior release and/or partial facetectomy, reduction and instrumentation, and anterior bone grafting) is considered to be a reasonable, safe and effective surgical procedure for treating patients with old cervical DF injuries.

### Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

### References

- Allen BL Jr, Ferguson RL, Lehmann TR, O'Brien RP. A mechanistic classification of closed, indirect fractures and dislocations of the lower cervical spine. *Spine (Phila Pa 1976)* 1982;7:1-27.
- Bartels RH, Donk R. Delayed management of traumatic bilateral cervical facet dislocation: surgical strategy: report of three cases. *J Neurosurg* 2002;97:362-5.
- Kahn A, Leggon R, Lindsey RW. Cervical facet dislocation: management following delayed diagnosis. *Orthopedics* 1998;21:1089-91.
- Vaccaro AR, Silber JS. Post-traumatic spinal deformity. *Spine (Phila Pa 1976)* 2001;26:S111-8.
- Bohlman HH. Acute fractures and dislocations of the cervical spine: an analysis of three hundred hospitalized patients and review of the literature. *J Bone Joint Surg Am* 1979;61:1119-42.
- Kwon BK, Vaccaro AR, Grauer JN, Fisher CG, Dvorak ME. Subaxial cervical spine trauma. *J Am Acad Orthop Surg* 2006;14:78-89.
- Kolli S, Schreiber A, Harrop J, Jallo J. Traumatic cervical spinal cord injury with "negative" cervical spine CT scan. *BMJ Case Rep* 2010;2010:pil:bcr12.2009.2525.
- Maeda T, Ueta T, Mori E, et al. Soft-tissue damage and segmental instability in adult patients with cervical spinal cord injury without major bone injury. *Spine (Phila Pa 1976)* 2012;37:E1560-6.
- Allred CD, Sledge JB. Irreducible dislocations of the cervical spine with a prolapsed disc: preliminary results from a treatment technique. *Spine (Phila Pa 1976)* 2001;26:1927-30.
- Hassan MG. Treatment of old dislocations of the lower cervical spine. *Int Orthop* 2002;26:263-7.
- Liu P, Zhao J, Liu F, Liu M, Fan W. A novel operative approach for the treatment of old distractive flexion injuries of subaxial cervical spine. *Spine (Phila Pa 1976)* 2008;33:1459-64.
- Basu S, Malik FH, Ghosh JD, Tikoo A. Delayed presentation of cervical facet dislocations. *J Orthop Surg (Hong Kong)* 2011;19:331-5.
- Goni V, Gopinathan NR, Krishnan V, Kumar R, Kumar A. Management of neglected cervical spine dislocation: a study of six cases. *Chin J Traumatol* 2013;16:212-5.
- Sim E, Vaccaro AR, Berzlanovich A, Schwarz N, Sim B. In vitro genesis of subaxial cervical unilateral facet dislocations through sequential soft tissue ablation. *Spine (Phila Pa 1976)* 2001;26:1317-23.

REVIEW ARTICLE

## Physiological basis and practice of rehabilitation medicine in the management of individuals with spinal cord injury

Fumihiro Tajima,<sup>1</sup> Yoshi-ichiro Kamijo,<sup>1</sup> Tadashi Sumiya,<sup>1</sup> Yukihide Nishimura,<sup>1</sup> Hideki Arakawa,<sup>1</sup> Takeshi Nakamura<sup>2</sup> and Kazunari Furusawa<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Rehabilitation Medicine, School of Medicine, Wakayama Medical University, Wakayama, <sup>2</sup>Department of Rehabilitation Medicine, School of Medicine, Yokohama City University, Yokohama, <sup>3</sup>Department of Rehabilitation Medicine, Kibikogen Rehabilitation Center for Employment Injuries, Okayama, Japan

### Keywords

early rehabilitation; exercise physiology; orthostatic stress; paraplegia; para-sports; tetraplegia

### Correspondence

Fumihiro Tajima, MD, PhD, Department of Rehabilitation Medicine, Wakayama Medical University, School of Medicine, 811-1 Kimiidera, Wakayama city, Wakayama 641-8509, Japan.  
Tel: +81-73-446-6475  
Fax: +81-73-441-0664  
Email: fumi@wakayama-med.ac.jp

Received: 14 November 2016; accepted: 24 November 2016.

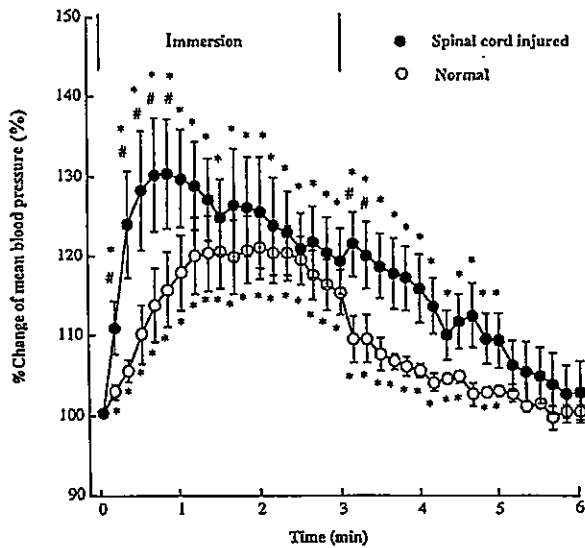
### Abstract

Rehabilitation medicine has made dramatic and successful progress in recent years, and neurologists and physiatrists have faced greater challenges in coordinating the clinical management of patients with spinal cord injuries (SCI). To ensure the best clinical outcome in SCI, physiatrist need to comprehend the dysfunctions of various body systems and the physiological aspects of the central nervous, musculoskeletal and autonomic nervous system, as well as the social support system. Furthermore, the rehabilitation team, including physiatrists, nurses, physical therapists, social workers and peer supporters, should provide surgical treatment, clinical management, drug therapy and optimal assistance for SCI. We believe that the first important task in the management of SCI patients is precise diagnosis of the site of the spinal cord lesion. This should be followed as soon as possible by spinal surgery to stabilize the vertebral column. The day after surgery, the patient should be handled by the rehabilitation team. Orthostatic loads should be applied, and exercise of the remaining muscles should begin in order to ensure early mobilization and satisfactory repair. Our group has carried out extensive research into the pathophysiology of the cardiovascular, respiratory, endocrine and autonomic nervous systems and exercise responses in SCI, and reported the benefits and improvements of early mobilization and exercise, and the safety of physical medicine and rehabilitation. The rehabilitation team should follow these individuals closely to provide long-term clinical care, and deal with social issues arising during the chronic phase. Participation in sports activities (para-sports) could work well to improve the physical condition of these individuals.

### Introduction

Rehabilitation medicine was established after World War II after political pressure to care for injured war veterans, with the aim of improving the daily living and quality of life of individuals with war-related disabilities.<sup>1</sup> Subsequently, the scope of rehabilitation medicine extended to otherwise healthy individuals who suffered traumatic spinal cord injury (SCI). During the past five decades, rehabilitation medicine has become a recognized clinical specialty in many countries, including the USA, UK, Australia

and Japan. Today, physiatrists (i.e. a physician who specializes in physical medicine and rehabilitation) face several challenges in the management of rehabilitation wards in addition to the coordination of clinical care of patients with SCI with physicians of other specialties. To achieve optimal clinical outcomes, physiatrists have to understand both the physiological/clinical/social issues of clinical care plus manage the entire rehabilitation team including nurses, physiotherapists, occupational therapists and case managers to deliver optimal medical and social support for SCI patients.<sup>1</sup>



**Figure 1** Percent change in mean blood pressure in control ( $n = 6$ ) and spinal cord injury subjects ( $n = 8$ ) during 3 min of cold pressor test (foot immersion in 0°C water) and 3 min of recovery. Data are mean  $\pm$  SEM. \* $P < 0.05$ , compared with the control period. # $P < 0.05$  control versus spinal cord injury subjects.

complications. In a study that compared patients with chronic thoracic SCI and healthy subjects, our group evaluated the vessel diameter, blood flow velocity, and flow volume in the left and right carotid arteries using high-resolution B-mode ultrasonography.<sup>7</sup> The results showed lower flow volume and flow velocity in the common carotid arteries of SCI than healthy subjects.

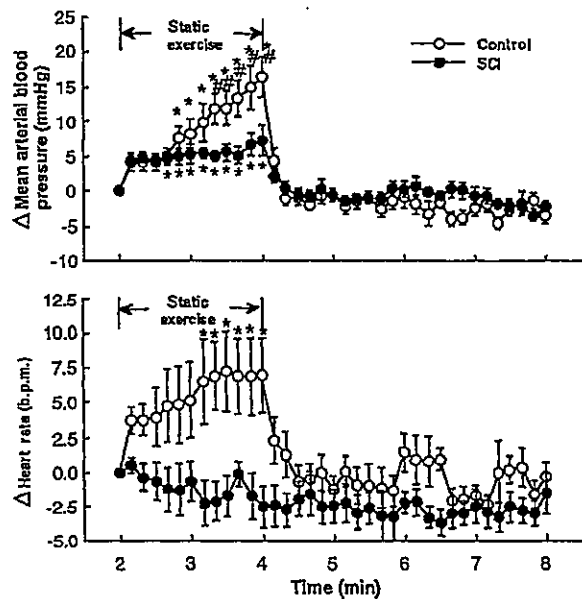
Isometric muscle contraction (static exercise) induces a major circulatory response, and increases in blood pressure and heart rate in normal subjects.<sup>8</sup> In this regard, some researchers raised concerns about excess pressure response during static exercise in SCI.<sup>4</sup> Our group investigated static exercise-induced pressor response and blood redistribution in non-exercising muscles during static exercise in SCI individuals and normal subjects.<sup>9</sup> In the study, we non-invasively measured the mean blood pressure, heart rate, cardiac output, total peripheral resistance, leg skin blood flow and leg muscle blood flow during 2 min of arm static exercise at 35% maximal voluntary contraction. All of the aforementioned parameters increased in both the SCI and normal subjects during maximal voluntary contraction, and the amounts of the increases were similar. The results also showed that sympathetic vasoconstriction in the resting leg area did not contribute to the pressor reflex during 35% maximal voluntary contraction of

arm static exercise. These findings suggest that static exercise in SCI was not worse compared with normal subjects.

In another study, we also compared the pressor response with static exercise in patients with cervical SCI (CSCI, spinal lesion at C6–C8 level) and normal subjects. Static exercise significantly increased blood pressure in both CSCI and normal subjects (Fig. 2).<sup>4</sup> In contrast, the same exercise increased the heart rate in normal subjects, but not in CSCI patients. The significant increase in blood pressure observed in the study indicates the presence of a peripheral control loop from muscle receptors, which evoked pressor response during static exercise in SCI subjects.

**Pressure sores in SCI**

Pressure ulcers remain a major problem in SCI, as the condition compromises quality of life for financial, physical and psychological reasons. Pressure ulcers occur almost exclusively over bony prominences that are subjected to excessive pressure for a length of time, and inevitably resolve once such pressure is avoided. Therefore, it is likely that ischemia as a result of supracapillary pressure is the main



**Figure 2** Changes ( $\Delta$ ) in (a) mean blood pressure and (b) heart rate in control ( $n = 7$ ) and spinal cord injury (SCI) subjects ( $n = 7$ ) during 2 min of static exercise (35% maximal voluntary contraction) and 4 min of recovery. Data are mean  $\pm$  SEM. \* $P < 0.05$ , compared with the pre-exercise period. # $P < 0.05$ , compared with SCI subjects.

century. Dr Nakamura provided clinical care for a large number of SCI patients, and his effort resulted in the stabilization of their medical conditions. However, most of these patients had to stay in hospitals for the remainder of their lives. Sir Goodman established the basis of rehabilitation medicine for SCI, and Dr Nakamura started his clinical training in rehabilitation medicine in 1960 with Dr Goodman at the Stoke Mandeville Hospital, Aylesbury, UK. After completing the training and returning to Japan, Dr Nakamura established Japan Sun Industries in 1965 at Oita Prefecture. The purpose of that project was to provide jobs for individuals with physical disabilities. However, the project offered only small handicraft jobs, with much disappointment to Dr Nakamura. Consequently, he popularized the slogan, "No charity, but a chance" for individuals with disabilities, and hired the firm to complete his dream. In 1972, Japan Sun Industries grew dramatically after establishing joint ventures with modern industrial enterprises: Sony, Honda, Mitsubishi, Denso and Omron. These large companies decided to join the project, and constructed subsidies at Oita. Before his death in 1984, Sun Industries had established several branches at Aichi, Kyoto and Ohga. Since then, the Japanese government legislated several regulations regarding employment of individuals with disabilities; persons with disabilities must form at least 1.8% of the work force in most Japanese corporations.

### Age-related problems in SCI

At the time of the establishment of Sun Industries, all employees were young individuals; and the majority were aged <30 years. When the Author started working with Sun Industries in 1984, aging of individuals with disabilities was not an issue and was never discussed, as most physicians believed that the majority of such individuals would die within 20 years of the injury. At present, however, most individuals with disabilities can live more than 30 years after the injury, particularly as they are provided with optimal medical support and look after their own condition.

Although individuals with chronic SCI suffer from many of the same medical disorders of their able-bodied counterparts, the clinical manifestations of these medical conditions might be atypical because of the complex physiological changes associated with spinal cord transection, as described previously.<sup>3,4,14</sup> However, there is very little information at present regarding age-related clinical problems in individuals with disabilities.

### Age-related changes in maximum oxygen consumption and sports activities in SCI

The first physiological age-related change is a decline in cardiovascular function and physical fitness. Sadly, this issue has rarely been investigated in SCI. Approximately 20 years ago, we measured the maximum oxygen consumption ( $VO_2\max$ ) of Japanese wheelchair sports athletes with SCI.<sup>15</sup> Later, we invited some of the individuals who participated in the aforementioned study to join a follow-up study, and examined age-related changes in  $VO_2\max$ , as well provided information on their daily physical activities and training that could have influenced physical capacities. Seven athletes with SCI who participated in the 4th, 5th and 6th Oita International Wheelchair Marathon Race were examined approximately 20 years ago, and re-examined for  $VO_2\max$  to determine the longitudinal changes in physical capacity. First, as expected, there was a large interindividual variability (Fig. 3);<sup>15</sup> the  $VO_2\max$  of participants A–F, who had continued participation in marathon racing, was almost maintained or increased over the 20-year period. Second, the  $VO_2\max$  markedly increased in participants B and F, who had undertaken regular exhaustive training. Third, in participant G, who had not carried out any sports activity during the same period, the  $VO_2\max$  was decreased by 53%. These results suggest that vigorous physical capacity reflected the sports activities in individuals with SCI.

In the past, it was thought that excessive exercise in SCI individuals could add insult to the neuromuscular and skeletal system as a result of altered physiology; however, our results showed that one of the highest load exercise, the wheelchair full marathon race, increased physical capacity. Therefore, we recommend the participation in sports activities to SCI individuals, and that the workload under medical observation can be more than moderate exercise.

### Mechanical ventilation for high-level CSCI

Most patients with high-level CSCI; that is, above C3, are dependent on long-term ventilatory support, and frequently suffer ventilatory insufficiency. Wicks and Menter reported that the level of SCI was a major determinant of ventilator independence; 85% of C1 patients, 72% of C2 and 40% of C3 were dependent on mechanical ventilation.<sup>16</sup> During the acute phase of CSCI, the mechanical ventilator with the cuffed tracheostomy tubes should be set at low

3. Tajima F, Sagawa S, Iwamoto J, et al. Cardiovascular, renal, and endocrine responses in male quadriplegics during headout water immersion. *Am J Physiol.* 1990; **258**: R1424–30.
4. Yamamoto M, Tajima F, Okawa H, Mizushima T, Umezu Y, Ogata H. Static exercise-induced increase in blood pressure in individuals with cervical spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil.* 1999; **80**: 288–93.
5. Barbaric ZL. Autonomic dysreflexia in patients with spinal cord lesions: complication of voiding cystourethrography and ileal loopography. *AJR Am J Roentgenol.* 1976; **127**: 293–5.
6. Mizushima T, Tajima F, Okawa H, Umezu Y, Furusawa K, Ogata H. Cardiovascular and endocrine responses during cold pressor test in subjects with cervical spinal cord injuries. *Arch Phys Med Rehabil.* 2003; **84**: 112–8.
7. Mizushima T, Tajima F, Aoki S, Yamamoto M, Ogata H. Carotid artery flow volume and velocity by duplex sonography in male subjects with chronic low thoracic and lumbar spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil.* 2005; **86**: 517–20.
8. Rowell LB. *Human Cardiovascular Control.* Oxford University Press: New York, NY;1993.
9. Sakamoto K, Nakamura T, Umemoto Y, Koike Y, Sasaki Y, Tajima F. Cardiovascular responses to arm static exercise in men with thoracic spinal cord lesions. *Eur J Appl Physiol.* 2012; **112**: 661–6.
10. The National Pressure Ulcer Advisory Panel. Pressure ulcers prevalence, cost and risk assessment: consensus development conference statement. *Decubitus.* 1989; **2**: 24–8.
11. Black J, Baharestani M, Cuddigan J, et al. National Pressure Ulcer Advisory Panel's updated pressure ulcer staging system. *Dermatol Nurs.* 2007; **19**: 343–9.
12. Maklebust J, Sieggreen M. *Pressure Ulcers: Guidelines for Prevention and Nursing Management.* 2nd edn. USA: Springhouse Pub Co; Springhouse, PA, 1996, 19–28.
13. Kanno N, Nakamura T, Yamanaka M, Kouda K, Nakamura T, Tajima F. Low-echoic lesions underneath the skin in subjects with spinal-cord injury. *Spinal Cord.* 2009; **47**: 225–9.
14. Mizushima T, Tajima F, Nakamura T, Yamamoto M, Lee KH, Ogata H. Muscle sympathetic nerve activity during cold pressor test in patients with cerebrovascular accidents. *Stroke.* 1998; **29**: 607–12.
15. Shiba S, Okawa H, Uenishi H, et al. Longitudinal changes in physical capacity over 20 years in athletes with spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil.* 2010; **91**: 1262–6.
16. Wicks AB, Menter RR. Long-term outlook in quadriplegic patients with initial ventilator dependency. *Chest.* 1986; **90**: 406–10.

(Regular Article)

## Assessment of chest movements in tetraplegic patients using a three-dimensional motion analysis system

Takefumi SUGIYAMA<sup>1)</sup>, Kozo HANAYAMA<sup>1)</sup>, Hiromichi METANI<sup>1)</sup>,  
 Sosuke SEKI<sup>1)</sup>, Akio TSUBAHARA<sup>1)</sup>, Kazunari FURUSAWA<sup>2)</sup>,  
 Masaki HYODO<sup>3)</sup>

1) Department of Rehabilitation Medicine, Kawasaki Medical School

2) Kibikogen Rehabilitation Center for Employment Injuries

3) Department of Rehabilitation Medicine, Isehara Kyodo Hospital

**ABSTRACT** We used optoelectronic plethysmography (OEP) to evaluate the effects of posture on chest and abdominal movements during respiration in patients with chronic-stage complete spinal cord injuries. The subjects were five cervical injury patients (male, C4-C8 injury, American Spinal Injury Association Impairment Scale grade A) and five healthy people matched to each of the cervical injury patients for age, height, and weight. The chest wall movement each of the subjects was recorded using OEP during six quiet breathing and three deep breathing periods in each of the following positions: supine, with the trunk elevated to 30°, and with the trunk elevated to 60°. Data on the chest wall volume and compartment volumes (upper thorax, lower thorax, abdomen) were then compared among the postures. During quiet breathing in the tetraplegic patients, the change in upper thorax volume was smaller at the end of inhalation than at the end of exhalation, presenting as a paradoxical breathing pattern. During deep breathing in the tetraplegic patients, abdominal volume accounted for a large portion of the change in total chest wall volume. Posture affected the recorded abdominal volume; volume was greatest in the supine position and decreased as the posture became more upright.

doi:10.11482/KMJ-E43(2)95 (Accepted on October 12, 2017)

Key words : Spinal cord injury, Optoelectronic plethysmography, Respiration, Paradoxical breathing, Three-dimensional motion analysis system

### INTRODUCTION

In 1963, Stone and Keltz<sup>1)</sup> published the first detailed report on the pulmonary functions of patients with cervical and thoracic spinal cord injuries. Since then, there have been reports

on how respiratory dysfunction due to spinal cord injury relates to injury level<sup>2-4)</sup> and lung complications<sup>5-7)</sup>. In patients with complete cervical spinal cord injuries, even if the diaphragm is spared, the main respiratory muscles (such as

Corresponding author

Takefumi Sugiyama

Department of Rehabilitation Medicine, Kawasaki Medical School, 577 Matsushima, Kurashiki, 701-0192, Japan

Phone : 81 86 462 1111

Fax : 81 86 464 1044

E-mail: t.sugiyama@med.kawasaki-m.ac.jp

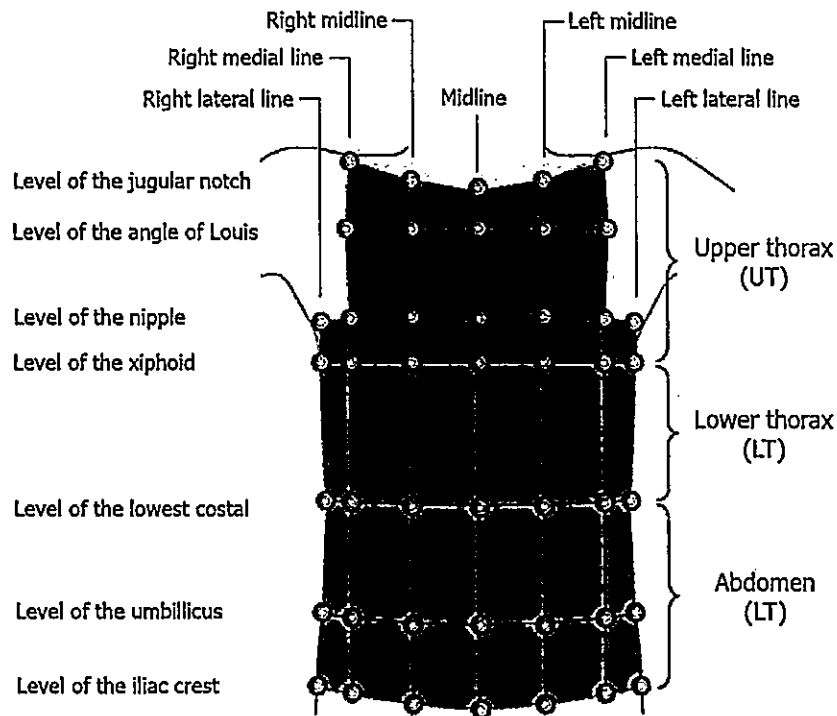


Fig. 1. Positions of the reflective markers on the chest wall.

would not be covered by the subject's body. The subject's shoulders were slightly abducted so the markers on the chest wall could be photographed using the cameras. The respiratory movements were recorded using an optoelectronic motion analysis system (VICON MX, Motion Capture Systems, Oxford, UK), with six infrared cameras placed around the subject. It was confirmed that all the markers could be photographed with the infrared cameras and checked on a PC so that the 3D coordinates would be obtained without loss.

Next, the subjects were given sufficient time to breathe naturally and instructed to perform a period of quiet breathing followed by a period of deep breathing, and to repeat this several times. For deep breathing, the procedure for measuring vital capacity with spirometry was as follows: the subjects were instructed to perform a series of at least three maximum inhalations and maximum exhalations. After data were recorded in the supine position, the trunk was raised to 30°, followed by

60° the same assessment being performed in each posture. The coordinate data were saved at 120-Hz sampling.

The suspension criteria were: (1) subject asked to stop, (2) subject complained of severe fatigue, and (3) an adverse event occurred.

#### *Estimation of chest wall volumes*

We placed 45 infrared reflective markers on the anterior and lateral surfaces of the chest and abdominal walls. Next, virtual markers were defined at points where lines dropped perpendicular to the bed from each marker on the chest wall intersected with a reference plane created by the four markers on the bed (Fig. 2). The volume of the total chest wall ( $V_{cw}$ ) and the volume of each compartment were calculated from the markers' 3D coordinates using the methods of Ferrigno and Carnevali *et al.*<sup>26)</sup> and Wang *et al.*<sup>27)</sup>.  $V_{cw}$  was divided into compartments as follows: volume of the upper thorax ( $V_{UT}$ ), volume of the lower thorax ( $V_{LT}$ ), and

Table 1. Characteristics of the tetraplegic patients and the control group

Study Group	Age (years)	Height (cm)	Weight (kg)	Neurological level
tetraplegics (n = 5)	42.0 ± 14.1	170.8 ± 5.2	61.8 ± 13.6	C4/C4/C5/C5/C8
control (n = 5)	44.0 ± 10.7	167.8 ± 1.9	68.1 ± 11.3	
p-Value	0.807	0.262	0.445	

All the presented values are means ± standard deviation. In the last line, the p-values of the comparison between tetraplegics and controls are shown. All the tetraplegic patients were classified as American Spinal Injury Association Impairment Scale (AIS) A. The sex of all the subjects in both groups was male.

five patients (age, 18–54 years; height, 164–178 cm; body weight, 47.3–81 kg; time from injury, 327–4,364 days) (Table. 1) and the control group of five healthy subjects (age, 29–55 years; height, 165–170 cm; weight, 53–75 kg) completed all the procedures. The final analysis was performed on all these subjects.

#### *Effects of posture on volume changes of the total chest wall during quiet breathing*

We compared volume changes of the total chest wall during quiet breathing [ $\Delta V_{CW}$  (QB)] at each posture between the control and tetraplegic groups (Fig. 3).

The mean  $\Delta V_{CW}$  (QB) in each posture differed significantly between the control and tetraplegic groups. Additionally,  $\Delta V_{CW}$  (QB) increased in the control group as the posture became more upright; however, the differences were not significant. In the tetraplegic group,  $\Delta V_{CW}$  (QB) was significantly greater at 30° than at 60°.

#### *Effects of posture on volume changes of the total chest wall during deep breathing*

The mean value of  $\Delta V_{CW}$  (DB) at each posture differed significantly between the control and tetraplegic groups. Significant changes in  $\Delta V_{CW}$  (DB) due to posture were not observed in the control group. In the tetraplegic group, however,  $\Delta V_{CW}$  (DB) tended to decrease as the posture became more upright and was significantly greater at 0° than at 60° (Fig. 4).

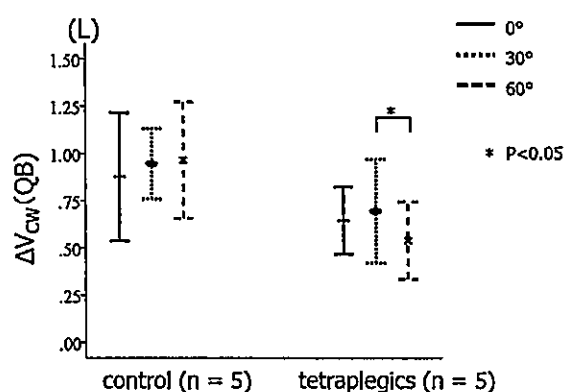


Fig. 3. Comparison of  $\Delta V_{CW}$  (QB) due to posture between the control and tetraplegic groups.

Each bar indicates the standard deviation, and the center of bar indicates the mean.  $\Delta V_{CW}$  (QB) expresses the change in chest wall volume during a period of quiet breathing that is equivalent to tidal volume by spirometry. The  $\Delta V_{CW}$  (QB) value tended to increase in the control group as the trunk was raised, but the differences were not significant. In the tetraplegic group,  $\Delta V_{CW}$  (QB) was significantly greater at 30° than at 60°. In the same posture,  $\Delta V_{CW}$  (QB) was significantly lower in the tetraplegic group than in the control group.

#### *Effects of posture on $\Delta V_{CW}$ (ERV)/ $\Delta V_{CW}$ (DB)*

We compared  $\Delta V_{CW}$  (ERV)/ $\Delta V_{CW}$  (DB) at each posture between the control and tetraplegic groups (Fig. 5). At the same postures,  $\Delta V_{CW}$  (ERV)/ $\Delta V_{CW}$  (DB) tended to be lower in the tetraplegic group than in the control group, however no significant differences were observed.  $\Delta V_{CW}$  (ERV)/ $\Delta V_{CW}$  (DB) tended to increase as the trunk was raised in both the control and tetraplegic groups, but the differences were not significant.



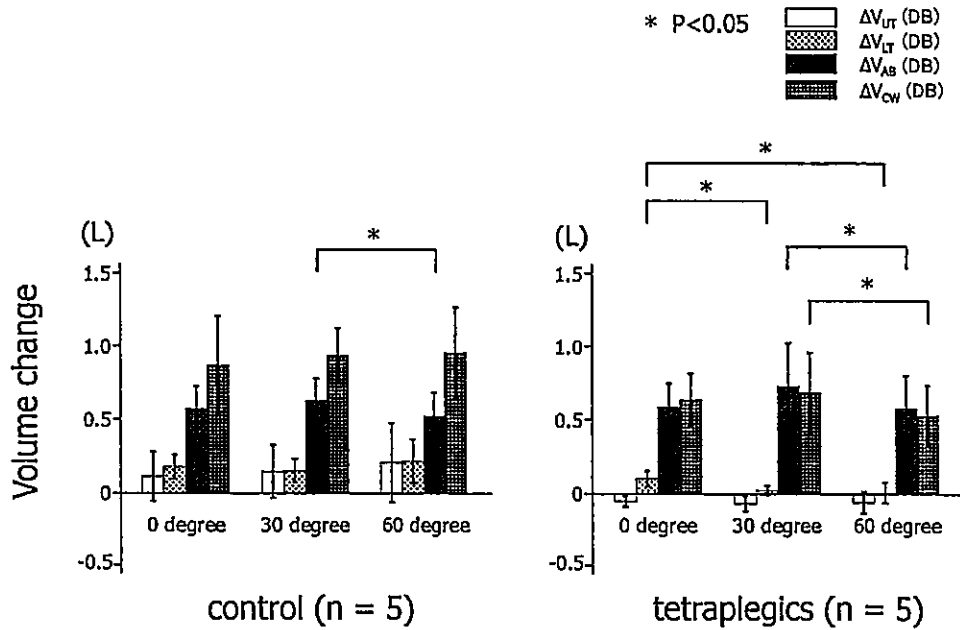


Fig. 6.  $\Delta V_{CW}$  (QB) and changes in each compartment volume.

Volume change of the upper thorax during quiet breathing [ $\Delta V_{UT}$  (QB)], volume change of the lower thorax during quiet breathing [ $\Delta V_{LT}$  (QB)], volume change of the abdomen during quiet breathing [ $\Delta V_{AB}$  (QB)], volume change of the total chest wall during quiet breathing [ $\Delta V_{CW}$  (QB)]. In the control group, a significant difference was only observed for  $\Delta V_{AB}$  (QB) between 30° and 60°. In the tetraplegic group,  $\Delta V_{LT}$  (QB) at 0° was significantly different than at 30° and 60°, and  $\Delta V_{AB}$  (QB) and  $\Delta V_{CW}$  (QB) were significantly greater at 30° than at 60°.

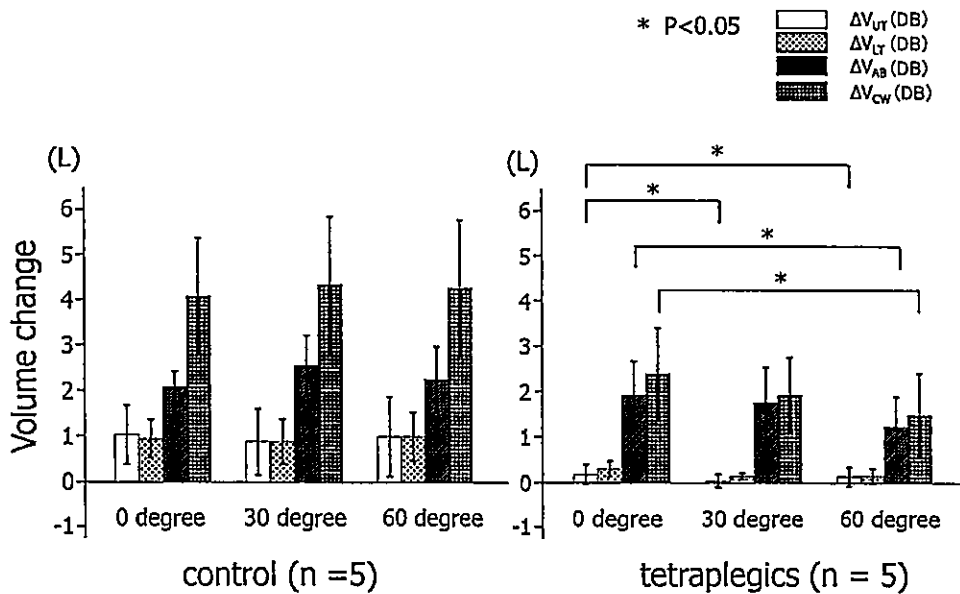


Fig. 7.  $\Delta V_{CW}$  (DB) and changes in each compartment volume.

Volume change of the upper thorax during deep breathing [ $\Delta V_{UT}$  (DB)], volume change of the lower thorax during deep breathing [ $\Delta V_{LT}$  (DB)], volume change of the abdomen during deep breathing [ $\Delta V_{AB}$  (DB)], volume change of the total chest wall during deep breathing [ $\Delta V_{CW}$  (DB)]. No significant differences in  $\Delta V_{CW}$  (DB) due to posture were observed in the control group. In the tetraplegic group,  $\Delta V_{UT}$  (DB) at 0° was significantly different than at 30° and at 60°;  $\Delta V_{AB}$  (DB) at 0° was significantly different than at 60°; and  $\Delta V_{CW}$  (DB) at 0° was significantly different than at 60°. Both  $\Delta V_{AB}$  (DB) and  $\Delta V_{CW}$  (DB) decreased as trunk angle increased.

expiratory reserve volume (ERV) and increased residual volume (RV) due to lower forced expiratory capacity.  $\Delta V_{CW} (ERV) / \Delta V_{CW} (DB)$  served as an indicator of the percentage that expiratory effort occupied among the factors causing decreased vital capacity. In the present study as well,  $\Delta V_{CW}$  was lower in spinal cord injury patients than in healthy people, and  $\Delta V_{CW} (ERV) / \Delta V_{CW} (DB)$  was also lower but not significant. It was expected that  $\Delta V_{CW} (ERV) / \Delta V_{CW}$  would decrease because abdominal and intercostal muscle paralysis in tetraplegics makes effort expiration difficult. However, because there is a considerable difference in the average value, it seems possible that the number of cases was insufficient, and further study is necessary.

#### *Effects of posture*

The results of the current study show that the volume change was larger both in the chest and abdomen in supine position. It seemed that, considering the possibility that the difference in posture affects the load amount in respiratory muscle strengthening and exercise loading, we should pay attention to exercise posture when we plan exercise protocol in such patients.

A previous study by Miccinilli *et al.*<sup>24)</sup> assessed subjects in two positions (supine and sitting in a wheelchair), whereas the present study evaluated three trunk angles (0°, 30°, 60°). Another study by Romei *et al.*<sup>30)</sup> found that when the trunk angle of healthy women was increased from supine to a reclining sitting position, the proportion of the abdomen that comprised the ventilatory volume of a breath decreased significantly, although no significant difference was observed in healthy men. They also found that respiration in the sitting position was influenced by the presence or absence of a backrest. In the present study, all assessments were performed using a backrest.

Past studies found that, in healthy people, chest movements comprise a relatively large percentage

during respiration in the standing and sitting positions compared with the supine position, while the abdomen makes up a relatively small percentage<sup>15, 16)</sup>.

In tetraplegic patients, volume change of the lower thorax during quiet breathing [ $\Delta V_{LT} (QB)$ ] decreased as the posture became upright, although  $\Delta V_{UT} (QB)$  was a negative value consistently and was not influenced by posture. Abdominal content creates pressure on the diaphragm in the supine position; however, in the upright position it does not, making the diaphragm work more efficiently. This phenomenon makes the rib cage be pulled up to the cranial direction, so it is considered that there is little movement in the supine position in tetraplegics.

During deep breathing, the accessory breathing muscles seemed to work because  $\Delta V_{UT} (DB)$  no longer had a negative value. In this situation, it seems that movement of the diaphragm directly affected  $\Delta V_{CW} (DB)$ .

A study by Agostoni *et al.*<sup>19)</sup> reported that abdominal compliance increased in the supine position even in healthy people. Goldman *et al.*<sup>29)</sup> reported that, in the supine position, abdominal wall compliance was 77% higher in spinal cord injury patients than in healthy people. These findings help substantiate the increase in volume change of the abdomen ( $\Delta V_{AB}$ ) that we observed in the supine position.

#### CONCLUSION

In the present study, we performed a motion analysis using OEP to evaluate the effects of posture on the breathing pattern of patients with complete spinal cord injuries. During quiet breathing, spinal cord injury patients exhibited paradoxical movements of the upper thorax and abdominal movements made up the greatest percentage of respiratory movement. During deep breathing, tetraplegic also exhibited a breathing pattern that

- patients. *Eur Respir J* 24: 453-460, 2004
- 21) Filippelli M, Duranti R, Gigliotti F, Bianchi R, Grazzini M, Stendardi L, Scano G: Overall contribution of chest wall hyperinflation to breathlessness in asthma. *Chest* 124: 2164-2170, 2003
  - 22) Lanini B, Bianchi R, Romagnoli I, Coli C, Binazzi B, Gigliotti F, Pizzi A, Grippo A, Scano G: Chest wall kinematics in patients with hemiplegia. *Am J Respir Crit Care Med* 168: 109-113, 2003
  - 23) Redlinger RE Jr, Kelly RE, Nuss D, Goretsky M, Kuhn MA, Sullivan K, Wootton AB, Ebel A, Obermeyer RJ: Regional chest wall motion dysfunction in patients with pectus excavatum demonstrated via optoelectronic plethysmography. *J Pediatr Surg* 46: 1172-1176, 2011
  - 24) Miccinilli S, Morrone M, Bastianini F, Molinari M, Scivoletto G, Silvestri S, Ranieri F, Sterzi S: Optoelectronic plethysmography to evaluate the effect of posture on breathing kinematics in spinal cord injury: a cross sectional study. *Eur J Phys Rehabil Med* 52: 36-47, 2016
  - 25) Bach JR, Mehta AD: Respiratory muscle aids to avert respiratory failure and tracheostomy: a new patient management paradigm. *Journal of Neurorestoratology* 2: 25-35, 2014
  - 26) Ferrigno G, Carnevali P: Principal component analysis of chest wall movement in selected pathologies. *Med Biol Eng Comput* 36: 445-451, 1998
  - 27) Wang HK, Lu TW, Liing RJ, Shih TTF, Chen SC, Lin KH: Relationship between chest wall motion and diaphragmatic excursion in healthy adults in supine position. *J Formos Med Assoc* 108: 577-586, 2009
  - 28) Romagnoli I, Gigliotti F, Lanini B, Bruni GI, Coli C, Binazzi B, Stendardi L, Scano G: Chest wall kinematics and breathlessness during unsupported arm exercise in COPD patients. *Respir Physiol Neurobiol* 178: 242-249, 2011
  - 29) Goldman JM, Rose LS, Morgan MD, Denison DM: Measurement of abdominal wall compliance in normal subjects and tetraplegic patients. *Thorax* 41: 513-518, 1986
  - 30) Romei M, Mauro A, Angelo MG, Turconi AC, Bresolin N, Pedotti A, Aliverti A: Effects of gender and posture on thoraco-abdominal kinematics during quiet breathing in healthy adults. *Respir Physiol Neurobiol* 172: 184-191, 2010

# Efficacy and safety of osteoporosis medications in a rat model of late-stage chronic kidney disease accompanied by secondary hyperparathyroidism and hyperphosphatemia

M. Ota<sup>1</sup> · M. Takahata<sup>1</sup> · T. Shimizu<sup>1</sup> · Y. Kanehira<sup>2</sup> · H. Kimura-Suda<sup>2</sup> · Y. Kameda<sup>1</sup> · H. Hamano<sup>1</sup> · S. Hiratsuka<sup>1</sup> · D. Sato<sup>1</sup> · N. Iwasaki<sup>1</sup>

Received: 15 June 2016 / Accepted: 28 November 2016 / Published online: 8 December 2016  
© International Osteoporosis Foundation and National Osteoporosis Foundation 2016

## Abstract

**Summary** This study showed that bisphosphonate was safe and effective for the treatment of bone disorders in stage 4 chronic kidney disease (CKD) rats. Intermittent teriparatide therapy showed an anabolic action on bone even under secondary hyperparathyroidism conditions without having an adverse effect on mineral metabolism in late-stage CKD.

**Introduction** Patients with late-stage CKD are at high risk for fragility fractures. However, there are no consensus on the efficacy and safety of osteoporosis medications for patients with late-stage CKD. In the present study, we aimed to examine the efficacy and safety of alendronate (ALN) and teriparatide (TPD) for treating bone disorder in late-stage CKD with pre-existing secondary hyperparathyroidism using a rat model of CKD.

**Methods** Male 10-week-old Sprague-Dawley rats were subjected to a 5/6 nephrectomy or sham surgery and randomized into the following four groups: sham, vehicle (saline subcutaneous (sc) daily), ALN (50 µg/kg sc daily), and TPD (40 µg/kg sc daily). Medications commenced at 24 weeks of age and continued for 4 weeks. Micro-computed tomography, histological analysis, infrared spectroscopic imaging, and serum assays were performed.

**Results** Nephrectomized rats developed hyperphosphatemia, secondary hyperparathyroidism (SHPT), and high creatinine, equivalent to CKD stage 4 in humans. ALN suppressed the

bone turnover and increased the degree of mineralization in cortical bone, resulting in an improvement in the mechanical properties. TPD further increased the bone turnover and significantly increased the degree of mineralization, micro-geometry, and bone volume, resulting in a significant improvement in the mechanical properties. Both ALN and TPD had no adverse effect on renal function and mineral metabolism.

**Conclusions** BP is safe and effective for the treatment of bone disorders in stage 4 CKD rats. Intermittent TPD therapy showed an anabolic action on bone even under SHPT conditions without having an adverse effect on mineral metabolism in late-stage CKD.

**Keywords** Bone quality · Chronic kidney disease · Hyperphosphatemia · Osteoporosis medication · Secondary hyperparathyroidism

## Introduction

Patients with chronic kidney disease (CKD) have a 2- to 14-fold higher fracture risk than that of the general population [1, 2], and the incidence of fracture increases as the CKD stage increases [3, 4]. Because patients with CKD experience fractures more frequently than expected from bone mineral density-based predictions [5–7], the increased fracture risk in patients with CKD is attributable to bone quality abnormalities in addition to bone loss. Previous studies demonstrated that the abnormal mineral metabolism caused by CKD, termed CKD-related mineral and bone disorder (CKD-MBD) [8], leads to secondary hyperparathyroidism (SHPT) with vitamin D insufficiency, increased fibroblast growth factor 23 (FGF-23), and hyperphosphatemia, resulting in abnormal bone turnover and mineralization.

✉ M. Takahata  
takamasa@med.hokudai.ac.jp

<sup>1</sup> Department of Orthopedic Surgery, Hokkaido University Graduate School of Medicine, Kita-15 Nishi-7, Kita-ku, Sapporo 060-8638, Japan

<sup>2</sup> Chitose Institute of Science and Technology, Chitose, Japan

A problem in the management of osteoporosis in CKD is that the information regarding the safety and efficacy of osteoporosis medications is lacking, especially for patients with CKD stages 4 and 5 (late stage) who are more susceptible than patients with CKD stages 1–3 to fragility fractures. Although anti-osteoporotic agents, such as bisphosphonate (BP) or teriparatide (TPD), reduce the fragility fracture risk among patients with mild CKD [9], the safety and efficacy of BP and TPD for late-stage CKD (stages 4 and 5) patients are not entirely clear because clinical trials have not been performed on patients with CKD stages 4 and 5 due to safety concerns. Therefore, the data obtained from an animal study examining the effects of these medications on CKD-MBD should provide important information that will help establish a treatment strategy for osteoporosis in patients with late-stage CKD.

In the current study, we investigated the efficacy and safety of BP and TPD for the treatment of hyperparathyroid bone disease in late-stage CKD using a rat 5/6 nephrectomy model and focused on how BP and TPD improve bone quality, including material properties and structural properties, and on whether intermittent TPD therapy shows an anabolic effect on bone under SHPT conditions.

## Materials and methods

### Animal model and experimental design

All animal studies were performed in accordance with protocols approved by the Hokkaido University Committee on Animal Resources. Male Sprague-Dawley rats ( $n = 24$ ; 8 weeks of age; CLEA Japan Inc., Tokyo, Japan) were maintained at 20 °C on a 12-h light/dark cycle with free access to water and rat food containing 0.98% calcium (Ca) and 0.80% inorganic phosphorus (IP) (Labo MR Stock; Nosan Corporation Life-Tech Department, Yokohama, Japan). Following a 1-week adaptation period to the new environment, all rats were stratified according to body weight and underwent a two-third left nephrectomy. Two weeks after the first surgery, a right nephrectomy or sham operation (sham) was performed [10]. After the two-stage 5/6 nephrectomy surgeries, all rats were randomized into three groups within each stratum according to the following treatments: vehicle control group ( $n = 6$ ), alendronate (ALN) group ( $n = 6$ ), and TPD group ( $n = 6$ ) (Fig. 1). ALN (LKT Laboratories Inc., MN) at a dosage of 50  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$  was administered to the animals by daily subcutaneous injection. Recombinant human TPD (Forteo®; Eli Lilly Ltd., Kobe, Japan) at a dosage of 20  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$  was administered to the animals by twice-daily subcutaneous injections (total 40  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$ ). These doses were selected based on previous studies

[11, 12]. Sham-operated controls also received vehicle treatment.

### Serum chemistry tests

Serum chemistry tests were performed using the blood collected at 24 weeks of age (the onset of treatment) and at 28 weeks of age (the time of sacrifice). Serum was separated from the blood taken from fasted animals via centrifugation (30 min, 3000 rpm) at 4 °C and stored in single-use aliquots at  $-80$  °C until analysis. Blood urea nitrogen (BUN), creatinine (CRE), and IP levels were measured using enzymatic methods. Ca levels were measured by the o-cresolphthalein complexone method. FGF-23 and intact-parathyroid hormone (i-PTH) levels were measured using an enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) kit.

### Biomechanical testing

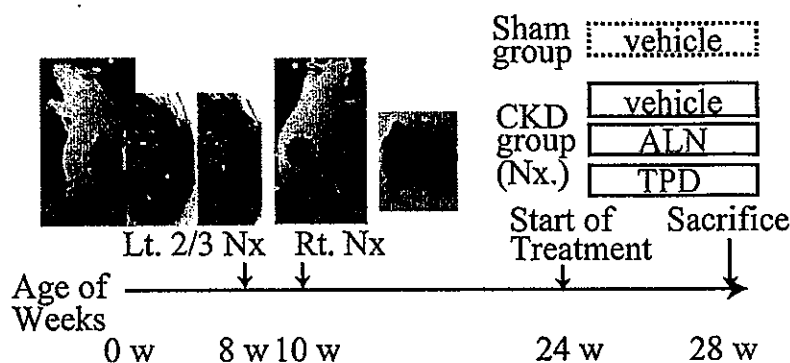
A three-point bending breakdown test was performed on the femoral shaft using a load mechanical universal testing machine (RTC-1310, AND Corp., Tokyo, Japan). The femur was placed with its anterior surface facing upward on the two lower support bars that were 14 mm apart. The load was applied at a rate of 0.2 mm/min until breakage. The ultimate load (N) and stiffness (N/mm) were calculated from the load-deformation curve. The load-displacement data were normalized to obtain intrinsic material properties, such as ultimate stress and elastic modulus, which are independent of cross-sectional size and shape [13, 14].

### Micro-computed tomography analysis

The right femur and fifth lumbar vertebral body were scanned individually by micro-computed tomography (CT) (R<sub>m</sub>CT2; Rigaku, Tokyo, Japan) at a 20- $\mu\text{m}$  isotropic resolution. For the femur, a 2000- $\mu\text{m}$  area of interest of 100 slices that encompassed the distal metaphysis, starting from 500- $\mu\text{m}$  proximal to the growth plate, was used to assess the bone morphology. For the lumbar vertebral body, an area from the upper growth plate to the lower growth plate was used to assess the trabecular bone morphology.

Trabecular bone parameters of the distal femur and vertebral body, including the volumetric bone mineral density (vBMD), trabecular bone volume fraction (BV/TV), trabecular number (TbN), and trabecular thickness (TbTh), were determined using TRI/3D-BON software (Ratoc System Engineering Co., Tokyo, Japan) in accordance with the guidelines described by Bouxsein et al. For cortical bone analysis of the distal femur, the cortical thickness (CtTh) and polar moment of inertia (J) were determined [15].

**Fig. 1** Experimental model and design. A schematic diagram of two-stage rat 5/6 nephrectomy (Nx) surgery and the treatment schedules for the osteoporosis medications are shown



### Histology and histomorphometry

For dynamic bone formation analysis, calcein (20 mg/kg; Dojindo Laboratories, Kumamoto, Japan) was injected subcutaneously at 10 and 3 days before the rat was killed. The femora were fixed in 70% ethanol and stained with Villanueva bone stain. These specimens were then subjected to undecalcified tissue processing. The specimens were embedded in methyl methacrylate (MMA; Wako Chemicals, Kanagawa, Japan) and sectioned at 5  $\mu\text{m}$  in the coronal plane. The distal femur was examined by fluorescence microscopy (BX53, Olympus, Tokyo, Japan) to evaluate the dynamic parameters of bone formation. Histomorphometric analysis was performed using ImageJ (NIH, Bethesda, MD). The measured parameters for trabecular bone of distal femur included total tissue volume (T. Ar), bone volume (B. Ar), osteoid volume (O. Ar), bone surface (B. Pm), osteoblast surface, eroded surface, single- and double-labeled surfaces (sL. Pm and dL. Pm, respectively), and inter-label width. These data were used to calculate the percent bone volume (B. Ar/T. Ar), percent osteoid volume (O. Ar/B. Ar), osteoblast number, osteoblast surface (Ob. Pm/B. Pm), eroded surface (E. Pm/B. Pm), mineral apposition rate (MAR), and bone formation rate (BFR/B. Pm) in accordance with the standard nomenclature proposed by Dempster et al. [16].

### Fourier transform infrared spectroscopic imaging

The femora were fixed in 70% ethanol and were then subjected to undecalcified tissue processing. The specimens were embedded in MMA (Wako Chemicals, Kanagawa, Japan) and sectioned at 3  $\mu\text{m}$  in the coronal plane. The sections were mounted on 1-mm thickness BaF<sub>2</sub> window (Pier Optics, Japan) to assess bone quality by Fourier transform infrared spectroscopic (FTIR) imaging. Spectra were acquired with a Spectrum Spotlight 400 Imaging System (PerkinElmer, MA, USA), consisting of a FTIR spectrometer (Spectrum 400) and infrared (IR) microscope with a linear array mercury-cadmium-telluride (MCT) focal plane array detector. FTIR images were collected in the transmission mode at a spectral

resolution of 4  $\text{cm}^{-1}$  and 1 scan/pixel in the frequency region from 4000 to 680  $\text{cm}^{-1}$  with an IR detector pixel size of 25  $\times$  25  $\mu\text{m}$ .

FTIR spectra were extracted from the FTIR images. After subtraction of a linear baseline and MMA spectrum, the FTIR spectrum was used to characterize the bone quality. A number of metrics related to bone biochemistry were calculated, including the mineral-to-matrix ratio [MTMR; PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (1183–985  $\text{cm}^{-1}$ )/amide I (1707–1599  $\text{cm}^{-1}$ )], which describes the degree of phosphate mineralization, and the carbonate-to-phosphate ratio [CTPR; CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> (895–849  $\text{cm}^{-1}$ )/PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (1183–985  $\text{cm}^{-1}$ )], which describes the amount of carbonate substitution in the apatite crystal lattice [17].

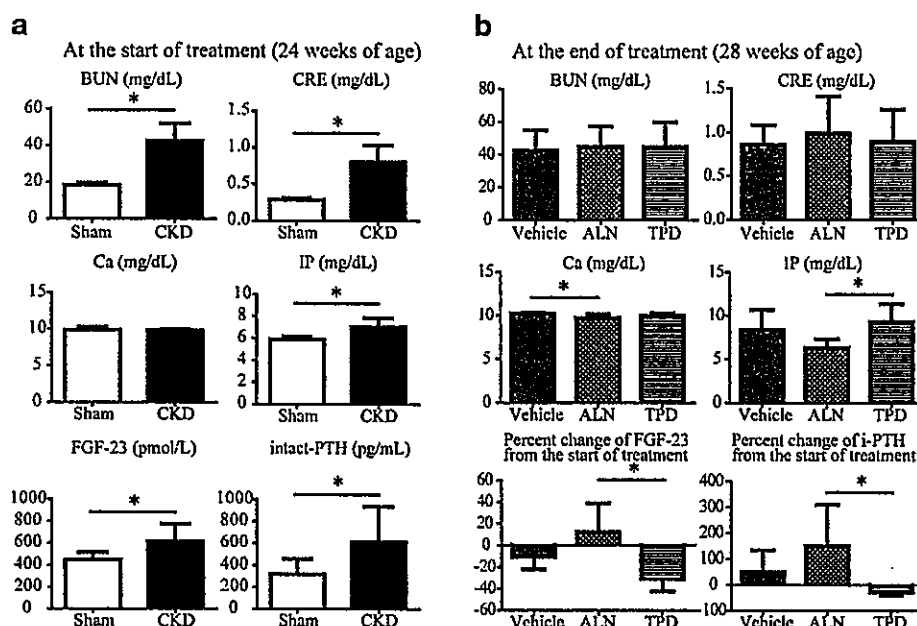
### Statistical analysis

Comparisons of data among the sham and CKD vehicle groups were performed using a Student's *t* test. Comparisons of data among the CKD groups were performed using a one-way analysis of variance and Newman-Keuls tests. A significance level of *P* less than 0.05 was used for all comparisons. Data are represented as the mean  $\pm$  standard deviation (SD). All statistical analyses were performed using GraphPad Prism version 5 (GraphPad Software, San Diego, CA, USA).

## Results

### Rat 5/6 nephrectomy led to CKD stage 4 in rats

When treatment commenced at 14 weeks after 5/6 nephrectomy, the serum BUN and CRE levels were significantly elevated in the CKD rats compared with the rats in the sham group. Although the serum Ca levels did not change in the CKD rats, the serum levels of IP, FGF-23, and i-PTH were significantly elevated among CKD rats compared with the rats in the sham group (Fig. 2a). These serologic data suggested that the 5/6 nephrectomized rats developed a condition equivalent to CKD stage 4 in humans in terms of renal function and mineral metabolism.



**Fig. 2** Effects of ALN and TPD treatments on renal function and mineral metabolism in 5/6 nephrectomized rats. **a** Serum chemistry tests for renal function (BUN, CRE) and mineral metabolism (Ca, IP, FGF-23, and i-PTH) 14 weeks after 5/6 nephrectomy showed that the nephrectomized rats developed CKD stage 4 at the start of treatment with the osteoporosis medication. **b** The effects of 4 weeks of treatment with ALN or TPD on renal function and mineral metabolism are shown. The ALN and TPD

treatments did not worsen renal function. The ALN treatment normalized hyperphosphatemia and increased the serum levels of FGF-23 and i-PTH, albeit not in a statistically significant manner. TPD treatment showed a tendency to increase the IP levels and decrease the serum levels of FGF-23 and i-PTH, albeit not in a statistically significant manner. Values shown are the mean  $\pm$  SD. \* $P < 0.05$

#### Effects of BP and TPD on renal function and mineral metabolism in rats with CKD stage 4

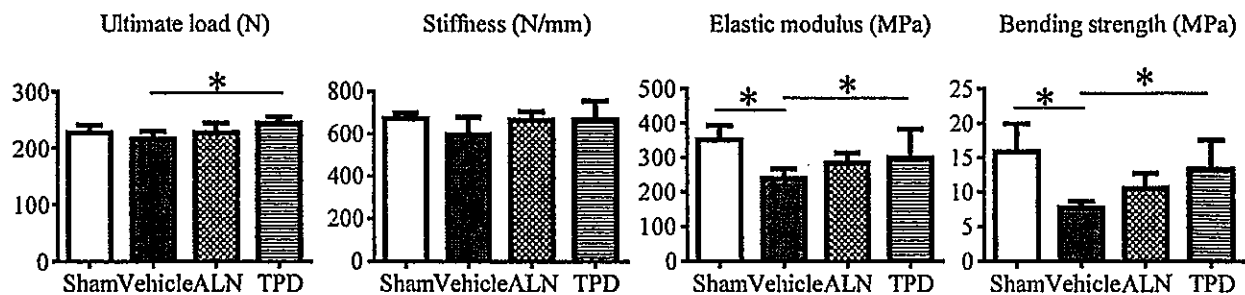
Serum chemistry tests were performed 4 weeks after treatment with ALN or TPD to assess the effect of these medications on renal function and mineral metabolism (Fig. 2b). Neither ALN nor TPD further elevated the serum levels of BUN and CRE in the CKD rats, indicating that 4 weeks of treatment with BP or TPD did not worsen renal function. Regarding the mineral metabolism, the rats in the ALN group had decreased serum levels of Ca and IP compared with those in the vehicle group. The decrease in IP levels in the ALN group was not significant; however, the serum levels of IP in the ALN group were equivalent to those of the rats in the sham group, indicating that ALN normalized the serum IP levels. TPD did not significantly change the serum levels of Ca and IP. The FGF-23 levels tended to be increased by ALN treatment but decreased by TPD therapy (mean change of FGF-23 4 weeks after the treatment from the baseline  $-10.4 \pm 10.6\%$  in the vehicle group,  $12.3 \pm 24.3\%$  in the ALN group, and  $-30.9 \pm 10.5\%$  in the TPD group). The i-PTH levels tended to increase in the ALN group but tended to decrease in the TPD group, albeit the changes were not statistically significant (mean change of i-PTH 4 weeks after the treatment from the baseline  $49.3 \pm 76.6\%$  in the vehicle group,  $150.2 \pm 145.6\%$  in the ALN group, and  $-28.6 \pm 10.9\%$  in the TPD group).

#### Effects of BP and TPD on biomechanical properties in rats with CKD stage 4

The biomechanical properties of the femoral shaft were evaluated by a three-point bending test (Fig. 3). The femora from the rats in the sham and vehicle groups did not exhibit any significant changes in ultimate load and in stiffness; in contrast, after the 5/6 nephrectomy, the intrinsic material properties of the femoral shaft deteriorated. Compared with the femora from the rats in the sham group, the femora from vehicle-treated CKD rats exhibited a significant decrease in elastic modulus and bending strength ( $P < 0.05$ ). Treatment of the CKD rats with ALN tended to restore the intrinsic material properties, as well as the ultimate load and stiffness, albeit the improvement was not statistically significant. TPD therapy significantly increased the ultimate load, elastic modulus, and bending strength compared with those of the vehicle-treated CKD rats.

#### Effects of BP and TPD on bone volume and micro-structural properties in rats with CKD stage 4

We next evaluated the changes in bone volume and micro-structure of the distal femur and of the fifth lumbar vertebral body (Fig. 4). Compared with the rats in the sham group, the nephrectomized rats had a statistically significant change in

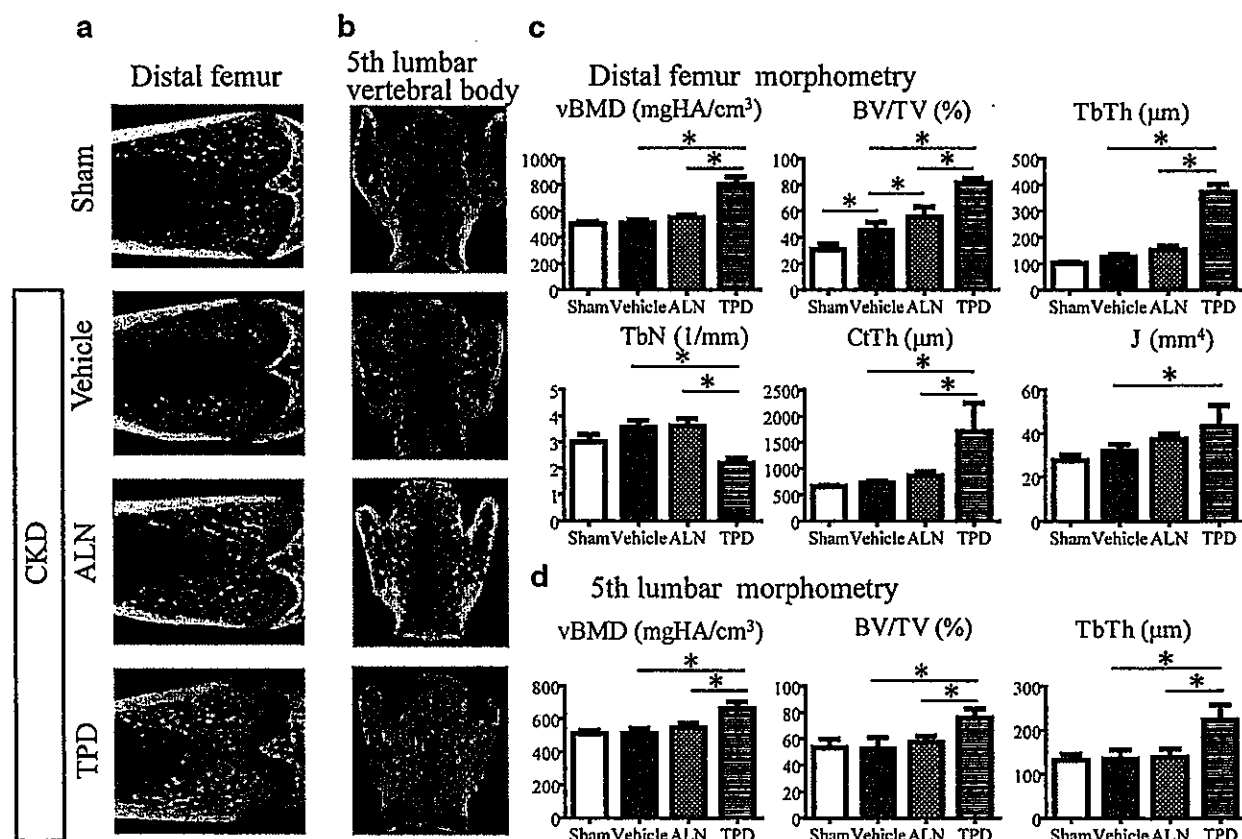


**Fig. 3** Effects of ALN and TPD treatments on the biomechanical properties of the femora in rats with CKD. Although nephrectomy did not have a significant negative impact on the ultimate load and stiffness, the intrinsic material properties, including elastic modulus and bending strength, worsened in the rats of the vehicle group compared with the rats

of the sham group. Although BP showed only a tendency to increase biomechanical parameters, TPD caused a significant increase in the biomechanical parameters of CKD rats. Values shown are the mean  $\pm$  SD. \* $P < 0.05$

the BV/TV in the distal femur; however, there were no changes in the BV/TV in the L5 vertebral body and the vBMD and structural parameters of the trabecular and cortical bones in both the distal femur and L5 vertebral body. Compared with the rats in the vehicle group, the rats in the ALN treatment

group had significantly higher BV/TV in the distal femur but did not have statistically significant changes in other bone volume and structural parameters. TPD treatment exerted a significant effect on the bone volume and structure in both the distal femur and L5 vertebral body. The rats in the TPD



**Fig. 4** Effects of ALN and TPD treatments on the bone morphology of the femora and fifth lumbar vertebral bodies in rats with CKD. **a** Representative coronal cross-sectional views of micro-CT images of the distal femora 4 weeks after the treatments. **b** Representative coronal cross-sectional views of micro-CT images of the fifth lumbar vertebral bodies 4 weeks after the treatments. **c, d** The quantitative micro-CT morphometrical data of the trabecular bone and cortical bone in the

distal femora and fifth lumbar vertebral bodies, respectively. The trabecular bone parameters included volumetric bone mineral density (vBMD), the trabecular bone volume fraction (BV/TV), trabecular number (TbN), and trabecular thickness (TbTh), and the cortical bone parameters included the cortical thickness (CtTh) and polar moment of inertia (J). Values shown are the mean  $\pm$  SD. \* $P < 0.05$



group had significantly higher bone density (vBMD), bone volume (BV/TV), trabecular structure (i.e., Tb. Th and Tb. N), and cortical bone structure (i.e., Ct. Th and J).

#### Effects of BP and TPD on bone metabolism in rats with CKD stage 4

To better understand the drug effects on bone metabolism in CKD rats, we performed dynamic bone histomorphometry using calcein-labeled undecalcified histological sections of the distal femur (Fig. 5). Compared with the sham rats, CKD rats did not have a significant change in B. Ar/T. Ar. ALN did not change the B. Ar/T. Ar in histology, whereas the rats in the TPD group had significantly increased B. Ar/T. Ar compared with that of the rats in the vehicle group. The osteoid, which is unmineralized bone matrix that becomes stained red-purple with Villanueva staining, was abundant in CKD rats in the vehicle group, suggesting high bone turnover in CKD rats. Although the rats in the TPD group did not have a significant change in O. Ar/B. Ar, the rats in the ALN group had significantly decreased O. Ar/B. Ar compared with the rats in the vehicle group. Analysis of bone formation and resorption parameters revealed that CKD tended to increase bone formation (i.e., Ob. Pm/B. Pm, MAR, and BFR/B. Pm) and significantly increased bone resorption (E. Pm/B. Pm) compared with the values in the sham group, indicating that CKD induces high bone turnover. Compared with the CKD rats in the vehicle group, the rats in the ALN group had significantly decreased bone formation (i.e., Ob. Pm/B. Pm, MAR, and BFR/B. Pm) and bone resorption (E. Pm/B. Pm). In contrast, the rats in the TPD group had further increased bone formation (i.e., Ob. Pm/B. Pm, MAR, and BFR/B. Pm) and decreased bone resorption (E. Pm/B. Pm) compared with those of the rats in the vehicle group.

#### Effects of BP and TPD on bone material properties in rats with CKD stage 4

To further investigate the drug effects on bone quality, we evaluated the material properties of bone using FTIR imaging (Fig. 6). CKD significantly decreased the MTMR of the center of the cortical bone in the distal femur, which indicates a reduction in the mineralization of cortical bone, and CKD decreased the CTPR of both the cortical and trabecular bone in the distal femur, which indicates the amount of carbonate substitution for phosphate or hydroxide in the mineral crystals. The decrease in the amount of carbonate substitution in the bone matrix indicates metabolic acidosis [18, 19]. The ALN treatment significantly increased the MTMR of the endosteal and periosteal regions of cortical bone. Compared with the rats in the vehicle group, the rats in the ALN group had a significantly increased CTPR of both trabecular and cortical bone, which indicates improvement of the metabolic acidosis in the rats treated with ALN. The TPD treatment significantly

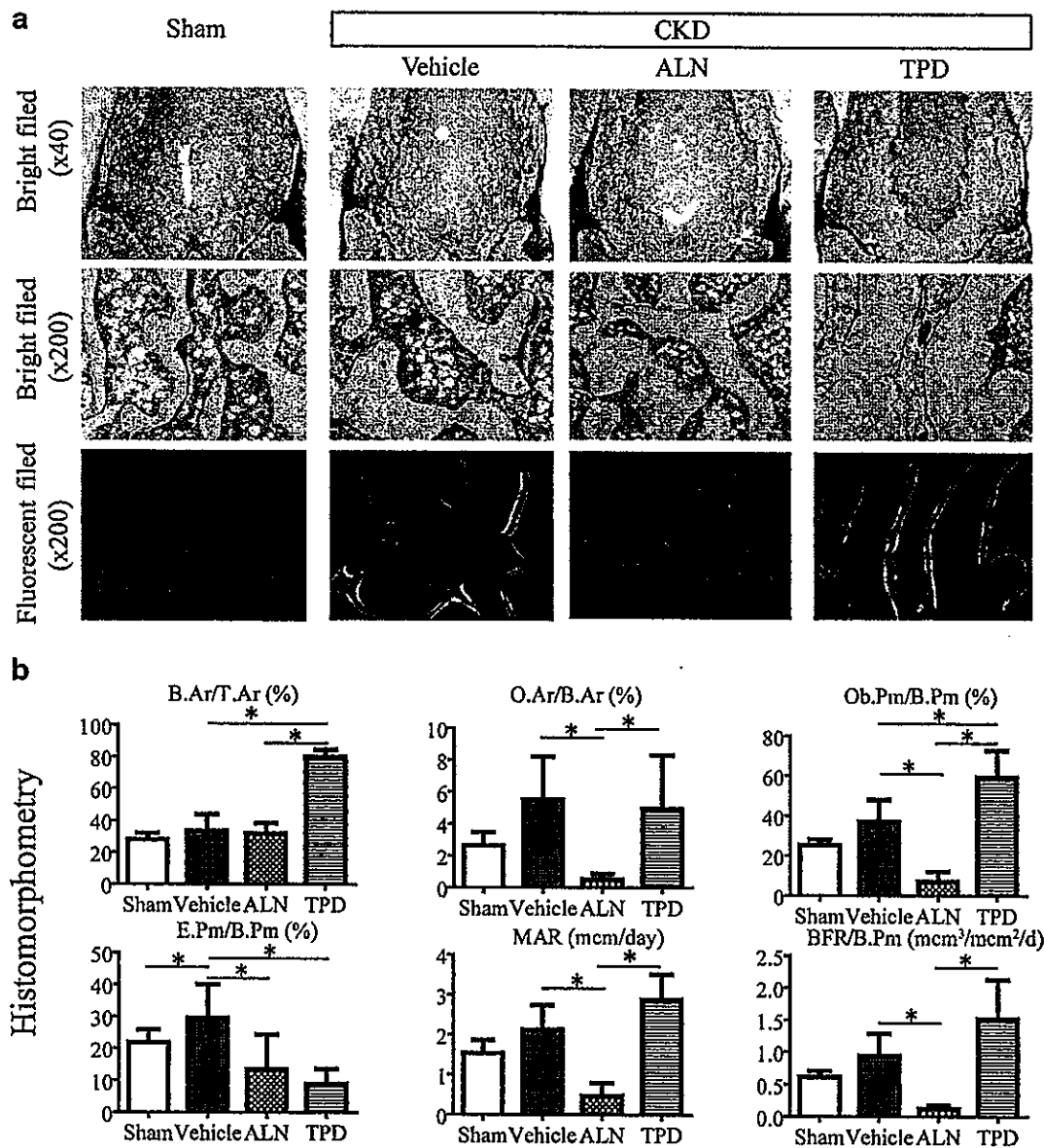
increased the MTMR of the cortical bone. Although the TPD treatment increased the CTPR of the trabecular bone, it did not have a significant effect on the CTPR of the cortical bone.

#### Discussion

The primary aim of this study was to elucidate the efficacy and safety of osteoporosis medications in late-stage CKD, which has not been tested in clinical trials due to safety concerns [20, 21]. In general, dietary phosphorus restriction and calcium binders are used as the initial treatments of CKD-MBD in stage 3 and 4 CKD, which were accompanied by moderately to severely reduced kidney function [22–24]. If these treatments fail to decrease i-PTH levels, active vitamin D analogs can be used as a second line of therapy [25]. Cinacalcet should be effective but is not approved for the treatment of SHPT in stage 3 and 4 CKD [26]. The problem is the uncertainty in the efficacy of these treatments for fracture prevention. In contrast, osteoporosis medications, including BP and TPD, are expected to be effective among patients with CKD stage 4 based on their proven effectiveness in fracture prevention for patients with CKD stages 1–3. If osteoporosis medications can safely be used by patients with late-stage CKD, then these should be effective treatment options, especially for the patients who have a high risk for fragility fracture due to coexisting illnesses, such as postmenopausal osteoporosis and glucocorticoid-induced osteoporosis [27].

Our data suggest that BP, which is a first-line therapy for most osteoporosis cases [28], is safe and effective for the treatment of osteoporosis in patients with CKD stage 4. Although 4 weeks of treatment with ALN only showed a tendency to have a positive impact on bone strength, FTIR imaging and micro-CT analyses demonstrated that ALN improved the material properties of cortical bone and increased the bone volume of the distal femur in the CKD rats. We believe that this improvement in bone quantity and quality reduces the fracture risk in patients with CKD and that longer-term treatment with BP may significantly increase bone strength. Regarding the safety of BP therapy, ALN did not worsen renal function to any extent. In contrast, hyperphosphatemia was improved by the ALN treatment. Furthermore, the rats in the ALN group had significantly increased CTPR of both trabecular and cortical bone compared with that of the rats in the vehicle group; thus, ALN might improve the metabolic acidosis in CKD. These results are consistent with the findings in some clinical studies showing that BP effectively reduces fracture risk without worsening renal function in patients with CKD stage 4 [29, 30].

A particularly important question addressed in this study is whether TPD therapy shows anabolic action on bone metabolism even under SHPT conditions. Our data demonstrated that intermittent TPD therapy did show an anabolic action



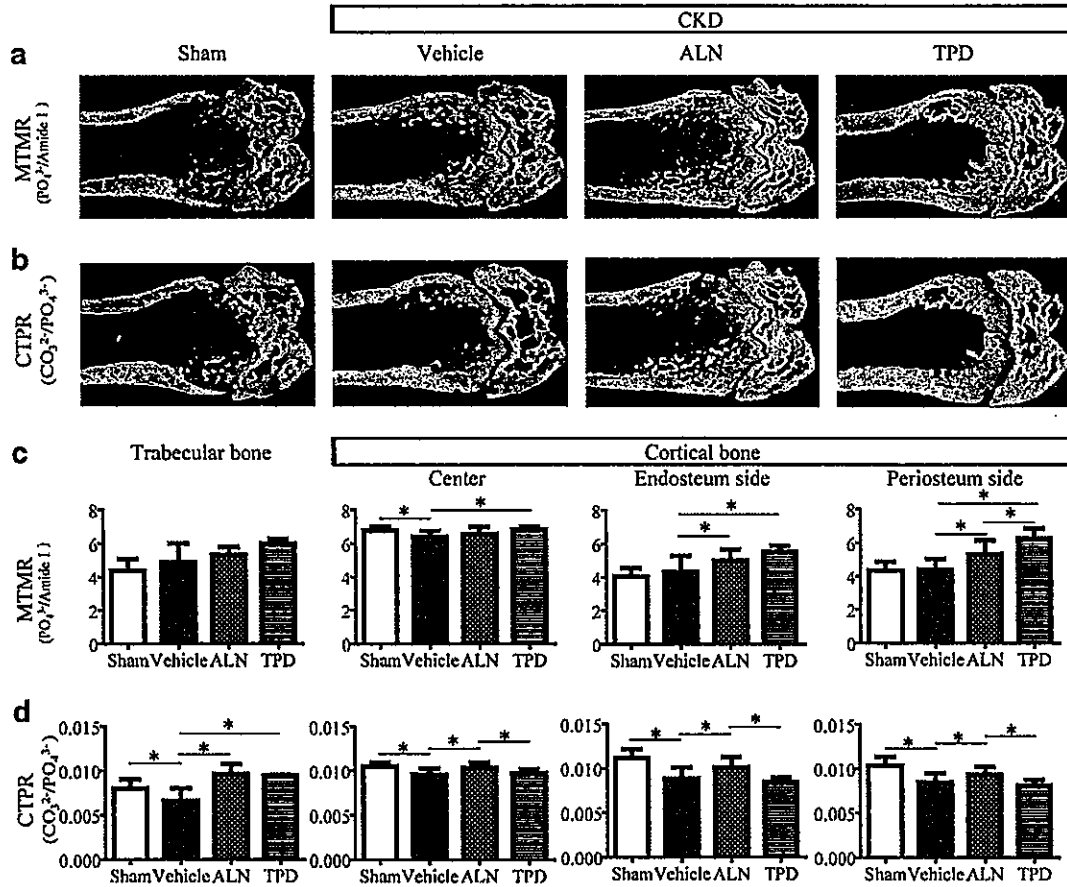
**Fig. 5** Effects of ALN and TPD treatments on the bone metabolism in rats with CKD. **a** Micro-graphs showing representative coronal sections of the distal femora with Villanueva bone staining. Representative bright field micro-photographs (*upper panels*) and higher-magnification views (*middle panels*) show that osteoids, which are shown in the red-purple region, are abundant in the rats of the vehicle group. Representative fluorescence micro-graphs (*lower panels*) of trabecular bone obtained at 5-day intervals for double labeling with calcein green show that the rats in

the vehicle group had more bone formation than the rats in the sham group; additionally, that TPD further promoted bone formation, while ALN attenuated it. **b** Bone histomorphometry data, including the bone volume of tissue volume (B. Ar/T. Ar), osteoid volume of bone volume (O. Ar/B. Ar), osteoblast surface (Ob. Pm/B. Pm), eroded surface (E. Pm/B. Pm), mineral apposition rate (MAR), and bone formation rate of bone surface (BFR/B. Pm), are shown. Bars = 100 μm. Values shown are the mean ± SD. \*P < 0.05

on systemic bone metabolism even under SHPT conditions. Previous clinical studies reported that TPD therapy was effective for postmenopausal osteoporosis among patients with mild or moderate renal impairment (CKD stages 1–3) [31]; however, this is the first study to provide clear evidence of the anabolic action of TPD therapy in CKD stage 4 and under SHPT conditions. In addition to the remarkable increases in bone volume, the degree of mineralization, and micro-

structure, the dynamic bone histomorphometric data support this idea.

Regarding the safety of TPD therapy, the serologic data obtained in this study showed that TPD therapy had neither a positive nor a negative effect on mineral metabolism as well as renal functions in late-stage CKD. Note, however, that 4 weeks of treatment with TPD tended to decrease serum FGF-23 levels, which may reduce phosphorus excretion, leading to



**Fig. 6** Effects of ALN and TPD treatments on the bone matrix quality in rats with CKD. Representative FTIR color mapping images of MTMR ( $\text{PO}_4^{3-}/\text{amide I}$ ) (a) and CTPR ( $\text{CO}_3^{2-}/\text{PO}_4^{3-}$ ) (b) of the distal femur in the sham, vehicle, ALN, and TPD groups 4 weeks after the treatments. Comparisons of the values of MTMR (c) and CTPR (d) at the distal metaphysis of the femur are shown. The values of MTMR and CTPR

were calculated separately according to the anatomical sites from the FTIR spectrum. The measured anatomical sites included the trabecular bone, center of the cortical bone, endosteal side of the cortical bone, and periosteal side of the cortical bone. Values shown are the mean  $\pm$  SD. \* $P < 0.05$

exacerbation of hyperphosphatemia. As for the response of FGF-23 production to intermittent TPD therapy, however, it is inconclusive whether TPD therapy decreases serum FGF-23 levels or not. Sridharan M. et al. showed that FGF-23 increased after intermittent TPD therapy in 27 elderly women with postmenopausal osteoporosis and that there was a positive correlation between changes in bone formation maker procollagen-type 1 N-terminal propeptide (P1NP) and FGF-23 [32]. In contrast, it was demonstrated that increased bone formation down-regulates FGF-23 possibly through dentin matrix protein 1 (DMP-1) using mouse models manifesting differing degrees of coupled and uncoupled bone turnover [33]. Furthermore, transgenic expression of DMP-1 was demonstrated to reduce FGF-23 levels and to rescue the DMP-1-null animals from hypophosphatemia, suggesting that DMP-1 is likely to act as an inhibitor of FGF-23 expression [34].

There are several limitations of this study. First, we could not monitor the serum levels of vitamin D (1,25-dihydroxyvitamin D) and sclerostin, which are associated with CKD-MBD,

because the amount of serum obtained from the living rats was limited. Serum concentrations of vitamin D should be decreased due to suppressed  $1\alpha$ -hydroxylase activity in a 5/6 nephrectomy rat model of CKD. However, changes in serum levels of vitamin D and sclerostin in response to BP or TPD treatment under the condition of CKD stages 4 and 5 should be investigated in the future study to better understand therapeutic action of these drugs on bone in patients with late-stage CKD. Second, the TPD dosage used in this study corresponds to tens or hundreds of multiples of the FDA-approved dosage of 20  $\mu\text{g}/\text{day}$  for the treatment of osteoporosis. We selected the dosage of 40- $\mu\text{g}/\text{kg}$  body weight TPD per day because a larger TPD dose is needed to observe significant effects in rodents, possibly due to the species difference. Finally, we did not evaluate the heterotopic mineralization of the vasculature although hyperphosphatemia induces it. It is of interest whether BP or TPD affects this mineralization. Therefore, how osteoporosis medications affect cardiovascular tissues in patients with CKD stage 4 must be evaluated in a future study.

It should be noted, however, that findings obtained in this study can be applicable to hyperparathyroid bone disease but not to other bone disorders induced by CKD-MBD. It is known that various pathologic patterns of bone remodeling are expressed in CKD including hyperparathyroid bone disease (high-turnover disease), adynamic bone disease and osteomalacia (low-turnover bone disease), and mixed uremic osteodystrophy (high-turnover plus a mineralization defect). However, a 5/6 nephrectomy rat model used in this study does simulate SHPT leading to high bone turnover condition but does not simulate other bone disorders induced by CKD-MBD. Very recently, Iwasaki et al. demonstrated that partial nephrectomy does not develop ABD but combination of partial nephrectomy and thyroparathyroidectomy induces ABD [35]. However, it is uncertain whether this model really mimics ABD or not because ABD is believed to be attributable to skeletal resistance to PTH and the pathogenesis of ABD has not been fully elucidated.

In conclusion, BP is safe and effective for the treatment of osteoporosis in stage 4 CKD rats. BP not only suppresses bone turnover but also may improve hyperphosphatemia and metabolic acidosis in CKD rats. Intermittent TPD therapy showed an anabolic action on bone even under SHPT conditions, thus resulting in remarkable increases in bone volume, the degree of calcification, and micro-geometry. Despite the excellent therapeutic efficacy of TPD in bone, the use of TPD in late-stage CKD might require careful attention because it possibly exacerbates hyperphosphatemia.

#### Compliance with ethical standards

Conflicts of interest None.

#### References

- Alem AM, Sherrard DJ, Gillen DL, Weiss NS, Beresford SA, Heckbert SR, Wong C, Stehman-Breen C (2000) Increased risk of hip fracture among patients with end-stage renal disease. *Kidney Int* 58:396–399
- Nickolas TL, McMahon DJ, Shane E (2006) Relationship between moderate to severe kidney disease and hip fracture in the United States. *J Am Soc Nephrol: JASN* 17:3223–3232
- Cummings SR, Black DM, Nevitt MC, Browner W, Cauley J, Ensrud K, Genant HK, Palermo L, Scott J, Vogt TM (1993) Bone density at various sites for prediction of hip fractures. The study of osteoporotic fractures research group. *Lancet* 341:72–75
- Naylor KL, McArthur E, Leslie WD et al (2014) The three-year incidence of fracture in chronic kidney disease. *Kidney Int* 86:810–818
- Jamal SA, Gilbert J, Gordon C, Bauer DC (2006) Cortical pQCT measures are associated with fractures in dialysis patients. *J Bone Miner Res: Off J Am Soc Bone Miner Res* 21:543–548
- Ensrud KE, Lui LY, Taylor BC, Ishani A, Shlipak MG, Stone KL, Cauley JA, Jamal SA, Antonucci DM, Cummings SR (2007) Renal function and risk of hip and vertebral fractures in older women. *Arch Intern Med* 167:133–139
- Nickolas TL, Leonard MB, Shane E (2008) Chronic kidney disease and bone fracture: a growing concern. *Kidney Int* 74:721–731
- Moe S, Drueke T, Cunningham J, Goodman W, Martin K, Olgaard K, Ott S, Sprague S, Lameire N, Eknoyan G (2006) Definition, evaluation, and classification of renal osteodystrophy: a position statement from kidney disease: improving global outcomes (KDIGO). *Kidney Int* 69:1945–1953
- Jiang Y, Zhao JJ, Midlak BH, Wang O, Genant HK, Eriksen EF (2003) Recombinant human parathyroid hormone (1-34) [teriparatide] improves both cortical and cancellous bone structure. *J Bone Miner Res: Off J Am Soc Bone Miner Res* 18:1932–1941
- Koyama H, Nishizawa Y, Inaba M, Hino M, Prah JM, DeLuca HF, Morii H (1994) Impaired homologous upregulation of vitamin D receptor in rats with chronic renal failure. *Am J Phys* 266:F706–F712
- Seedor JG, Quartuccio HA, Thompson DD (1991) The bisphosphonate alendronate (MK-217) inhibits bone loss due to ovariectomy in rats. *J Bone Miner Res: Off J Am Soc Bone Miner Res* 6:339–346
- Xu J, Rong H, Ji H, Wang D, Wang J, Zhang W, Zhang Y (2013) Effects of different dosages of parathyroid hormone-related protein 1-34 on the bone metabolism of the ovariectomized rat model of osteoporosis. *Calcif Tissue Int* 93:276–287
- Komatsubara S, Mori S, Mashiba T, Nonaka K, Seki A, Akiyama T, Miyamoto K, Cao Y, Manabe T, Norimatsu H (2005) Human parathyroid hormone (1-34) accelerates the fracture healing process of woven to lamellar bone replacement and new cortical shell formation in rat femora. *Bone* 36:678–687
- Shimizu T, Takahata M, Kameda Y, Hamano H, Ito T, Kimura-Suda H, Todoh M, Tadano S, Iwasaki N (2014) Vitamin K-dependent carboxylation of osteocalcin affects the efficacy of teriparatide (PTH(1-34)) for skeletal repair. *Bone* 64:95–101
- Bouxein ML, Boyd SK, Christiansen BA, Guldberg RE, Jepsen KJ, Muller R (2010) Guidelines for assessment of bone microstructure in rodents using micro-computed tomography. *J Bone Miner Res: Off J Am Soc Bone Miner Res* 25:1468–1486
- Dempster DW, Compston JE, Drezner MK, Glorieux FH, Kanis JA, Malluche H, Meunier PJ, Ott SM, Recker RR, Parfitt AM (2013) Standardized nomenclature, symbols, and units for bone histomorphometry: a 2012 update of the report of the ASBMR histomorphometry nomenclature committee. *J Bone Miner Res: Off J Am Soc Bone Miner Res* 28:2–17
- Boskey A, Pleshko Camacho N (2007) FT-IR imaging of native and tissue-engineered bone and cartilage. *Biomaterials* 28:2465–2478
- Green J, Klecman CR (1991) Role of bone in regulation of systemic acid-base balance. *Kidney Int* 39:9–26
- Yerramshetty JS, Lind C, Akkus O (2006) The compositional and physicochemical homogeneity of male femoral cortex increases after the sixth decade. *Bone* 39:1236–1243
- Miller PD (2009) Diagnosis and treatment of osteoporosis in chronic renal disease. *Semin Nephrol* 29:144–155
- Gordon PL, Frassetto LA (2010) Management of osteoporosis in CKD stages 3 to 5. *Am J Kidney Dis: Off J Natl Kidney Found* 55:941–956
- Svara F (2009) Chronic kidney disease-mineral and bone disorder (CKD-MBD): a new term for a complex approach. *J Renal Care* 35(Suppl 1):3–6
- (2009) KDIGO clinical practice guideline for the diagnosis, evaluation, prevention, and treatment of Chronic Kidney Disease-Mineral and Bone Disorder (CKD-MBD). *Kidney international Supplement* S1–130
- Ketteler M (2011) Phosphate metabolism in CKD stages 3-5: dietary and pharmacological control. *Int J Nephrol* 2011:970245
- Melamed ML, Thadhani RI (2012) Vitamin D therapy in chronic kidney disease and end stage renal disease. *Clin J Am Soc Nephrol: CJASN* 7:358–365

26. Bolasco P (2009) Treatment options of secondary hyperparathyroidism (SHPT) in patients with chronic kidney disease stages 3 and 4: an historic review. *Clin Cases Miner Bone Metab : Off J Ital Soc Osteoporos, Miner Metabol, Skelet Dis* 6:210–219
27. Miller PD (2014) Chronic kidney disease and the skeleton. *Bone Res* 2:14044
28. Favus MJ (2010) Bisphosphonates for osteoporosis. *N Engl J Med* 363:2027–2035
29. Miller PD, Roux C, Boonen S, Barton IP, Dunlap LE, Burgio DE (2005) Safety and efficacy of risedronate in patients with age-related reduced renal function as estimated by the Cockcroft and gault method: a pooled analysis of nine clinical trials. *J Bone Miner Res : Off J Am Soc Bone Miner Res* 20:2105–2115
30. Jamal SA, Bauer DC, Ensrud KE, Cauley JA, Hochberg M, Ishani A, Cummings SR (2007) Alendronate treatment in women with normal to severely impaired renal function: an analysis of the fracture intervention trial. *J Bone Miner Res : Off J Am Soc Bone Miner Res* 22:503–508
31. Miller PD, Schwartz EN, Chen P, Misurski DA, Krege JH (2007) Teriparatide in postmenopausal women with osteoporosis and mild or moderate renal impairment. *Osteoporos Int : J Established Result Cooperation Between Eur Found Osteoporos Natl Osteoporos Found USA* 18:59–68
32. Sridharan M, Cheung J, Moore AE, Frost ML, Fraser WD, Fogelman I, Hampson G (2010) Circulating fibroblast growth factor-23 increases following intermittent parathyroid hormone (1-34) in postmenopausal osteoporosis: association with biomarker of bone formation. *Calcif Tissue Int* 87:398–405
33. Samadfam R, Richard C, Nguyen-Yamamoto L, Bolivar I, Goltzman D (2009) Bone formation regulates circulating concentrations of fibroblast growth factor 23. *Endocrinology* 150:4835–4845
34. Lu Y, Qin C, Xie Y, Bonewald LF, Feng JQ (2009) Studies of the DMP1 57-kDa functional domain both in vivo and in vitro. *Cells Tissues Organs* 189:175–185
35. Iwasaki-Ishizuka Y, Yamato H, Nii-Kono T, Kurokawa K, Fukagawa M (2005) Downregulation of parathyroid hormone receptor gene expression and osteoblastic dysfunction associated with skeletal resistance to parathyroid hormone in a rat model of renal failure with low turnover bone. *Nephrol, Dial, Transplant : Off Publ Eur Dial Transplant Assoc – Eur Renal Assoc* 20:1904–1911

## Osseointegration improves bone–implant interface of pedicle screws in the growing spine: a biomechanical and histological study using an in vivo immature porcine model

Kanako Shiba<sup>1</sup> · Hiroshi Taneichi<sup>1</sup> · Takashi Namikawa<sup>1</sup> · Satoshi Inami<sup>1</sup> · Daisaku Takeuchi<sup>1</sup> · Yutaka Nohara<sup>1</sup>

Received: 28 September 2016/Revised: 5 February 2017/Accepted: 22 March 2017/Published online: 8 April 2017  
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2017

### Abstract

**Purpose** Implant failure is a frequent complication in corrective surgery for early onset scoliosis, since considerable forces are acting on small and fragile vertebrae. Osseointegration showing biomechanical and histological improvement in bone–implant interface (BII) after dental implant placement has been well investigated. However, there are no studies regarding osseointegration in immature vertebral bone. The purpose was to evaluate the timecourse of biomechanical and histological changes at BII after pedicle screw placement using in vivo immature porcine model.

**Methods** Ten immature porcine were instrumented with titanium pedicle screws in the thoracic spine. After a 0-, 2-, 4-, and 6-month survival periods, the spines were harvested at the age of 12 months. Histological evaluation of BII was conducted by bone volume/tissue volume (BV/TV) and bone surface/implant surface (BS/IS) measurements. Bone mineral density (BMD) measurement and biomechanical testing of BII were done.

**Results** Contact surface and bone volume around the screw threads were significantly increased over the time. BV/TV and BS/IS were improved with statistically significant differences between 0- and  $\geq 4$ -month ( $p \leq 0.001$ ) periods. BMD in all subjects was determined to be the same ( $p \geq 0.350$ ). Pullout strength was also increased over time with significant differences between 0- and  $\geq 2$ -month ( $p \leq 0.011$ ) periods.

**Conclusion** Improved stability at BII caused by osseointegration was confirmed by in vivo immature porcine model. A two-stage operation is proposed based on the osseointegration theory, in which an implant is installed in advance in the vertebrae at the first stage and deformity correction surgery is performed after sufficient stability is obtained by osseointegration at a later stage.

**Keywords** Osseointegration · Early onset scoliosis · Growing rod · Osteotomy · Porcine model

### Introduction

Spinal instrumentation has been developed for the purposes of correction of spinal deformity and spinal reconstruction after trauma, tumor resection, or degenerative conditions. As techniques evolved, spinal instrumentation surgery has been increasingly applied to not only adolescent but also preadolescent patients. Instrumentation has been used in young children after spinal osteotomy for congenital scoliosis, growth modulation surgery such as growing rods for early onset scoliosis, and reduction and fusion for fracture dislocation [1–5]. Spinal instrumentation comprises anchors such as pedicle screws, hooks, and the others [6] and longitudinal members such as rods and plates for rigid fixation of the spinal column. At least two concerns exist regarding the use of instrumentation in young children and they are (1) the considerable growth potential of the spinal column in which implants are set [1, 7–10] and (2) the vulnerability of the anchor sites due to small and immature configuration of the vertebrae to which strong correction and in vivo forces are applied [2, 3, 5, 11]. In the former case, the typical problem is that spinal fixation by instrumentation surgery interferes with growth of the spinal

✉ Hiroshi Taneichi  
htane@sea.plala.or.jp

<sup>1</sup> Department of Orthopaedic Surgery, Dokkyo Medical University, 880 Kitakobayashi, Mibu-machi, Shimotsuga-gun, Tochigi 321-0293, Japan

column in the longitudinal direction. A variety of growth friendly treatment strategies have been developed so far [2, 5, 12–14]. In the latter case, however, anchor dislodgement with growing rods [5, 13] and instrumentation failures during deformity correction and hemivertebra resection for congenital scoliosis [2, 3, 11] are currently unsolved problems.

In the area of dental implants, a method that has been widely used consists of a process in which a titanium implant is inserted into the alveolar bone in advance as a foundation of an artificial tooth, and a secondary process in which a prosthesis is installed after the implant is mechanically stabilized for a certain time period [15–18]. This method is based on the principle of osseointegration described by Brånemark [18]. In osseointegration, histological changes occurring around the implant are similar to the bone healing process following fractures. In principle, woven bone formed at the micro-fractures around the implant is gradually replaced by lamellar bone that matures after the process of bone remodeling, so that lamellar bone forms in close contact with the titanium implant to dynamically stabilize the implant. The osseointegration in which mechanical properties of bone–implant interface (BII) improve over time may be expected to provide better mechanical strength at the anchor site when corrective surgery is performed in young children with spinal deformities. However, there has been neither basic science nor clinical study regarding the application of osseointegration in the field of spinal surgery. The purpose of this study was to evaluate whether the osseointegration occurs or not after standalone placement of pedicle screws into vertebrae in an *in vivo* experimental study using an immature porcine model.

## Methods

The study was conducted with the approval of the Animal Experiment Committee at our institution (Experiment No. 0532). Ten male Clawn miniature pigs at ages ranging from 6 to 12 months were used, because pig spine has a large similarity with human spine in terms of geometry, material, or biomechanical properties [19]. For each animal, the length of the trunk (the distance between external acoustic pores and the base of the tail) and bodyweight was measured once a month. The bodyweight at 6 months after birth was an average of 20.7 kg (18.5–21.7 kg) and the length of the trunk was an average of 66.0 cm (65.0–67.0 cm).

## Surgical procedures

After ensuring an adequate level of anesthesia, the thoracic spine was subperiosteally exposed via a midline posterior

approach. The point of insertion and trajectory of pedicle screws were determined with reference to the vertebral bone specimens obtained from cubs of the same species. Monoaxial pedicle screws made of titanium alloy (Ti-6Al-4V, Showa Ika, Co Ltd., Toyohashi, Japan) with 3.5 mm diameter and 20 mm length were placed at T10 through T14. To avoid influence of screw loosening on the BII, all pedicle screws were placed independently in each vertebra and not interconnected with rods. Postoperative X-rays were taken to verify the positions of pedicle screws.

Operations were performed on three animals at the age of 6 months, three at 8 months, two at 10 months, and two at 12 months. The animals that had undergone surgery between the ages of 6–10 months were fed up to the age of 12 months and then euthanized. Two animals operated on at the age of 12 months were euthanized immediately after surgery. The animals were divided into 6M Group for those operated at the age of 6 months, 4M Group for those operated at the age of 8 months, 2M Group for those operated at the age of 10 months, and 0M Group for those operated at the age of 12 months, denoting the time for osseointegration prior to analysis. To standardize condition of the specimens such as anatomical size and bone maturity at the time of biomechanical testing, histological analysis, and bone mineral density measurement, all animals were killed at the age of 12 months.

After harvest of the thoracic spine, each vertebra was split vertically along a line connecting the center of the spinous process and the center of the vertebral body using an oscillating saw. From T10 to T14, we have obtained total of 90 vertically split specimens. Of these, 19 specimens that sustained damage such as pedicle fractures and visible breach of pedicle screws were excluded from evaluation. Two specimens to be used for histological investigation were selected randomly from each animal and fixed with 10% formalin. Other specimens were frozen at  $-25^{\circ}\text{C}$  and stored immediately after harvest of the spine.

## Biomechanical testing

The frozen specimens were defrosted to room temperature. Using metallic rods and resin, each specimen was fastened to a jig, such that the screws were perpendicular. The pullout test jig was installed on the testing machine via a universal joint, so that the pullout direction would be always in line with the pedicle screw. The pullout test was performed using a hydraulic universal tester (EHF-LB5kN-4LA, Shimazu Co, Kyoto, Japan) at a pullout rate of 1 mm/min with a maximum displacement of 10 mm. From the load–displacement curves determined experimentally, the maximum load was calculated and determined as the pullout strength.

## Histological analysis

On the cross-sectional surface passing the longitudinal axis of pedicle screw, a hard tissue polishing sample was prepared. After cutting the specimen and embedded with methyl methacrylate resin, the observation surface was polished with a micro-grinding machine (MG-4000, EXAKT GmbH, Hamburg, Germany) for mirror polishing. The slices with 30–40  $\mu\text{m}$  thickness were stained with hematoxylin/eosin (HE) and toluidine blue (TB) stains.

Histological evaluation of BII was carried out qualitatively and quantitatively. Qualitative evaluation was done on the TB stained sample in which woven bone was deeply stained [16]. For the quantitative evaluation of osseointegration around the pedicle screws, rectangular areas (1.0 mm  $\times$  1.1 mm) covering a valley and the adjacent threads were selected as a region of interest (ROI). Bone volume/tissue volume (BV/TV) and bone surface/implant surface (BS/IS) were measured in each ROI [16] (Fig. 1). For measurement of BV/TV, image processing software, Image J (NIH, MD, USA), was used, and for measurement of BS/IS, image analysis software, Win ROOF (MITANI Co, Fukui, Japan), was used.

## Measurement of bone mineral density

Five specimens with no screw placement in each animal were selected randomly and fixed with 70% ethanol. The bone mineral density (BMD) was measured using the peripheral quantitative computed tomography (pQCT) (XCT, Stratec GmbH, Pforzheim, Germany). The analytical region was an area of 4  $\times$  6 mm in the central portion of the vertebral body. The average bone density in this area ( $\text{mg}/\text{cm}^3$ ) was determined.

## Statistical analysis

For statistical analysis, ANOVA and the Tukey–Kramer HSD test were used. The level of significance in cases with “significant differences among the groups” was defined as  $p < 0.05$ . On the other hand, the level of significance in cases with “no significant differences among the groups” was defined as  $p > 0.20$ .

## Results

### Operation and complications

All except two animals were euthanized immediately after surgery survived and returned to normal activities. No postoperative motor deficits occurred. One animal in 4M Group that survived until 12 months encountered a deep

surgical site infection and was excluded. Therefore, subjects for biomechanical testing, histological analysis, and BMD measurements constituted a total of nine animals: two animals in 0M Group, two in 2M Group, two in 4M Group, and three in 6M Group.

### Growth of experimental animals

A mean length of the trunk and bodyweight at 12 months of age was 82.8 cm (80.0–86.0) and 34.7 kg (32.8–37.0), respectively. Length of the trunk increased an average of 25.5% and bodyweight increased 67.6% during the period between 6 and 12 months of age.

### Biomechanical testing

A total of 57 specimens were used for biomechanical testing and details were listed in Table 1. There were no significant differences in the transverse diameters of the pedicles between T10 thru T12 and T13 thru T14; however, compared to T10 thru T12, the transverse diameter of the pedicles of T13 and T14 was significantly larger (Fig. 2). The pullout strength increased significantly over time from  $825.1 \pm 200.5$  N in the 0M Group to  $2048.3 \pm 311.1$  N in the 6M Group (Fig. 3). However, a mean pullout strength at each level was similar without any significant differences (Fig. 4).

### Histological analysis

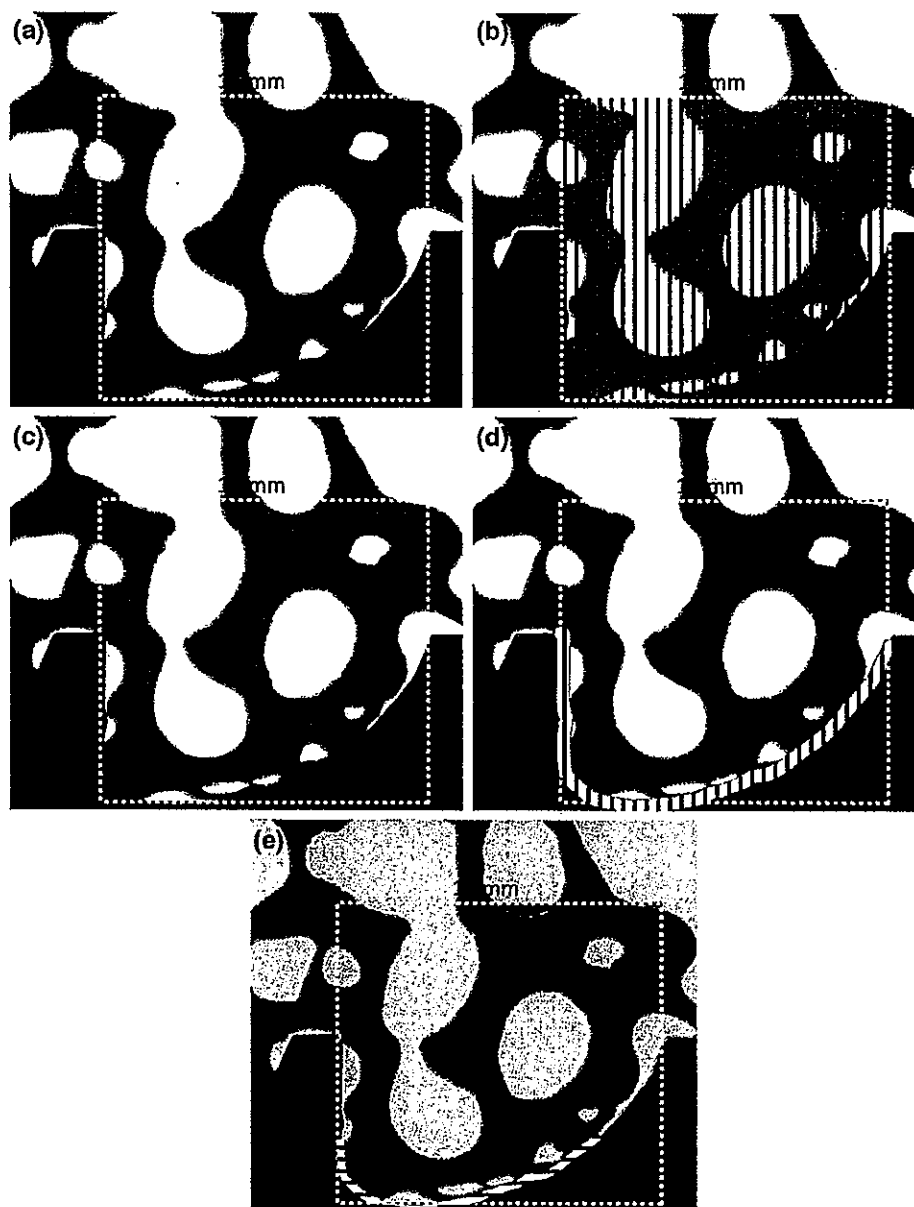
#### Qualitative analysis

In 0M Group, trabecular bone around the screw thread was disrupted and fragmented, indicating micro-fractures caused by screw insertion (Fig. 5a). In 2M Group, newly developed lamellar bone partially combined with woven bone was observed at the BII in micro-fracture site at the time of screw insertion (Fig. 5b). In 4M Group, the lamellar bone volume and the contact surface between the screw and bone were increased. Woven bone was no longer observed (Fig. 5c). In 6M Group, bone volume around the screw was drastically increased and the remodeling process was further advanced (Fig. 5d).

#### Quantitative analysis

Bone volume/tissue volume was  $19.6 \pm 8.5\%$  in 0M Group,  $29.6 \pm 7.5\%$  in 2M Group,  $43.4 \pm 8.9\%$  in 4M Group, and  $53.3 \pm 12.2\%$  in 6M Group, which increased over time. There were significant increases of BV/TV in all except two combinations with marginal significance (0M–2M,  $p = 0.082$  and 4M–6M,  $p = 0.078$ ) (Figs. 6, 7). In addition, BS/IS increased significantly at 2 months and





**Fig. 1** Histological evaluation. **a** Region of interest (ROI) (1.0 mm × 1.1 mm). **b** Tissue volume (TV): the area except screw thread (vertical line). **c** Bone volume (BV): the area of the bone

(horizontal line). **d** Implant surface (IS): the total length of the implant (band with vertical line). **e** Bone surface (BS): the length of bone in contact with the implant (band with horizontal line)

later after screw implantation: 0M Group,  $6.6 \pm 4.5\%$ ; 2M Group,  $5.9 \pm 6.6\%$ ; 4M Group,  $24.2 \pm 1.7\%$ ; and 6M Group,  $43.8 \pm 13.8\%$ , respectively. There were significant increases of BS/IS in all except the combination of 0M and 2M Groups (Figs. 6, 8).

#### Measurement of bone mineral density

The average BMD with respect to individual animals is shown in Table 2. With all subjects combined, BMD

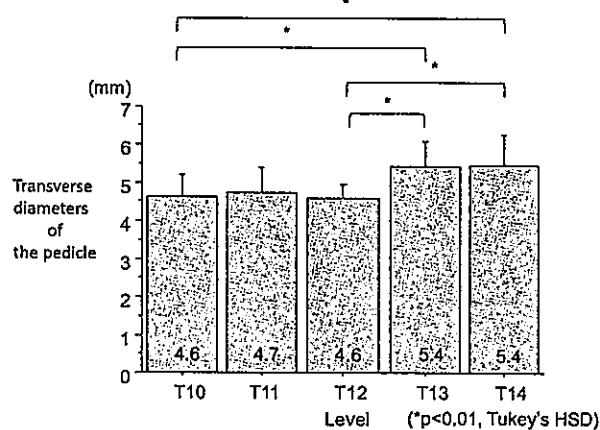
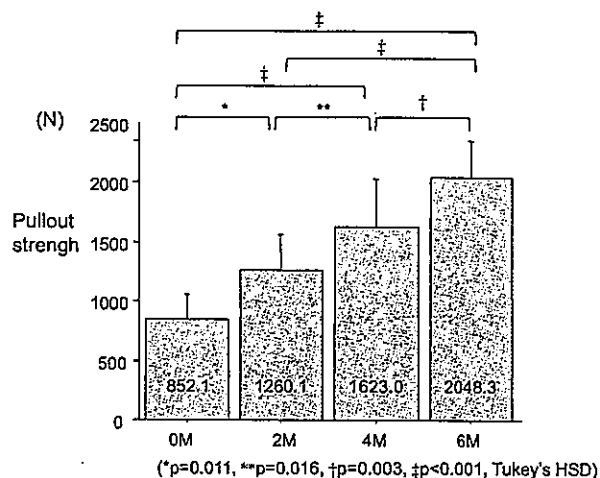
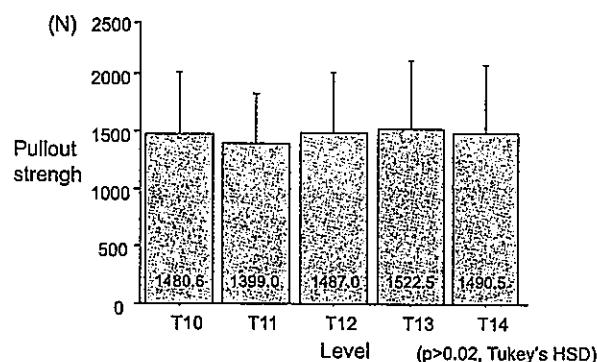
among the subjects in this study was determined to be the same ( $p \geq 0.350$ ).

#### Discussion

According to this study, fragmentation of the trabecular bone due to micro-fractures caused by screw insertion was found immediately after surgery. The fragmented trabecular bone was then gradually repaired by bone remodeling.

**Table 1** Level and number of the specimens in the biomechanical testing

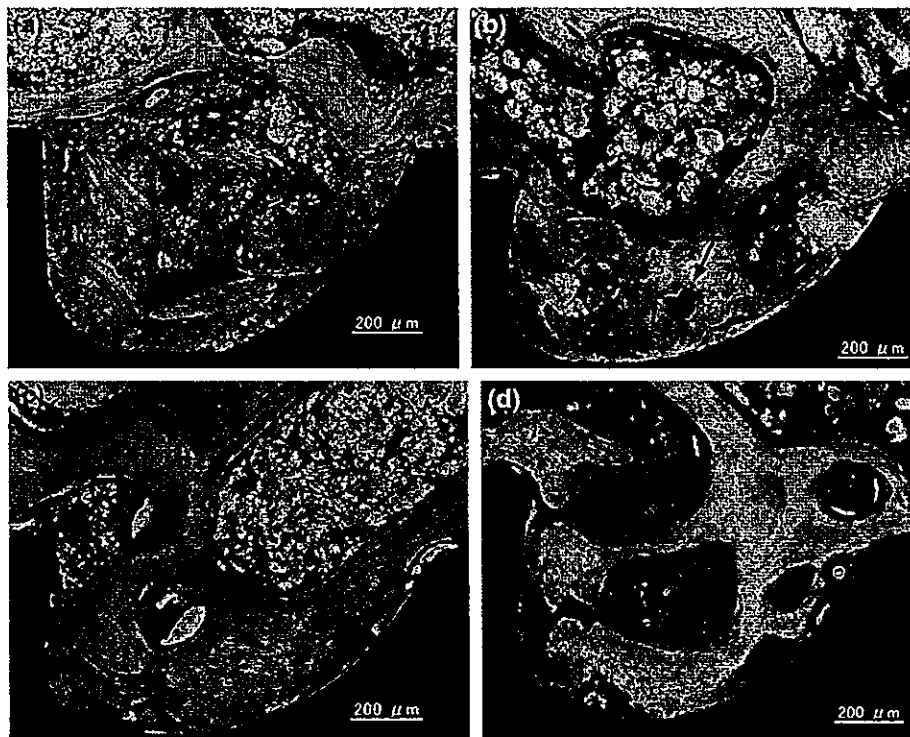
Group level	0M	2M	4M	6M	Total
T10	3	2	3	3	11
T11	0	3	2	2	7
T12	1	2	4	3	10
T13	4	3	3	2	12
T14	4	4	4	5	17
Total	12	14	16	15	57

**Fig. 2** Transverse diameters of the pedicles according to level. There were no significant differences in the transverse diameters of the pedicles between T10 thru T12 and T13 thru T14. However, compared to T10 thru T12, the diameter of the pedicles of T13 and T14 was significantly larger**Fig. 3** Comparison of the pullout strength between 0M-, 2M-, 4M-, and 6M Groups. There were significant differences between all combinations. The pullout strength increased over time after implantation**Fig. 4** Comparison of the pullout strength with respect to levels. The pullout strengths with respect to levels were equal without any significant differences

Mechanical properties of the woven bone with irregularly aligned collagen fibers were inferior to those of lamellar bone [20, 21]. At 2 months postoperatively, when woven bone was still present at the BII, bone volume around the implant increased but the pullout strength of the screws was not strong enough. In the later phases, the pullout strength improved over time, because there was an increase of bone volume with rich lamellar bone contents and expansion of the contact surface between the implant and the host bone. A typical feature of osseointegration that was observed with dental implants [15–18] was reproduced in the immature vertebral bone in this study.

Since histological and biomechanical studies were performed at the same age among the animals and all had the same bone mineral density, differences found in the mechanical stability at the BII would be directly dependent on the bone morphology around the implants. The same results were previously demonstrated in experimental study using implants in long bones of adult animals. Wu et al. [22] demonstrated that pullout strength of titanium screws which were placed in the tibia increased over time in their in vivo study using rats. Furthermore, Brånemark et al. [23] reported that when titanium screws were inserted into the tibia in rats, the bone volume in contact with the screw increased over time from 0 to 16 weeks. According to an in vivo study by Grizon et al. [24], when a titanium screw was placed into the femur in sheep at 5–6 years of age, the bone volume around the implants tended to increase over time for 3–18 months postoperatively.

Since patients needing dental implant treatments are typically elderly who have lost teeth, basic science and clinical studies have been conducted predominantly in adults and little has been reported for pediatrics before adolescence. The rate of bodyweight gain of mini-pigs used in this study from 6 to 12 months of age was 68%, and the increase rate in body length was 26%. Humans from 12 to 17 years (middle-to-late adolescence) have a rate of



**Fig. 5** Qualitative analysis of bone-implant interface (TB staining). **a** 0M Group: the trabecular bone around the screw thread was disrupted and fragmented, indicating micro-fractures caused by screw insertion. **b** 2M Group: newly developed lamellar bone partially combined with immature woven bone (*arrows*) was observed at the BII, where fragmented trabecular bone had been observed around the

screw threads at the time of screw insertion. **c** 4M Group: the amount of newly developed lamellar bone increased and the contact surface between the screw and the bone also increased. Woven bone was no longer observed at this stage. **d** 6M Group: bone volume around the screw was drastically increased and the remodeling process was more advanced

bodyweight gain of 41% in males and 21% in females, and their sitting height increases by 12% in males and 4% in females. In contrast, humans from 6 to 11 years (before adolescence-to-early adolescence) experience bodyweight gain of 77% in males and 89% in females, and sitting height increases by 19% in males and 23% in females [25]. Based on the data above, the mini-pigs used in this study can be considered approximately comparable to the pediatric period before adolescence in humans. Thus, this study demonstrated that osseointegration occurs in the same way during the pediatric period before adolescence, and contributes to improved mechanical stability of implants.

It has been pointed out that in spinal deformity correction surgery for preadolescent children, huge correction forces that are loaded onto anchors such as pedicle screws installed in small, fragile vertebrae can result in anchor site failure during surgery or early in the postoperative period [2, 3, 5, 11, 13]. Whereas, deformity correction with insufficient correction forces to prevent such complications leads to unsatisfactory clinical results [2, 3, 5, 11, 13]. To avoid these problems, a two-stage operation is proposed based on the osseointegration theory, in which an implant is installed in advance in the vertebrae at the first stage and

deformity correction surgery is performed after sufficient stability is obtained by osseointegration at a later stage. The merits of such an approach would be that sufficient correction forces can be applied and postoperative bracing can also be avoided. According to Ranade et al., pedicle screws are more suitable for anchors of growing rod constructs than hooks which can frequently dislodge [1]. However, unlike a hook, a pedicle screw has the potential risk of spinal cord injury due to its dislodgement. The risk of spinal cord injury can be reduced when a two-stage operation based on the osseointegration theory is carried out for growing rod constructs using pedicle screws. Pedicle screws are generally used as anchors in hemivertebra resection or vertebral column resection for pediatric patients with congenital scoliosis. Hedequist et al. pointed out that pedicle screws placed in the small and fragile vertebrae in young children cannot tolerate considerable forces applied during deformity correction [11]. In such situations, a two-stage operation employing the osseointegration theory has great advantages in prevention of perioperative anchor failure. There is some concern, but controversy, over pedicle screws violate the neurocentral synchondrosis which may result in developmental spinal

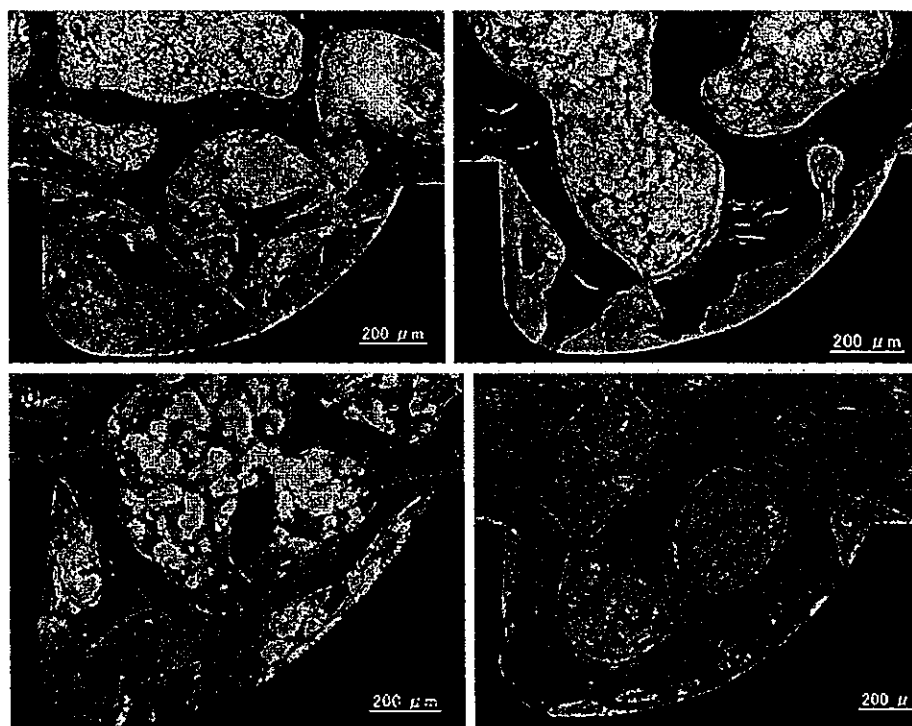


Fig. 6 Qualitative analysis of bone-implant interface (HE staining). a 0M Group, b 2M Group, c 4M Group, and d 6M Group

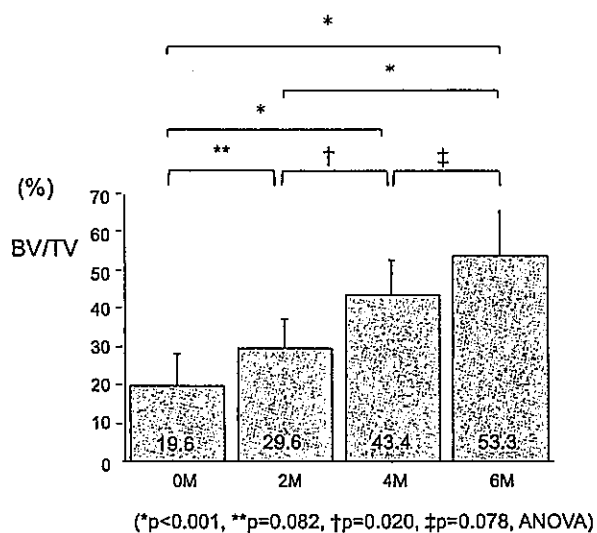


Fig. 7 Comparison of BV/TV between 0M-, 2M-, 4M-, and 6M Groups. BV/TV increased over time. Although the differences barely reached significant levels between the 0M Group and the 2M Group ( $p = 0.082$ ) and the 4M Group and the 6M Group ( $p = 0.078$ ), a trend of increased bone volume over time was observed and there were significant increases in all other combinations

canal stenosis [1–3, 9]. Another issue of concern is that, in pediatric patients, autofusion can occur at the surgical site, where subperiosteal exposure is performed for screw

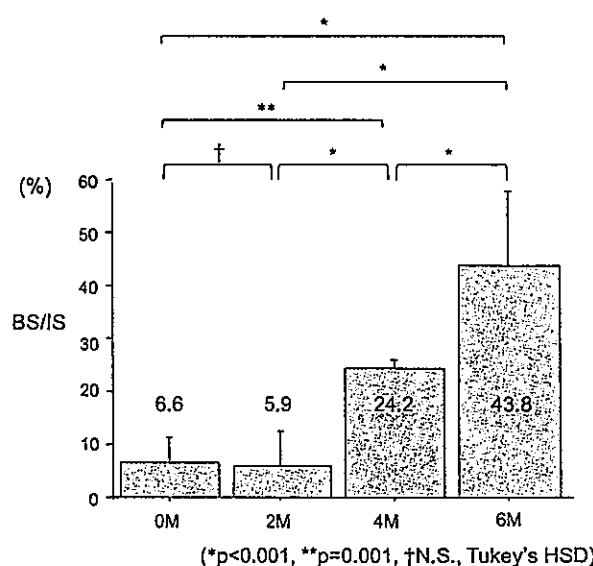


Fig. 8 Comparison of BS/IS between 0M-, 2M-, 4M-, and 6M Groups. BS/IS increased significantly at 2 months and thereafter after screw implantation

placement as a first-stage procedure of two-stage corrective surgery. The autofusion may adversely affect the corrective surgery itself. To prevent this, percutaneous screw placement with or without navigation that avoids subperiosteal exposure may be considered.

**Table 2** Average bone mineral density (BMD) with respect to individual animals

Group BMD (mg/cm <sup>3</sup> )	0M-1	0M-2	2M-1	2M-2	4M-1	4M-2	6M-1	6M-2	6M-3
0M-1 348.3	–	1.000	0.350	0.696	0.808	0.930	0.587	0.954	0.999
0M-2 351.2		–	0.391	0.696	0.796	0.924	0.630	0.946	0.997
2M-1 313.0			–	0.997	1.000	0.940	0.999	0.916	0.773
2M-2 324.5				–	1.000	1.000	1.000	0.999	0.978
4M-1 321.1					–	0.999	1.000	0.999	0.983
4M-2 331.7						–	0.999	1.000	1.000
6M-1 322.9							–	0.997	0.959
6M-2 332.9								–	1.000
6M-3 338.9									–

With all subjects combined, the *p* value was 0.350 or greater, so that the bone density among the subjects in the present study was determined to be the same

### Study limitations

In the present study, both osteogenesis around the implant and mechanical stability of the implant continuously increased while under observation for a period of 6 months, but we could not determine at which point a plateau would be achieved. Verification of the plateau point would require a more extended screw retention period. In addition, considering differences in bone remodeling and strength between species, we think that an investigation based on clinical observation in humans is necessary prior to recommending an appropriate time interval between the anchor installation and the deformity correction surgery.

Baseline conditions of animals at the time of surgery were not standardized for the purpose of performing biomechanical testing, histological analysis, and BMD measurement at a same age. This limitation may influence the biological course of osseointegration in the animals with growing age.

### Conclusion

Improved stability at the BII caused by osseointegration was confirmed by in vivo immature porcine model assumed comparable to pediatric humans undergoing rapid growth. Placement of pedicle screws in advance in small

and fragile vertebrae can be effective in preventing implant failure in corrective surgery for young children with spinal deformities.

### Compliance with ethical standards

**Funding** This work was partially supported by AOSpine Japan (Grant No. AOSJP 2011-03). None of the authors received financial support for this study.

**Conflict of interest** The authors declare that they have no competing interests.

### References

1. Ranade A, Samdani AF, Williams R, Barne K, McGirt MJ, Ramos G, Betz RR (2009) Feasibility and accuracy of pedicle screws in children younger than eight years of age. *Spine (Phila Pa 1976)* 34(26):2907–2911. doi:10.1097/BRS.0b013e3181b77af3
2. Ruf M, Harms J (2002) Pedicle screws in 1- and 2-year-old children: technique, complications, and effect on further growth. *Spine (Phila Pa 1976)* 27(21):E460–E466
3. Ruf M, Harms J (2003) Posterior hemivertebra resection with transpedicular instrumentation: early correction in children aged 1 to 6 years. *Spine (Phila Pa 1976)* 28(18):2132–2138
4. Bode KS, Newton PO (2007) Pediatric nonaccidental trauma thoracolumbar fracture-dislocation: posterior spinal fusion with pedicle screw fixation in an 8-month-old boy. *Spine (Phila Pa 1976)* 32(14):E388–E393
5. Thompson GH, Akbermia BA, Campbell RM Jr (2007) Growing rod techniques in early-onset scoliosis. *J Pediatr Orthop* 27(3):354–361

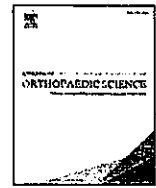
6. Wessels M, Homminga JJ, Hekman EE, Verkerke GJ (2014) A novel anchoring system for use in a non-fusion scoliosis correction device. *Spine J* 14(11):2740–2747. doi:10.1016/j.spinee.2014.04.028
7. Dimeglio A (2001) Growth in pediatric orthopaedics. *J Pediatr Orthop* 21(4):549–555
8. Labrom RD (2007) Growth and maturation of the spine from birth to adolescence. *J Bone Joint Surg Am* 89(Suppl 1):3–7
9. Cil A, Yazici M, Daglioglu K, Aydingoz U, Alanay A, Acaroglu RE, Gulsen M, Surat A (2005) The effect of pedicle screw placement with or without application of compression across the neurocentral cartilage on the morphology of the spinal canal and pedicle in immature pigs. *Spine (Phila Pa 1976)* 30(11):1287–1293
10. Meijer GJM, Homminga J, Hekman EEG, Veldhuizen AG, Verkerke GJ (2010) The effect of three-dimensional geometrical changes during adolescent growth on the biomechanics of a spinal motion segment. *J Biomech* 43(8):1590–1597. doi:10.1016/j.jbiomech.2010.01.028
11. Hedequist D, Emans J, Proctor M (2009) Three rod technique facilitates hemivertebra wedge excision in young children through a posterior only approach. *Spine (Phila Pa 1976)* 34(6):E225–E229. doi:10.1097/BRS.0b013e3181997029
12. Newton PO, Upasani VV, Farnsworth CL, Oka R, Chambers RC, Dwek J, Kim JR, Perry A, Mahar AT (2008) Spinal growth modulation with use of a tether in an immature porcine model. *J Bone Joint Surg Am* 90(12):2695–2706. doi:10.2106/JBJS.G.01424
13. Akbarnia BA, Breakwell LM, Marks DS, McCarthy RE, Thompson AG, Canale SK, Kostial PN, Tambe A, Asher MA, Growing Spine Study Group (2008) Dual growing rod technique followed for three to eleven years until final fusion The effect of frequency of lengthening. *Spine (Phila Pa 1976)* 33(9):984–990. doi:10.1097/BRS.0b013e31816c8b4e
14. Wessels M, Hekman EE, Kruyt MC, Castelein RM, Homminga JJ, Verkerke GJ (2016) Spinal shape modulation in a porcine model by a highly flexible and extendable non-fusion implant system. *Eur Spine J* 25(9):2975–2983. doi:10.1007/s00586-016-4570-9
15. Marco F, Milena F, Gianluca G, Vittoria O (2005) Peri-implant osteogenesis in health and osteoporosis. *Micron* 36(7–8):630–644
16. Chappard D, Aguado E, Huré G, Grizon F (1999) Baslé MF (1999) The early remodeling phases around Titanium implants: a histomorphometric assessment of bone quality in a 3- and 6-months study in sheep. *Int J Oral Maxillofac Implants* 14(2):189–196
17. Fini M, Giavaresi G, Torricelli P, Borsari V, Giardino R, Nicolini A, Carpi A (2004) Osteoporosis and biomaterial osteointegration. *Biomed Pharmacother* 58(9):487–493
18. Brånemark PI, Hansson BO, Adell R, Breine U, Lindström J, Hallén O, Ohman A (1977) Osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw: experience from a 10-year period. *Scand J Plast Reconstr Surg Suppl* 16:1–132
19. Busscher I, Ploegmakers JJ, Verkerke GJ, Veldhuizen AG (2010) Comparative anatomical dimensions of the complete human and porcine spine. *Eur Spine J* 19(7):1104–1114. doi:10.1007/s00586-010-1326-9
20. Probst A, Spiegel HU (1997) Cellular mechanisms of bone repair. *J Invest Surg* 10(3):77–86
21. Glimcher MJ, Shapiro F, Ellis RD, Eyre DR (1980) Changes in tissue morphology and collagen composition during the repair of cortical bone in the adult chicken. *J Bone Joint Surg Am* 62(6):964–973
22. Wu J, Bai YX, Wang BK (2009) Biomechanical and histomorphometric characterizations of osseointegration during mini-screw healing in rabbit tibiae. *Angle Orthod* 79(3):558–563. doi:10.2319/031108-138.1
23. Brånemark R, Ohnells LO, Nilsson P, Thomsen P (1997) Biomechanical characterization of osseointegration during healing: an experimental in vivo study in the rat. *Biomaterials* 18(14):969–978
24. Grizon F, Aguado E, Huré G, Baslé MF, Chappard D (2002) Enhanced bone integration with increased surface roughness: a long term study in the sheep. *J Dent* 30(5–6):195–203
25. The result of physique measurement classified by age. Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, Japan. [http://www.mext.go.jp/b\\_menu/houdou/19/10/07092511/007.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/19/10/07092511/007.htm)



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Orthopaedic Science

Journal homepage: <http://www.elsevier.com/locate/jos>

## Original Article

## Multiple concave rib head resection improved correction rate of posterior spine fusion in treatment of adolescent idiopathic scoliosis

Takashi Namikawa<sup>a, b, 1</sup>, Hiroshi Taneichi<sup>a, \*</sup>, Satoshi Inami<sup>a</sup>, Hiroshi Moridaira<sup>a</sup>, Daisaku Takeuchi<sup>a</sup>, Yo Shiba<sup>a</sup>, Yutaka Nohara<sup>a</sup><sup>a</sup> Department of Orthopaedic Surgery, Dokkyo Medical University, Tochigi, Japan<sup>b</sup> Department of Orthopaedic Surgery, Osaka City General Hospital, Osaka, Japan

## ARTICLE INFO

## Article history:

Received 6 September 2016

Received in revised form

14 January 2017

Accepted 24 January 2017

Available online 12 February 2017

## ABSTRACT

**Background:** Hybrid constructs have been widely used to surgically correct thoracic adolescent idiopathic scoliosis (AIS). To enhance the correction obtained with hybrid constructs, we perform concave rib head resection and convex costovertebral release as posterior release procedures. The objective of the study was to evaluate coronal and sagittal curve correction in patients with adolescent idiopathic scoliosis (AIS) treated with hybrid constructs combined with concave rib head resection and convex transverse process resection as posterior release procedures.

**Methods:** The records of 24 patients with Lenke type 1 or 2 AIS treated with hybrid constructs combined with posterior release procedures were retrospectively reviewed. The mean age at surgery was 14.3 years. The mean follow-up period was 33.0 months (range, 24–60 months). Radiographs were evaluated before surgery, immediately postoperatively, and at latest follow-up.

**Results:** The average preoperative Cobb angle of the main thoracic (MT) curve was  $58.1 \pm 12.6^\circ$  (range, 45–88°). The MT curve was corrected to  $12.8 \pm 9.0^\circ$  (range, 0–38°) immediately after surgery. At the latest follow-up, the average Cobb angle was  $13.6 \pm 9.9^\circ$  (range, 0–44°; correction, 77.5 ± 14.0%). The average loss of coronal correction was 0.8°. The average preoperative flexibility of the MT curve was  $54.6 \pm 17.4\%$ . The average Cincinnati correction index was  $1.53 \pm 0.48$  at the latest follow-up. The average preoperative thoracic kyphosis (TK) was  $13.7 \pm 12.0^\circ$  (range, –12–34°). Immediately after surgery, TK was corrected to  $18.6 \pm 5.9^\circ$  (range, 10–29°). At the latest follow-up, TK measured  $18.1 \pm 6.5^\circ$  (range, 6–32°).

**Conclusions:** Hybrid instrumentation combined with concave rib head resection and convex transverse process resection as posterior release procedures achieved satisfactory coronal and sagittal curve correction with little loss of correction at 2-year follow-up.

© 2017 The Japanese Orthopaedic Association. Published by Elsevier B.V. All rights reserved.

## 1. Introduction

Sublaminar wiring as segmental spinal instrumentation has been widely used in the surgical correction of spinal deformity since the development of the technique by Luque in the 1980s [1]. Hybrid constructs for the treatment of scoliosis, such as ISOLA instrumentation, include sublaminar wires, hooks and pedicle

screws (PS) as segmental instrumentation [2]. The mechanism of correction using hybrid constructs is the sequential tightening of mutisegmentally placed sublaminar wires fastened to a rod contoured to the ideal shape of the thoracic spine. Meanwhile, segmental PS constructs have been widely used in recent years in surgery for thoracic adolescent idiopathic scoliosis (AIS). There are several reports that segmental PS constructs provide better coronal correction than hybrid constructs [3–6].

We use hybrid constructs as our preferred method for the correction of thoracic AIS at our institution. To enhance the correction obtained with hybrid constructs, we routinely perform concave rib head resection (CRR) and convex costovertebral release for radical posterior release. The CRR includes releasing the radiate ligament on the apical portion of the concave side, which connects the rib head to both the upper and lower thoracic vertebrae. The

\* Corresponding author. Department of Orthopaedic Surgery, Dokkyo Medical University, 880 Kitakobayashi, Mibu-machi, Shimotsuga-gun, Tochigi, 321-0293, Japan. Fax: +81 282 86 5422.

E-mail address: [tane@dokkyomed.ac.jp](mailto:tane@dokkyomed.ac.jp) (H. Taneichi).

<sup>1</sup> Address for reprints: Department of Orthopaedic Surgery, Osaka City General Hospital, 2-13-22 Miyakojimahondoori, Miyakojima-ku, Osaka-city, 534-0021, Japan.

purpose of this study was to evaluate coronal and sagittal curve correction in patients with AIS treated with hybrid constructs in conjunction with CRR as a posterior release procedure.

## 2. Materials and methods

### 2.1. Patients

We retrospectively reviewed the records of 24 patients (20 females, four males) with Lenke type 1 or 2 AIS who underwent posterior selective thoracic fusion at our institution between 2008 and 2011. A minimum 2-year follow-up was required for inclusion in the study. The mean patient age at surgery was 14.3 years (range, 12–17 years). Patients were radiographically evaluated before surgery, immediately after surgery and at the latest follow-up.

### 2.2. Surgical procedures

All patients underwent surgery with hybrid constructs combined with CRR. The CRR was performed as a posterior release procedure on three to five ribs around the apical vertebra on the concave side. After exposure of the proximal portion of the ribs to be released, the transverse process was resected and the rib removed approximately 3 cm lateral to the tip of the transverse process. The ventral side of the proximal rib was exposed subperiosteally. The radiate ligament, which connects the rib head to both the upper and lower thoracic vertebrae, was loosened to allow full manipulation of the costovertebral joint. The resected rib heads and transverse processes were then used as bone grafts. Additionally, the transverse processes were resected from the vertebrae around the apex of the convex side, except for the transverse process of the apical vertebra, on which the transverse hook was placed. A Cobb elevator was inserted into the costovertebral joint and pushed laterally to release the radiate ligament on the convex side.

As for hybrid constructs, conventional transverse process and pedicle hook-claw constructs were used as proximal anchors and apex anchors on the convex side. Pedicle screws were used as distal anchors. Ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE) cables were used as a sublaminar anchoring device. Sublaminar cables were multisegmentally placed on the concave side of the main thoracic curve.

The correction maneuver was a combination of cantilever, translational force through sublaminar cables and in-situ contouring technique. We typically used a titanium alloy rod 6.0 mm in diameter.

The fusion area was selected based on whole-spine erect posteroanterior (PA), supine side-bending and traction radiographs. For patients with Lenke 2 curves, the proximal thoracic curves were included in the fusion area. For those with Lenke 1 curves, the proximal thoracic curves were not included in the fusion area. For patients with lumbar modifier A pattern, the lower instrumented vertebra was selected as the stable vertebra according to traction radiographs, which was one or two levels proximal to the stable vertebra according to erect PA radiographs. For patients with lumbar modifier B or C pattern, the lower instrumented vertebra was selected as the stable vertebra according to erect PA radiographs.

### 2.3. Radiographic evaluation

Preoperative radiographic evaluation included whole-spine erect, erect lateral, and supine side-bending radiographs. Cobb angles of the proximal thoracic, main thoracic (MT) and thoracolumbar/lumbar curves were measured from erect PA radiographs

as coronal parameters. Flexibility of the curves was evaluated on the side-bending radiographs. TK, defined as T5–T12 kyphosis, was measured on erect lateral radiographs. Postoperative radiographic evaluation included erect PA and lateral radiographs. The proximal thoracic, MT, and thoracolumbar/lumbar curves and TK were also measured on the postoperative radiographs.

As described by Vora et al. [7], the following ratios were determined:

Preoperative flexibility (%) = [(Preoperative erect Cobb angle – Supine bending Cobb angle)/Preoperative erect Cobb angle] \* 100.

Postoperative correction (%) = [(Preoperative erect Cobb angle – Postoperative erect Cobb angle)/Preoperative erect Cobb angle] \* 100.

Cincinnati Correction Index = Postoperative correction % / Preoperative flexibility %

### 2.4. Statistical analysis

A paired t-test was used to assess differences between the magnitude of the curves at preoperative examination and at latest follow-up. Statistical significance was defined as  $P < 0.05$ .

This study has been approved by the ethics committee of our institution (approval number 28082).

## 3. Results

The mean follow-up period was 33.0 months (range, 24–60 months). The average preoperative Cobb angle of the MT curve was 58.1° (range, 45–88°). The MT curve was corrected to 12.8° (range, 0–38°) immediately after surgery. At the latest follow-up, the mean Cobb angle was 13.6° (range, 0–44°) and the average final correction percentage was 77.5% (range, 44–100%) (Fig. 1). The average loss of coronal correction was 0.8° (range, –2–6°). Changes in coronal parameters are shown in Table 1. The mean preoperative flexibility of the MT curve was 54.6% (range, 24–91%). The mean Cincinnati Correction Index was 1.53 (range, 1.03–3.16) at the latest follow-up.

The average preoperative TK was 13.7° (range, –12–34°). Immediately after surgery, TK had increased to 18.6° (range, 10–29°). At the latest follow-up, TK measured 18.1° (range, 6–32°) (Fig. 2).

The average operative time was 324.1 min (range, 228–414 min). The average intraoperative blood loss was 739.9 mL (range, 207–1687 mL). One patient had pleural injury related to CRR and underwent pleural repair with the use of a polyglycolic acid sheet and fibrin glue; chest tube placement was not required. Three patients had slight pleural effusion on the concave side but none required chest tube placement. There were no other intraoperative or perioperative complications, including neurological complications, implant breakage or laminar fractures.

## 4. Discussion

The development of Cotrel-Dubouset multisegmental instrumentation enabled not only coronal correction but also sagittal plane correction of spinal deformity [8]. The instrumentation solved the problem of “iatrogenic flatback” seen with the use of Harrington instrumentation. The hybrid construct is a segmental instrumentation technique using sublaminar wires, pedicle screws and hooks. Multisegmentally placed sublaminar wires generate



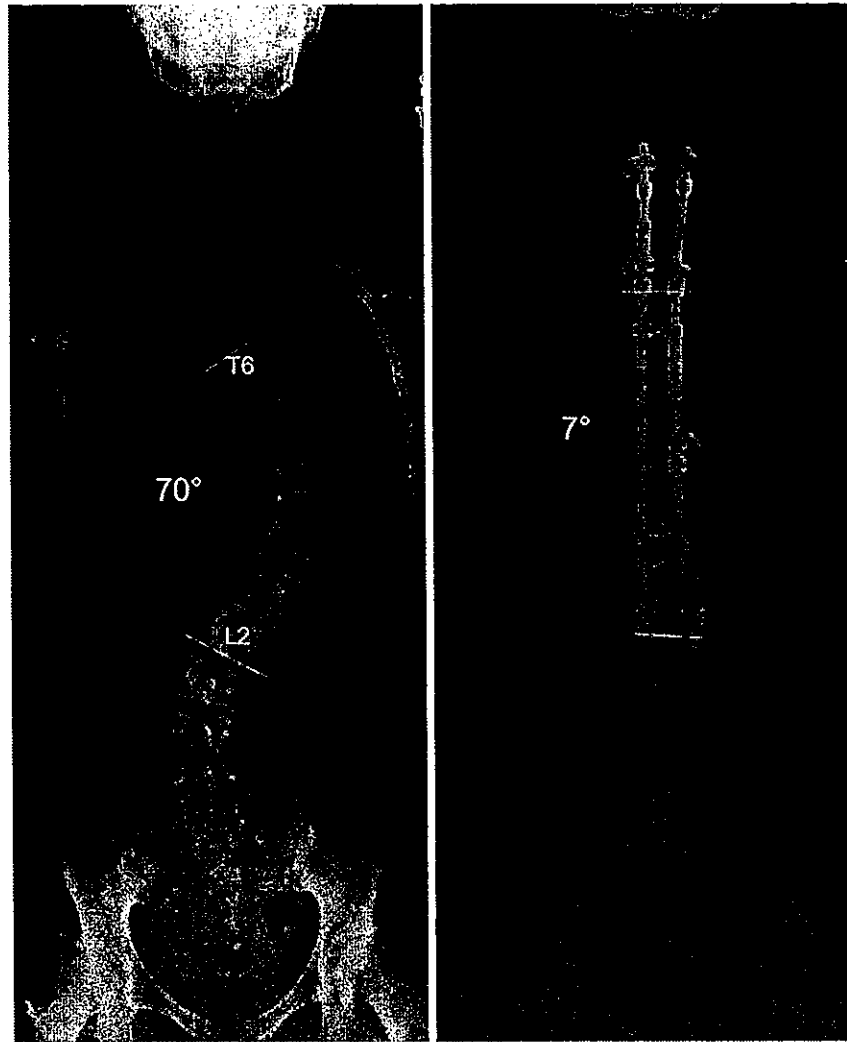


Fig. 1. Preoperative and 3-year follow up postero-anterior radiograph of a 14 years old girl with AIS, Lenke type 2A-. T6-L2 main thoracic curve was corrected from 70 to 7° (90% correction). Six sublaminar UHMWPE cables were used from Th6 to Th11 laminae. CRR was undergone from left 8th to 10th ribs, and right transverse process resection with costo-vertebral joint release was undergone Th8 and 9 vertebrae.

Table 1  
Summary of the pre- and postoperative radiographic parameters.

	Preoperative	Immediately postop.	Latest follow-up	P-value (Preop. vs Latest f/u)
Main thoracic curve (°)	58.1 ± 12.6	12.8 ± 9.0	13.6 ± 9.9	<0.0001
Preoperative flexibility (%)	54.6 ± 17.4	n/a	n/a	n/a
Postoperative correction (%)	n/a	78.9 ± 12.7	77.5 ± 14.0	n/a
Cincinnati correction index	n/a	1.57 ± 0.50	1.53 ± 0.48	n/a
Proximal thoracic curve (°)	31.6 ± 9.7	16.9 ± 9.1	16.4 ± 9.6	<0.0001
Thoracolumbar/lumbar curve (°)	31.5 ± 9.2	8.8 ± 7.1	7.9 ± 9.1	<0.0001
Thoracic kyphosis (°)	13.7 ± 12.0	18.6 ± 5.9	18.1 ± 6.5	0.02

posterior and medial translational force on the spine, ensuring both coronal and sagittal correction of the spinal deformity.

In this study we used hybrid constructs for the surgical correction of scoliosis with modifications for better correction of coronal and sagittal deformity. First, we used 5-mm-wide UHMWPE cables as sublaminar anchorage devices. This reduces the risk of laminar fracture during deformity correction because the width of the

UHMWPE cables is larger than that of stainless steel wires. The increased width enables greater translational force to be applied to the lamina [9]. Second, we performed CRR and convex costo-vertebral joint release to enhance the flexibility of the deformity. El Masry et al. reported that concave rib osteotomy was a safe and reliable alternative to anterior release in posterior surgery of severe and rigid curves in patients with AIS [10]. Our method includes not only

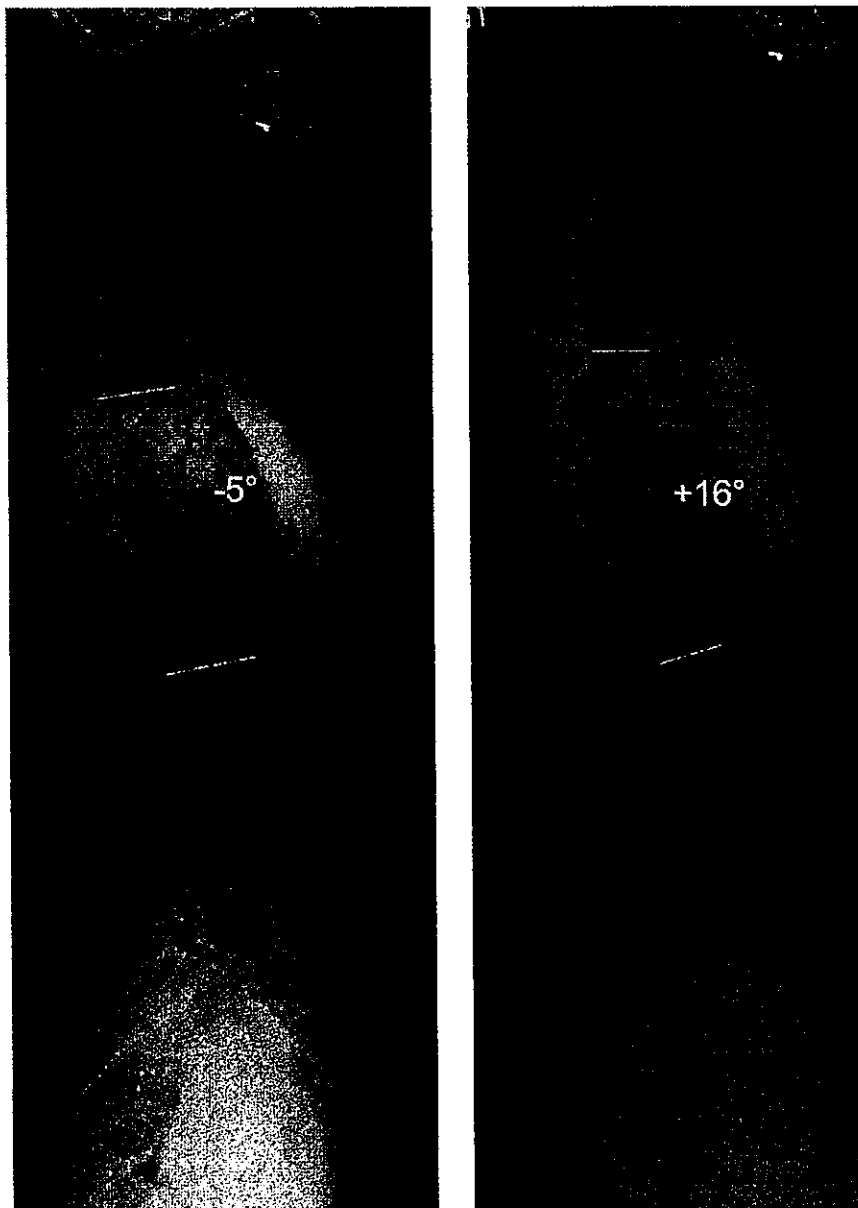


Fig. 2. Preoperative and 3-year follow up lateral radiograph of a same patient with Fig. 1. Thoracic kyphosis was improved from  $-5$  to  $+16^\circ$  after surgery.

concave rib osteotomy but also rib head resection with costovertebral joint manipulation. This combination results in costotransverse ligament resection and costovertebral ligament (radiate ligament) release. Yao et al. reported that costotransverse ligament and costovertebral joint release resulted in decreased force required for axial rotation and lateral bending in a cadaveric biomechanical study [11]. Their results suggest that release of those ligaments in posterior scoliosis surgery would contribute to better curve correction. An additional benefit was that the resected rib heads were used as bone graft, which helped to avoid bone graft procurement from the ilium. In this study, there was no patient in whom iliac bone harvesting was necessary. However, CRR is associated with some risk of pulmonary complications, such as pleural injury, which sometimes

requires chest tube placement for hemothorax. However, in our experience, chest tube placement is not necessary if pleural injuries are repaired with a polyglycolic acid sheet and fibrin glue.

Since Suk's report [12] of thoracic pedicle screws as segmental anchors for deformity correction, many surgeons have become interested in segmental PS constructs. Some authors have reported that pedicle screws, which are theoretically the strongest anchors for correction, provide a better correction rate and less loss of curve correction than other methods [3–6]. Although several reports have described the advantages of hybrid constructs in maintaining thoracic kyphosis compared with segmental PS constructs [4,6,7,13], the use of hybrid constructs for scoliosis surgery is currently viewed as outdated.

In this study, average MT curve correction was 77.5% with hybrid constructs with CRR as a posterior release procedure. The sagittal thoracic alignment was corrected from 13.7° preoperatively to 18.6° postoperatively, and maintained at 18.1° at latest follow-up. MT curve correction is reported to be 54.0–63.0% with the use of conventional hybrid constructs [2,3,6,9,13] and 63–79.6% with the use of segmental PS constructs [3,4,6,12–17]. Our results suggest that hybrid constructs combined with posterior release procedures are not only better than conventional hybrid constructs but comparable to segmental PS constructs in coronal curve correction. Thus, hybrid constructs remain a useful option for the surgical correction of scoliosis when combined with posterior release procedures. We emphasize that hybrid constructs avoid the potential risks of thoracic pedicle screws, including neurological and vascular complications.

In conclusion, hybrid constructs combined with posterior release procedures including CRR and convex costovertebral release achieved satisfactory coronal and sagittal curve correction with little loss of correction at minimum 2-year follow-up. The coronal curve correction obtained with hybrid constructs with posterior release procedures was better than that obtained with conventional hybrid constructs alone.

#### Conflict of interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

#### References

- [1] Luque ER. Segmental spinal instrumentation for correction of scoliosis. *Clin Orthop Relat Res* 1982 Mar;(163):192–8.
- [2] Asher M, Lai SM, Burton D, Manna B, Cooper A. Safety and efficacy of Isola instrumentation and arthrodesis for adolescent idiopathic scoliosis: two- to 12-year follow-up. *Spine (Phila Pa 1976)* 2004 Sep;29(18):2013–23.
- [3] Crawford AH, Lykissas MG, Gao X, Eismann E, Anadio J. All-pedicle screw versus hybrid instrumentation in adolescent idiopathic scoliosis surgery: a comparative radiographical study with a minimum 2-year follow-up. *Spine (Phila Pa 1976)* 2013 Jun;38(14):1199–208.
- [4] Kim YJ, Lenke LG, Kim J, Bridwell KH, Cho SK, Cheh G, Sides B. Comparative analysis of pedicle screw versus hybrid instrumentation in posterior spinal fusion of adolescent idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)* 2006 Feb;31(3):291–8.
- [5] Lowenstein JE, Matsumoto H, Vitale MG, Weidenbaum M, Gomez JA, Lee FY, Hyman JE, Roye DP. Coronal and sagittal plane correction in adolescent idiopathic scoliosis: a comparison between all pedicle screw versus hybrid thoracic hook lumbar screw constructs. *Spine (Phila Pa 1976)* 2007 Feb;32(4):448–52.
- [6] Luhmann SJ, Lenke LG, Erickson M, Bridwell KH, Richards BS. Correction of moderate (<70 degrees) Lenke 1A and 2A curve patterns: comparison of hybrid and all-pedicle screw systems at 2-year follow-up. *J Pediatr Orthop* 2012 Apr-May;32(3):253–8.
- [7] Vera V, Crawford A, Babekhir N, Boachie-Adjei O, Lenke L, Peskin M, Charles G, Kim Y. A pedicle screw construct gives an enhanced posterior correction of adolescent idiopathic scoliosis when compared with other constructs: myth or reality. *Spine (Phila Pa 1976)* 2007 Aug;32(17):1869–74.
- [8] Bridwell KH, Betz R, Capelli AM, Huss G, Harvey C. Sagittal plane analysis in idiopathic scoliosis patients treated with Cotrel-Dubousset instrumentation. *Spine (Phila Pa 1976)* 1990 Sep;15(9):921–6.
- [9] Takahata M, Ito M, Abumi K, Kotani Y, Sudo H, Ohshima S, Minami A. Comparison of novel ultra-high molecular weight polyethylene tape versus conventional metal wire for sublaminar segmental fixation in the treatment of adolescent idiopathic scoliosis. *J Spinal Disord Tech* 2007 Aug;20(6):449–55.
- [10] El Masry MA, Saleh AM, McWilliams AB, Tsiridis E, Salah H, El Hawary YK. Concave rib osteotomy: a modified technique revisited. *Eur Spine J* 2007 Oct;16(10):1600–3 [Article].
- [11] Yao X, Blount TJ, Suzuki N, Brown LK, van der Walt CJ, Baldini T, Lindley EM, Patel VV, Burger EL. A biomechanical study on the effects of rib head release on thoracic spinal motion. *Eur Spine J* 2012 Apr;21(4):606–12.
- [12] Suk SI, Lee CK, Kim WJ, Chung YJ, Park YB. Segmental pedicle screw fixation in the treatment of thoracic idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)* 1995 Jun;20(12):1399–405.
- [13] Cheng I, Kim Y, Gupta MC, Bridwell KH, Hurford RK, Lee SS, Theerajunyaporn T, Lenke LG. Apical sublaminar wires versus pedicle screws—which provides better results for surgical correction of adolescent idiopathic scoliosis? *Spine (Phila Pa 1976)* 2005 Sep;30(18):2104–12.
- [14] Cui G, Watanabe K, Nishiwaki Y, Hosogane N, Tsuji T, Ishii K, Nakamura M, Toyama Y, Chiba K, Matsumoto M. Loss of apical vertebral derotation in adolescent idiopathic scoliosis: 2-year follow-up using multi-planar reconstruction computed tomography. *Eur Spine J* 2012 Jun;21(6):1111–20.
- [15] Hwang SW, Samdani AF, Marks M, Bastrom T, Garg H, Lonner B, Bennett JT, Pahys J, Shah S, Miyajima F, Shuffelbarger H, Newton P, Betz R. Five-year clinical and radiographic outcomes using pedicle screw only constructs in the treatment of adolescent idiopathic scoliosis. *Eur Spine J* 2013 Jun;22(6):1292–9.
- [16] Lehman RA, Lenke LG, Keeler KA, Kim YJ, Buchowski JM, Cheh G, Kuhns CA, Bridwell KH. Operative treatment of adolescent idiopathic scoliosis with posterior pedicle screw-only constructs: minimum three-year follow-up of one hundred fourteen cases. *Spine (Phila Pa 1976)* 2008 Jun;33(14):1598–604.
- [17] Lee SM, Suk SI, Chung ER. Direct vertebral rotation: a new technique of three-dimensional deformity correction with segmental pedicle screw fixation in adolescent idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)* 2004 Feb;29(3):343–9.

## 高齢者脊髄損傷の疫学

松本 聡子\* 須田 浩太\*  
小松 幹\* 三浪 明男\*

**要旨:** 脊髄損傷の大規模全国発生調査から約 30 年が経過し、脊髄損傷の疫学は当時と様相を違えてきた。日本は超高齢社会を迎え高齢者特有の脊椎変性変化、強直脊椎 (DISH)、骨粗鬆症など脊髄損傷の潜在リスクを有しつつも、活動性の高い高齢者の増加などが背景となり、日本における高齢者脊髄損傷の発生は増加傾向にある。世界の動向は、経済的背景により地域間格差が大きいものの、北米、ヨーロッパ諸国など高齢化が進む地域では、日本同様発生年齢が高齢化している。日本では、平地転倒など軽微な外傷が主な受傷原因であり、回避可能なケースが多いと推察する。政策としての「高齢者の社会参加活動の促進」を安全に遂行するためにも、医学界からの高齢者脊損予防の啓発を積極的に行う必要がある。

### はじめに

世界保健機関 (World Health Organization ; WHO) の定義では 65 歳以上が総人口の 21% 以上を超えた社会を「超高齢社会」という。日本は 2007 年に 21.5% となり超高齢時代を迎え今年で 10 年となり、2025 年には 30.3%、2060 年に 39.9% に達すると予想されている (図 1)。2016 年現在、超高齢社会は、日本、イタリア、ギリシャ、ドイツ、ポルトガル、フィンランドの 6 カ国である<sup>1)2)</sup>。

特に日本の高齢化は世界に例をみない速度で進行している。世界のどの国も経験したことのない「長寿大国」日本における脊髄損傷 (以下、脊損) の疫学の特徴分析は人口分布に対する脊損発生ト

レンドを推測する上で有益である。増え続ける高齢者脊損にどう対応していくべきかを提言するためにも、継続的な全国疫学調査の重要性がますます高まっている。

### I. 日本

本邦における全国疫学調査はこれまでに 2 回実施されているが、登録患者数およびアンケート回収率から、第 1 回実施の調査が脊損発生の現状を推定するのに適切なものと考えられている<sup>3)-5)</sup>。1990 年から 1992 年にかけて行われ、登録患者数 9,752 名の大規模なものである。発生率は 40.2 人/100 万人/年、発生時年齢のピークは 59 歳で次に 20 歳の二峰性だった。頸髄損傷 (以下、頸損) は全体の 75% で平均年齢 51 歳、それより尾側の損傷は 40 歳と、頸損の年齢が高かった。平地転倒による受傷者の平均年齢は 61.7 歳で、高齢者ほど高所転落と平地転倒による受傷が多かった<sup>3)</sup>。その 10 年後には労災病院脊髄損傷統計センターが全国労災病院での登録患者をまとめたデータを発

\* Satoko MATSUMOTO HARMON et al, 北海道せき損センター

Demographic profile of spinal cord injury in Japan as a super-aging society

Key words : Epidemiology, Spinal cord Injury, Aging society

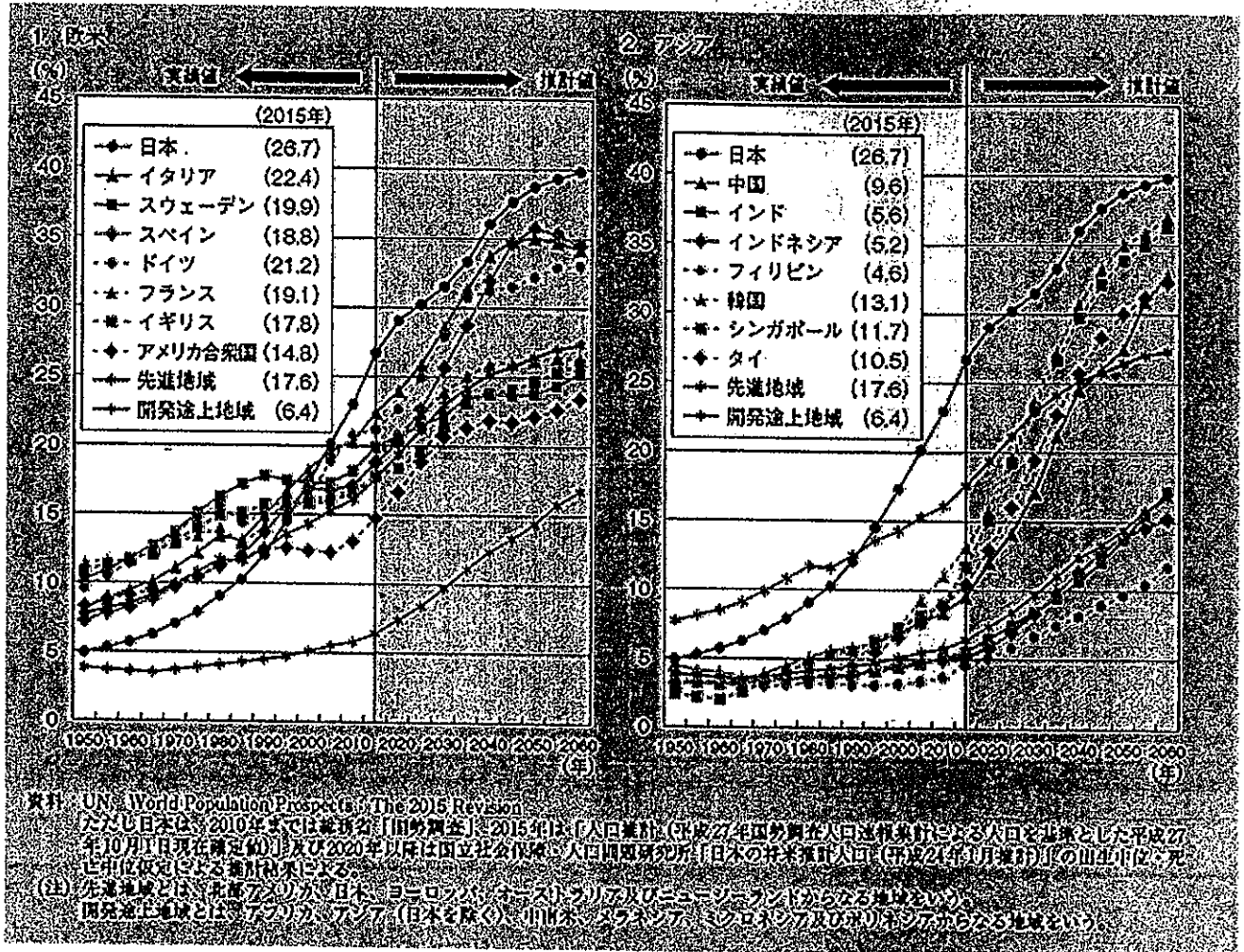


図1 世界の高齢化率。平成28年度版高齢社会白書より抜粋（内閣府）  
[http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2016/html/zenbun/sl\\_1\\_5.html](http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2016/html/zenbun/sl_1_5.html)

表した<sup>6)</sup>。421名の分析で61歳以上（117名）を高齢者群とした場合、高齢者群は高所転落が原因の1位で42.7%、次いで交通事故29.1%、転倒11.1%だった。若年者群での1位が交通事故32.6%、転倒はわずか5.9%と、年齢により受傷原因が異なっていた。

全国での新規脊損発生の詳細を把握する目的で、脊髄損傷登録管理事務局が福岡県で2006年に設立したのを皮切りに、日本脊髄障害医学会による定点調査が開始された。北海道、宮城県、千葉県、和歌山県、高知県で現在も調査が継続されている。福岡県では、県全体の発生率30.8人/100万人/年（高齢化率19.9%）が、高知県112.1人/100万人/年（高齢化率25.9%）<sup>7)</sup>と大きく異なり、県

内の高齢化率の異なる行政区別に発生予測値を分析した。結果は地域の高齢化率や年代別にかかわらず高知県のような高値はなかった（63.8～84.7人）<sup>8)</sup>。一方で徳島県からの報告では、2011年と2012年の発生率は121.4人、117.1人（100万人/年）で同じ四国の高知県の報告に類似している<sup>9)</sup>。われわれが行った北海道の発生調査では<sup>10)</sup>、2009年から2015年にかけて発生率は39.1人/100万人/年（高齢化率24.3%）から63.5人/100万人/年（高齢化率28.0%）へと増加した（図2）。この間、高齢化率は数%増加したが、発生率は1.6倍になっている。2015年のデータでは、発生数の23.7%が75歳以上で、北海道人口における75歳以上の割合13.7%を大きく上回る。75歳以上の発

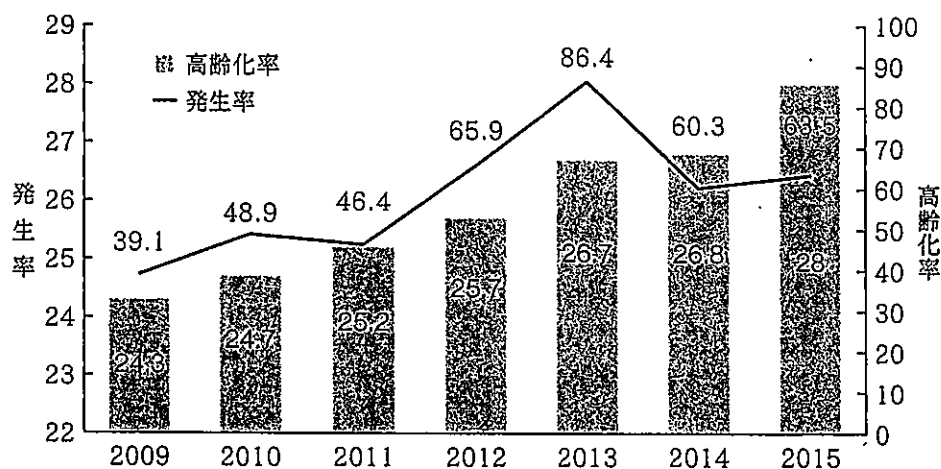


図2 北海道の新規脊損発生率と高齢化率

生率は117.1人で、特に75歳以上男性では239.1人と全体発生率の約4倍であった。高齢者が潜在的にもつ脊損発生の危険度を示しているといえる。また北海道という降雪地域特有の特徴もデータから見えてきた。2012年から2015年に当センターに搬送された全脊損患者372名のうち、降雪期の受傷が62%で、そのうち75歳以上が53%であった。滑って転倒しやすい屋外での歩行時転倒と、除雪など屋外での活発な活動中の受傷がほぼ同率であった。30年前の全国調査を行ったときよりも明らかに高齢者の脊損は増えてきている。年齢によらず活動性が高い高齢者の増加と、脊椎には高齢者特有の変性変化が存在していることが相まって、高齢者脊損発生数を押し上げていると考えられる。

内閣府発表の高齢社会対策大綱<sup>11)</sup>によると、高齢者の社会参加活動の促進は重要な項目として位置づけられている。高齢者、特に後期高齢者が安全な生活を送るためには、高齢者は脊損発生の潜在的リスクにさらされていることを啓発する必要がある。

## II. 海外の状況<sup>12)</sup>

国別に脊損の疫学を比較する際には、年齢・性別などと同様にその国の経済的状况を考慮して検討するのが一般的である。世界銀行により定義された年間国民総所得 (Gross National Income ;

GNI) 別の4分類 (Low, Low middle, Upper middle, High income) ごとに、それぞれ異なる傾向がみられている。世界全体で外傷性脊損の発症年齢は二峰性で、18~32歳と65歳以上で、高齢のピークは女性患者の増加が寄与している<sup>13)</sup>。日本を含む High income の国々 (西ヨーロッパ、北米、High income のアジア諸国、オーストラリア) では高齢化が顕著で、これらの国々では65歳以上のピークが大きく広がっており、四肢麻痺が Low energy の転倒で発症するのが特徴的である (日本75% vs 北米・オーストラリア47%、西ヨーロッパ51%)。北米で1935年から2008年に行われたコホート研究<sup>14)</sup>では (n=45,442)、1970年代に比べ、受傷時平均年齢は8.8歳上昇し、60歳以上が4.6%から13.2%に増加した。交通事故が引き続き受傷原因1位だが、特に高齢者では転倒・転落が多く、全体の受傷原因2位になっている。高位頸損例が12.3%から27.2%に増え、不全麻痺も43.9%から52.7%に増加し人工呼吸器管理例が1.5%から4.6%に増えている。年間死亡率は、麻痺が高度、より高位、年齢が高いほど、非脊損者に比べて数倍の開きがあった (70~74歳; 非脊損者2.6%、全脊損者8.4%、AIS A 10.8%、cervical AIS A 17.0%)。

WHO ISPCI (International Perspectives on Spinal Cord Injury) によると、外傷性と非外傷性脊損を合わせた新規発生率は40~80人/100万人/

年とされる。しかしながら非外傷性脊損に関する報告は少なく、オーストラリアでは非外傷性が26人/100万人/年と外傷性15人より多く、一方でカナダでは非外傷性53人に対して外傷性68人と、High incomeの国でも一定の傾向を見つけることは難しい。ISCoS (International Spinal Cord Injury Society) の分類によると<sup>15)</sup>、非外傷性脊損には変性変化に伴う脊柱管狭窄由来の脊損も含まれることから、日本における広義の脊損発生率は潜在的にもっと高いことが推測され、今後さらに増加していくことが示唆される。

#### 文 献

- 1) The World Bank : Population ages 65 and above (% of total) (<https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.65UP.TO.ZS?view=map>)
- 2) GLOBAL NOTE : 世界の高齢化率 (高齢化人口比率) 国際比較統計・推移 (<https://www.globalnote.jp/post-3770.html>)
- 3) Shingu H et al : A nationwide epidemiological survey of spinal cord injuries in Japan from January 1990 to December 1992. *Paraplegia* 33 : 183—188, 1995
- 4) 柴崎啓一 : 全国脊髄損傷登録統計—2002年1月～12月. *日脊会誌* 18 : 271—274, 2005
- 5) 坂井宏旭ほか : わが国における脊髄損傷の現状. *J Spine Res* 1 : 42—52, 2010
- 6) 住田幹男ほか : 日本における高齢者脊髄損傷の状況. *日職災医誌* 32 : 17—23, 2004
- 7) Tokioka T et al : Epidemiological survey on acute traumatic spinal cord injury in Kochi (in Japanese). *J JASCoL* 25 : 24—25, 2012
- 8) 坂井宏旭ほか : 脊髄損傷の疫学調査および評価法. *整・災外* 56 : 5—14, 2013
- 9) Katoh S et al : High incidence of acute traumatic spinal cord injury in a rural population in Japan in 2011 and 2012 ; an epidemiological study. *Spinal Cord* 52 : 264—267, 2014
- 10) 松本聡子ほか : 北海道における脊髄損傷の特徴—高齢者を脊髄損傷から守るためには. *日整会誌* 91 : S489, 2017
- 11) 内閣府 : 高齢社会対策大綱 平成28年度版高齢社会白書 (全体版). [http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2016/html/zenbun/s2\\_1\\_3.html](http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2016/html/zenbun/s2_1_3.html)
- 12) Lee BB et al : Demographic profile of spinal cord injury. *ISCoS Textbook on Comprehensive Management of Spinal Cord Injuries*, Wolters Kluwer, 36—51, 2015
- 13) Lee BB et al : The global map for traumatic spinal cord injury epidemiology ; update 2011, global incidence rate. *Spinal Cord* 52 : 110—116, 2014
- 14) De Vivo MJ et al : Trends in new injuries, prevalent cases, and aging with spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil* 92 : 332—338, 2011
- 15) ISCoS : International Spinal Cord Injury Data Set (<http://www.iscos.org.uk/sitefiles/International%20NTSCI%20dataset%20endorsed.pdf>)

\* \* \*

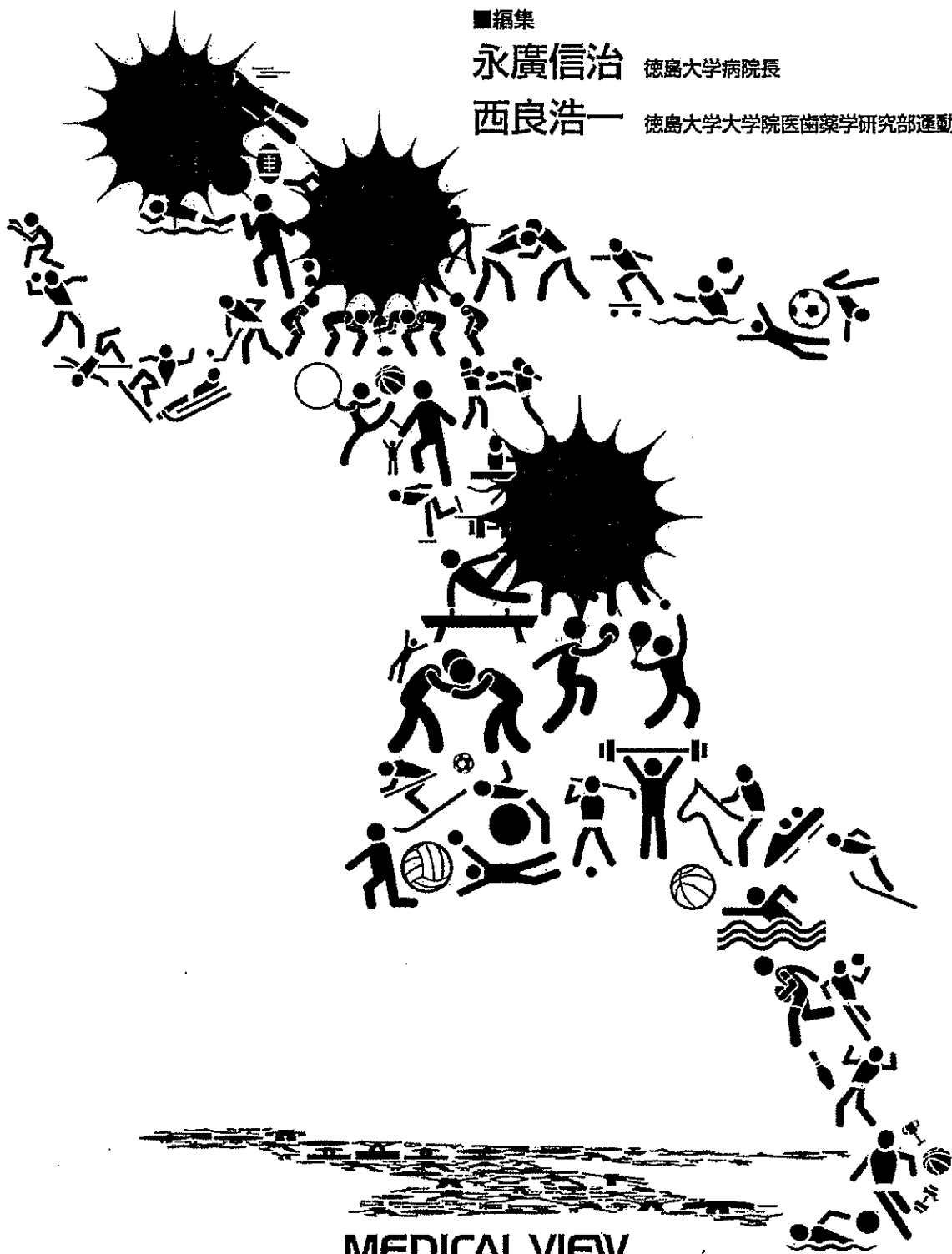
\* \*

# 頭頸部・体幹の スポーツ外傷

■編集

永廣信治 徳島大学病院長

西良浩一 徳島大学大学院医歯薬学研究部運動機能外科学教授



MEDICAL VIEW



### Ⅲ 頸部外傷

# 頸椎・頸髄損傷

前田 健 独立行政法人労働者健康安全機構総合せき損センター整形外科

## ● スポーツ外傷の発生と診断

### 発生する競技と診断

2006～2015年までの10年間で、総合せき損センターに入院加療となった脊椎・脊髄外傷症例801例のうち、スポーツ関連の症例(モータースポーツや海などへの飛込も含めて)は73例(9.1%)であったが、そのうち頸椎・頸髄損傷が54例を占めていた。体操(平行棒)中の転落と登山中の転落の2名のみが女性であったが、そのほか52例は全例男性であり、年齢は13～79歳、平均30歳であった。脊髄振盪が2例、上位頸椎外傷で麻痺なし例が2例あったが、残り50例はいずれもさまざまな程度の脊髄損傷を伴っていた。スポーツ種類別の頻度を表1に示す。原因として最も頻度の高いのは水中飛込に伴う頸椎損傷であり、続いてスキー、スノーボード、柔道と続く。以下原因スポーツ別にそれぞれの特徴を述べる。

#### ● 水中飛込(19例)

比較的水深の浅い水中に頭から飛び込むことにより、プール床や海底で頭部を強打し頸椎・頸髄損傷を生ずる。日本脊髄障害医学会・脊損予防委員会の啓蒙活動により、学校や公共のプールでの飛込事故の頻度は大きく減少しているが、レジャーに関連した海や川への飛込を含めると現在でも最も頻度の高い受傷原因である。年齢は若く平均22歳(14～44歳)、プール飛込が7例、プール以外が12例であった。特筆すべきは、プール飛込7例中、水泳部の部活中の飛込

表1 受傷原因別頻度

水中飛込はレジャー関連も含めた。

原因	症例数	平均年齢
水中飛込	19	22
スキー、スノーボード	5	38
柔道	4	20
トランスボウ	3	26
登山	3	70
空手	3	32
アマチュアレスリング	2	20
卓球	2	69
サッカー	2	31
体操	2	17
自転車	2	52
その他	24	



事故が3例あったことである。レジャーや遊びでのプール飛込のみならず、水泳選手でもリスクがあることに注意が必要である。

骨傷は特徴的である。19例中17例は頸椎屈曲外力+軸圧により生じたcompressive flexionタイプの骨傷であり、いわゆる涙滴骨片を認めていた。受傷機転からすればもっともな結果である。ほかの2例は屈曲外力により頸椎前方脱臼を生じていた。骨傷レベルはC5が最も多く7例が完全麻痺であったが、そのほか全例でなんらかの四肢麻痺を生じていた。

#### ●スキー、スノーボード(5例)

当センターは九州にあるため相対的な症例数は少なく、全例遠隔地よりヘリコプターなどの航空手段で搬送されている。スキーが2例、スノーボードが3例であった。比較的高齢の2例は滑走中の転倒に伴う頸椎過伸展により非骨傷性頸髄損傷を生じていた。ほかの3例は段差でのジャンプ、フリースタイルスキーでのエアなど危険を伴う手技により受傷しており、涙滴骨片や前方脱臼などの骨傷を生じていた。

#### ●柔道(4例)

全例なんらかの投げ技に絡んで受傷している。投げられて受傷した症例もあるが、逆に相手を投げようとして前のめりに転倒する症例もある。いずれにせよ頭部から畳に落ち、頸椎を過屈曲することにより受傷していた。そのため骨傷は特徴的で、全例が頸椎前方脱臼であった。

#### ●ラグビー、アメリカンフットボール(5例)

似たようなスポーツであるが、受傷機転はやや異なっているようである。ラグビーの場合、若年者の2例はいずれもスクラムが崩れ頭部が地面に接触し頸椎過屈曲を強制され前方脱臼を生じている。一方、アメリカンフットボールでは2例ともタックルの瞬間に生じており1例は頸椎過屈曲による前方脱臼、1例は涙滴骨片を生ずるcompressive flexion損傷である。すなわちアメリカンフットボールではヘルメットを装着しているため頭頂部から相手にぶつかりやすく、頸椎に軸圧がかかった状態で屈曲を強制され損傷したものと思われる。いずれにせよヘッドダウンした状態で頭からぶつかってしまうことが原因と考えられた。タックル時のヘッドアップの重要性があらためて認識される。ただし67歳でラグビー中に受傷した1例は頸椎過伸展損傷であり、高齢者においては脊柱管狭窄状態が内在している可能性があり、注意が必要である。

#### ●トランポリン、体操(5例)

トランポリン、体操いずれも空中での回転に失敗し頭部より転落して損傷している。回転がついているためか、軸圧よりも頸椎屈曲外力が大きいと考えられ、全例頸椎前方脱臼を生じている。

#### ●登山、ゴルフ(5例)

いずれも比較的高齢者に生じている。登山の3例は転落事故にて受傷しており、そのうち2例が非骨傷性頸髄損傷であった。ゴルフの2例はいずれもプレー中の転倒にて非骨傷性頸髄損傷を生じていた。

#### ●その他

自転車レースでの転倒、組み体操中の転落、サーフィン中の転落、走り高跳びでの着地失敗などでの頸髄損傷も散見された。

## ●スポーツ外傷の治療

先に記述した症例はすべて当センターに入院加療が必要となった比較的重症例である。以下では、軽症例を含め代表的な障害別に治療方針を記す。

### 神経根・腕神経叢障害

いわゆる burner 症候群, stinger 症候群 (stingers) とよばれるものである。接触スポーツで衝撃を受けた際、頸椎過伸展により神経根が圧迫されたり、側屈に伴い腕神経叢に過伸長外力が加わることにより生ずる。まれに鎖骨上の Erb's point に直接外力が加わることにより腕神経叢障害を生ずる。一侧の頸部痛、上腕痛、しびれ、脱力を生ずるが、症状は通常一時的なので、フィールド外で経過観察のみ行う。15分以内に症状が消失すればそのまま競技に復帰させてよいが、症状が1日以上持続するようであれば、症状の強さに応じてカラー装着、非ステロイド性抗炎症薬 (non-steroidal anti-inflammatory drugs ; NSAIDs) やリリカ<sup>®</sup>などの投薬を行うと同時に、ヘルニア、脊柱管狭窄、骨傷などの画像検索を行う。

### 脊髄振盪

Cervical cord neurapraxia (CCN) とよばれ、頸髄の一過性障害である。片側上肢症状を呈する burner 症候群と異なり、両上肢、両下肢、片側上下肢、あるいは四肢症状を呈する。通常は頸椎過伸展により脊髄が一過性に圧迫され生ずる。両上肢のアロデニア様症状を伴うことも多い。麻痺は数分～数日ではほぼ消失するが、受傷当初は不可逆的な脊髄障害や骨傷を伴う頸椎外傷との区別がつきにくいので、頸部の安静を保ちただちに専門病院に送るべきである。受傷直後四肢がまったく動かない状態でも、搬送途中で徐々に動きの改善がみられる。フィラデルフィアカラーを装着すると同時に、頸部痛や四肢のしびれ、痛みが強ければ NSAIDs やリリカ<sup>®</sup>、オピオイドなど対症療法を短期間行う。画像上脊柱管狭窄や軟部組織の損傷などがなければ、四肢症状の完全回復後カラーを除去する。脊柱管狭窄を合併している場合、予防的に頸椎手術(前方除圧固定、椎弓形成術など)を行うか否かは議論があるが、筆者らは基本的に手術適応とは考えていない。

### 非骨傷性頸髄損傷(図1)

ほとんどが頸椎過伸展損傷であり、高齢者に多い。スポーツ外傷以外も含めたすべての外傷性頸髄損傷のなかでは最も頻度の高い頸髄損傷型であり、近年高齢者のスポーツ参加が増すなか、スポーツに伴う非骨傷性頸髄損傷の頻度も増加している。典型的には中心性頸髄損傷(上肢に強い不全麻痺)を生ずるが、完全麻痺となることもある。非骨傷性といえども前縦靱帯や椎間板などの断裂、椎体や椎弓のマイナーな骨折などを合併していることが多い<sup>1)</sup>。それゆえ受傷直後には椎体後方すべりなどの椎間不安定性が認められることもあるが、3週間程のフィラデルフィアカラー固定で椎間安定性が得られる。また、変性や靱帯骨化などで脊柱管狭窄が内在している症例も少なくない。除圧術の適応には議論があるが、受傷前に脊髄症状のまったくみられなかった症例に対する除圧術の効果はいまだ不明瞭であり、当センターでは基本的に除圧術は行わずカラー固定のみ施行し、早期離床、早期リハビリテーションを目指している。3週間程の単純なフィラデルフィアカラー固定で、除圧術を施行した場合と遜色のない程度の

麻痺回復が得られている<sup>2)</sup>。高齢者に多く、C3/4高位での損傷頻度が高いため、経過中の呼吸器合併症には特に注意が必要である。

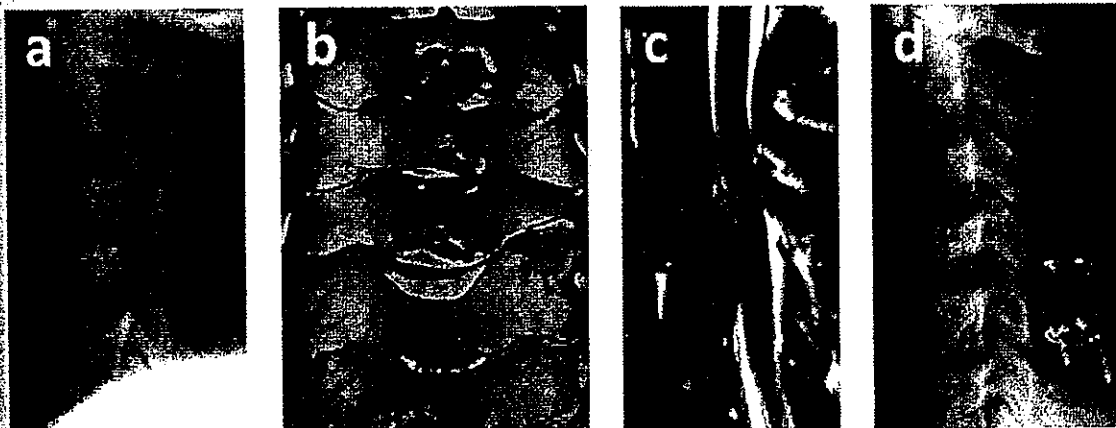
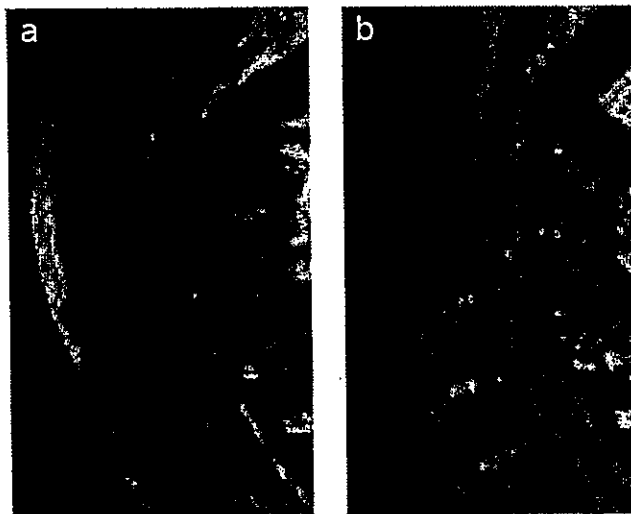
### 頸椎前方脱臼(図2)

骨傷のなかでは最も頻度が高い。可及的早期の整復と内固定術が必要となる。整復に伴い脱出したヘルニアや断裂した黄色靭帯のたぐれ込みなどにより麻痺の増悪をきたすリスクがある。そのため tong やハローリングを用いた意識下の牽引による整復をまず試みる施設も多い。筆者らは即日観血的に後方整復固定術を施行しているが、事前のMRIにて椎間板の脱出や強い脊柱管狭窄状態があれば、観血整復固定術を後方から施行した後に体位を交換し、一期的に前方除圧固定術を併用している。後方固定術はlateral mass screw か棘突起 wiring + 腸骨のサンドイッチグラフトを施行している。前方固定術は通常1椎間の国分法による腸骨移植術を施行している。術後はフィラデルフィアカラーを約6週間使用する。

#### 図1 非骨傷性頸髄損傷

79歳, 男性。ゴルフ場で転倒し受傷。カラーのみの保存療法にてASIA Impairment Scale(AIS)CからDへ改善。

- a: 受傷直後のMRI T2強調像。椎体前面の軟部にT2高信号病変を認める。髄内は淡くT2高信号となっている。
- b: 受傷後半年のMRI T2強調像。C3/4の責任病変に髄内T2高信号領域が残存。



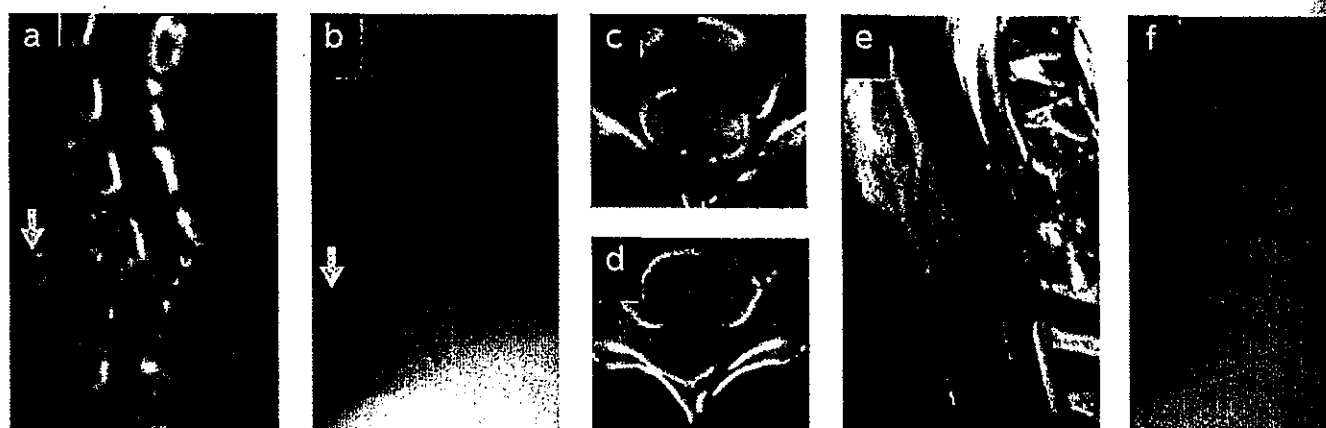
#### 図2 C4前方脱臼

17歳, 男子。柔道試合中に技をかけようとして前方に転倒し受傷。当日、一期的前方後方固定術を施行。受傷直後AIS C, 退院時AIS D。

- a: C4前方脱臼を認める。
- b: C4/5間で右片側ロッキングと上関節突起先端の小骨折を認める。
- c: MRIにて椎間板の脱出を認める。
- d: 術後X線像。

### 涙滴骨片を伴う椎体骨折 (compressive flexion 損傷) (図3)

頚椎をやや屈曲した状態で頭頂部から軸圧がかかり生ずる。当センターでは17例中14例が水中飛込によるものであった。涙滴骨片を伴う典型例では、椎体の縦骨折と椎弓骨折を合併している。手術が必要か否かは椎体破壊と後方靭帯損傷の程度による。Allenらはcompressive flexion 損傷をその程度により5段階に分類している(表2)。Stage1, 2であればフィラデルフィアカラー固定でよい。Stage3, 4であれば内固定術の適応となるが、症例によりハローベストによる保存療法も可能である。内固定術はプレートを併用した前方からの椎体切除、腸骨移植術を行うか、後方よりlateral mass screwを用いて後方固定術を施行する。転位の強いStage5となれば、後方前方合併手術の適応となることが多い。



【図3】 Compressive flexion 損傷(Stage5)

- 34歳, 男性。飲酒後, 海の浅瀬に飛び込み受傷。AIS A。  
 a, b: C5椎体の後方脱臼と同椎体前方に涙滴骨片(⇨)を認める。  
 c: C5椎体の縦骨折とその前方の涙滴骨片。  
 d: C6椎体にも縦骨折を認める。  
 e: MRI T2強調像。  
 f: 一期的後方前方固定術を施行。

【表2】 Compressive flexion 損傷のAllen分類

Compressive flexion stage	特徴
Stage1	椎体上前方の鈍化
Stage2	椎体前方の椎体高減少(くちばし状変形)
Stage3	涙滴骨片あり; 椎体後方転位なし
Stage4	涙滴骨片あり; 椎体後方転位 < 3 mm
Stage5	涙滴骨片あり; 椎体後方転位 > 3 mm

## ● 競技復帰と予防

### 予後と競技復帰

不幸にして脊髄障害を合併した場合、ほとんどの例で多かれ少なかれ脊髄症状が遺残するため元の競技への復帰は不可能となる。ただし経過中になんらかの麻痺改善がみられることが多く、リハビリテーション次第でADLは大きく改善する。どの程度麻痺改善が得られるかは受傷時の脊髄損傷程度によるところが大きく、受傷直後完全麻痺であれば残念ながら完全麻痺のままである確率が相当に高い。当センターの調査では、最終的になんらかの手段で歩行可能 (Frankel D) となる確率は、受傷初期に完全麻痺 (Frankel A) であれば4%、運動完全麻痺、知覚不全麻痺 (Frankel B) であれば約40%、運動知覚不全麻痺だが歩行不能 (Frankel C) であれば約80%であった。歩行も含めたADL獲得に関しては年齢に依存する部分もきわめて大きく、若い患者であればリハビリテーション効果が大きく期待できる。

一方、脊髄障害を遺残していない症例に関して、元の競技への復帰が可能か否かはそれぞれの症例に応じて決められるが、いまだ一定の基準はなくさまざまなreturn to play criteriaが提唱されている<sup>4-6)</sup>。特に、一度CCNを経験した選手に対する扱いには議論が多い。スポーツに伴うCCN経験者の約半数は複数回経験していたという報告がある一方<sup>7)</sup>、永続的な脊髄障害を起こしたスポーツ選手に過去のCCN経験者はいなかったという報告もある<sup>4)</sup>。すなわち、CCNを一度でも起こすと、スポーツ復帰後再びCCNを起こすリスクは比較的高いが、永続的な脊髄障害を起こすリスクはかなり低いと考えられる。CCNが一度でもあれば相対的なリスクがあるともいわれるが、一般的には表3に挙げられるような条件がすべて揃っていれば競技復帰には問題がないことはある程度コンセンサスがあるようである。その一方で、複数回のCCN、MRI上の髄内輝度変化、脊柱管の狭窄、3.5mm以上のすべりなどがあれば、競技復帰すべきではないとする報告が多い。また、脊髄症状の既往がなくても、burner症候群を繰り返している場合や神経根痛が長期間遺残している選手は、競技復帰へのrelative contraindicationといわれている<sup>4-6)</sup>。

脊椎手術を受けた場合、中下位頸椎の1椎間固定に関しては、癒合が得られ臨床的に問題なければ競技復帰に支障はないといわれており、隣接椎間障害の発生率も一般症例より多いという報告はない。一方、3椎間以上の固定、C1-2固定、椎弓切除術後などでは競技復帰すべきではない (absolute contraindication) とされている<sup>4-6)</sup>。

**表3** CCN既往選手における競技復帰の十分条件

少なくともこれらの条件をすべて満たせば競技復帰に問題はない。  
いずれか条件が満たない場合は、スポーツの種類や症例に応じて検討する。

#### CCN既往選手における競技復帰の条件

- CCNが1回のみ
- 麻痺が完全回復
- 頸部痛がない
- ROM制限がない
- 脊柱管狭窄や脊椎アライメント異常がない



## 予防

回避することが難しい突発的な事故が多いが、事前の啓蒙と注意により避けることができる頸椎・頸髄損傷もある。まず第一に、安易な水中への飛込がいかに危険を伴うかを広く周知させることが重要である。学校の授業やプールでの飛込の禁止はもちろんのこと、水泳選手であっても水深が浅ければ頸椎損傷が起こりうることを認識する必要がある。レジャーの場では、飲酒後の飛込は特に危険であり避けるべきである。次にアメリカンフットボールやラグビーなどの接触スポーツにおいて、タックル時、あるいはラックの際のヘッドダウンの危険性について十分な指導が必要である。また、柔道で畳に頭から落ちそうなとき、防御姿勢を取ろうとして反射的に頸椎を屈曲することの危険性についても指導が必要であろう。

## 文献

- 1) Maeda T, Ueta T, Mori E, et al. Soft tissue damage and segmental instability in adult patients with cervical spinal cord injury without major bone injury. *Spine* 2012; 37: E1560-6.
- 2) Kawano O, Ueta T, Shiba K, et al. Outcome of decompression surgery for cervical spinal cord injury without bone and disc injury in patients with spinal cord compression: a multicenter prospective study. *Spinal Cord* 2010; 48: 548-53.
- 3) Allen BL, Ferguson RL, Lehmann TR, et al. A mechanistic classification of closed, indirect fractures and dislocations of the lower cervical spine. *Spine* 1982; 7: 1-27.
- 4) Torg JS, Ramsey-Emrhein JA. Suggested management guidelines for participation in collision activities with congenital, developmental, or postinjury lesions involving the cervical spine. *Med Sci Sports Exerc* 1997; 297 (Suppl): S256-72.
- 5) Vaccaro AR, Klein GR, Ciccoli M, et al. Return to play criteria for the athlete with cervical spine injuries resulting in stinger and transient quadriplegia/paresis. *Spine J* 2002; 2: 351-6.
- 6) Cantu RV, Cantu RC. Current thinking: return to play and transient quadriplegia. *Curr Sports Med Rep* 2005; 41: 27-32.
- 7) Torg JS, Gúille JT, Jaffe S. Injuries to the cervical spine in American football players. *J Bone Joint Surg Am* 2002; 84: 112-22.

Clinical Practice for Advanced  
Orthopaedic Surgeons

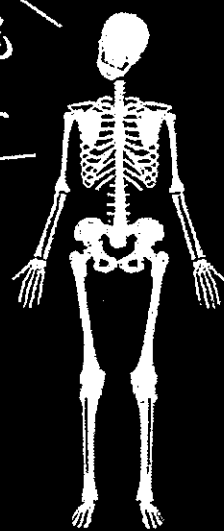
編  
富士武史  
田辺秀樹  
大川 淳

# 専門医の 整形外科 外来診療

—— 最新の診断・治療

専門医による  
専門医のための  
外来診療ガイド

病棟でも試験でも  
役立ちます



症候診断から始まる治療選択，  
保存的治療の実際と奥の手，  
知っておくべき最新治療を一冊に凝縮！

南江堂



4) 複合性局所疼痛症候群 (CRPS)	有野 浩司	81
5) コンパートメント症候群	峰原 宏昌・松浦 晃正・新藤 正輝	84
6) 骨癒合不全 (偽関節)	渡部 欣忍・佐々木 源・河野 博隆	88
7) 開放骨折	前 隆男	93
8) 壊死性筋膜炎, ガス壊疽, 破傷風	横田順一朗	97
a. 壊死性筋膜炎		97
b. ガス壊疽		99
c. 破傷風		100
9) 骨髓炎, 関節炎	篠原 一仁	102
10) 骨・軟部腫瘍	土谷 一晃	106
11) 静脈血栓塞栓症	富士 武史	112
12) 骨端症	町田 治郎	116
13) 末梢神経麻痺	赤根 真央・岩月 克之・平田 仁	119
14) 筋筋膜性疼痛症候群 (線維筋痛症, リウマチ性筋痛症も含む)	千葉 一裕	123
<b>② 体 幹</b>		
1) 変形性脊椎症	千葉 一裕	126
2) 脊柱靭帯骨化症 ——後縦靭帯骨化症 (OPLL), 黄色靭帯骨化症 (OLF) ——	大川 淳	129
3) 脊椎炎	大脇 肇	133
a. 強直性脊椎炎		133
b. 感染性脊椎炎		135
4) 側弯症	山崎 健	137
5) 成人脊柱変形	長谷川智彦・松山 幸弘	143
6) 頸椎症, 頸椎椎間板症, 頸部脊髓症, 頸部神経根症, crowned dens syndrome	岡田英次朗・松本 守雄	147
7) 頸椎症性筋萎縮症	齋藤 貴徳	152
8) 上位頸椎疾患	山崎 正志	157
9) 頸肩腕症候群	細野 昇	162
10) 斜 頸	伊部 茂晴	165
a. (先天性) 筋性斜頸		165
b. 痙性斜頸		167
11) 首下がり	國府田正雄	168
12) 胸郭出口症候群	島田 幸造	171
13) 腕神経叢損傷	島田 幸造	175
14) 腰痛症	川口 善治	179
15) 腰椎椎間板ヘルニア	竹下 克志	183
16) 脊椎分離症 (分離すべり症)	竹林 庸雄・山下 敏彦	187
17) 腰部脊柱管狭窄症	伊東 学	190
18) 脊椎損傷	前田 健	194
19) 脊髓損傷	河野 修	198
20) 骨粗鬆症性椎体骨折	豊根 知明	201
21) 脊椎・脊髓腫瘍	岩波 明生・中村 雅也	205
22) 骨盤骨折	佐藤 徹	210

## ここ10年でわかったこと

## 【頻度】

・新規脊椎損傷患者の発生頻度は約30~40人/100万人であり、これは1990年の全国調査時と比較し変化はない。ただし、平均年齢は48.6歳から60歳に上昇し、高齢者の非骨傷性頸髓損傷を用心とした不全麻痺例が増加している。

## 【中下位頸椎】

・非骨傷性頸髓損傷は最も頻度の高い頸髓損傷であり、基本的には頸椎過伸展損傷である。画像上明らかな脱臼・骨折はないが、多くの症例で前縦靱帯や椎間板などの軟部支持組織の損傷を伴っている(図1)。しかし、3週間程度のフレキシブルカラーによる保存的治療で損傷椎間の安定性が得られやすい。脊柱管狭窄を伴う症例に対しては、近年早期の除圧術を勧める論文が散見されるが、早期手術的治療が真に有用だというレベルの高いエビデンスは存在しない。ランダム化試験では、手術的治療と保存的治療で差がなかった<sup>2)</sup>。ただし、受傷後1~3日以内の早期手術が有用である可能性があり、現在前向き試験が進行中である。

## 【胸腰椎】

・麻痺発生の因子として、後方靱帯要素(棘上棘間靱帯、黄色靱帯、関節包)損傷の有無が重要である。破裂骨折であっても、後方靱帯損傷がなければ外固定による保存的治療を選択しうる。

## ① 本疾患の概念——骨折型、分類

## i 上位頸椎

・頻度の高い骨折として、環椎破裂骨折(Jefferson骨折)、齒突起骨折、ハングマン骨折(軸椎関節突起間部骨折)があげられる。

## ii 中下位頸椎

・外傷メカニズムをもとに分類したAllen-Ferguson分類では、骨折型を8つに分類している<sup>3)</sup>。最も頻度の高い骨傷はdistractive-flexion injury(前方脱臼、図2)であり、次にcompressive-flexion injury(涙滴骨折型、図3)の頻度が高い。subaxial cervical spine injury classification(SLIC)では、①骨折形態、②椎間板靱帯損傷、③麻痺による3項目で点数化することにより、手術適応の指針を示せるとしている<sup>4)</sup>。

## iii 胸腰椎

・Denis分類<sup>5)</sup>では脊椎の運動単位をanterior, middle, posteriorに3分割し、骨折型を①圧迫骨折、②破裂骨折、③シートベルト型骨折、④脱臼骨折に分け(表1)、middle columnの重要性を強調している。また、不安定性をきた

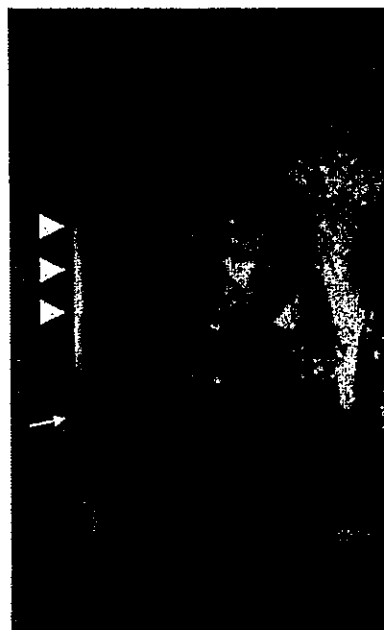
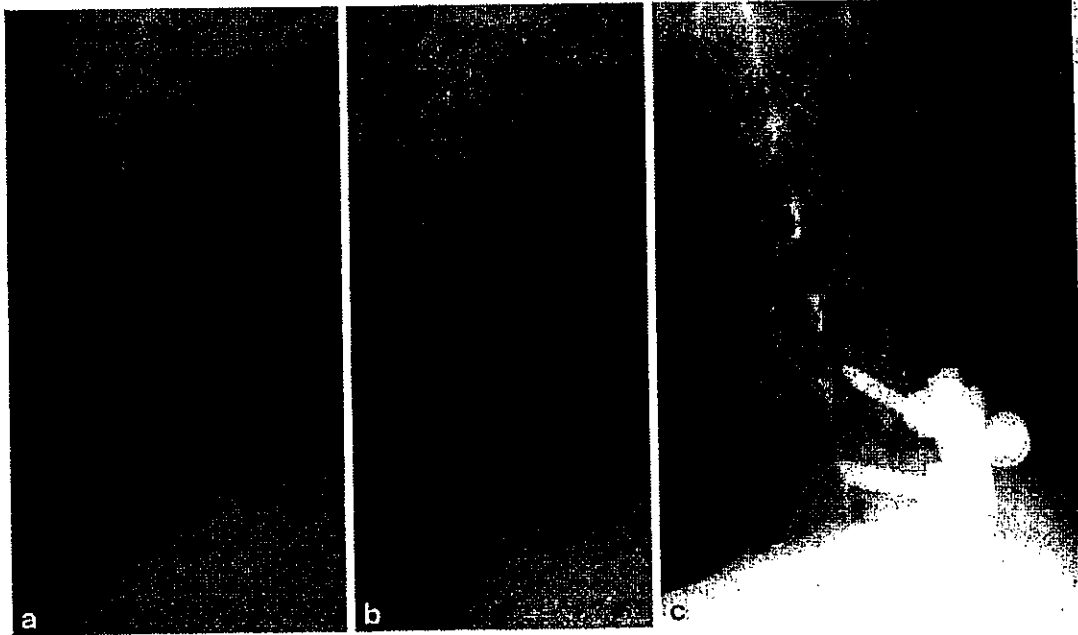


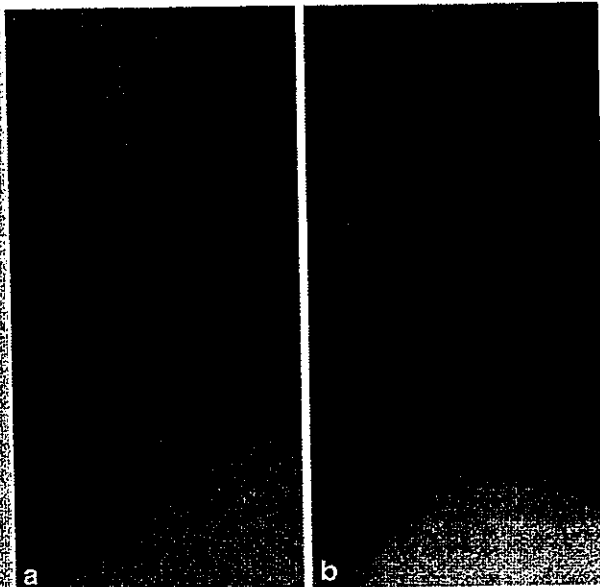
図1 非骨傷性頸髓損傷例のMRI T2強調画像

髄内のT2高信号変化がみられる。椎間板や前縦靱帯の損傷(矢印)、椎体前方のT2高信号領域(矢頭)も認められる。



**図2** 頸椎前方脱臼

- a : C4 前方脱臼 (distractive-flexion injury).  
 b : 後方ワイヤリングによる固定.  
 c : lateral mass screw による固定.



**図3** 涙滴骨折

- a : 涙滴骨折を伴う compressive-flexion injury.  
 b : 前方椎体固定術後.

さない minor injury として、横突起骨折、関節突起骨折、外傷性分離、棘突起骨折をあげている。thoracolumbar spine injury classification (TLIC)<sup>6)</sup> では、頸椎における SLIC 同様、①骨折形態、②後方靱帯要素の損傷、③麻痺による3項目で点数化し、手術適応の指針とした。

TLIC では棘間棘上靱帯や黄色靱帯、関節包などの後方靱帯要素を重視している。最近、煩雑な AO 分類 (Magerl 分類) を大幅に簡略化した新 AO 分類が発表された (表 2)<sup>7)</sup>。

## ② 診察と検査のポイント

### i) 診察

- 脊椎局所の圧痛や運動痛とともに、四肢、骨盤、頭部、胸腹部などの合併損傷にも注意する。
- 皮膚外傷の部位により、受傷機転が類推できることがある。たとえば、非骨傷性頸髄損傷であれば前額部などに挫創があることが多く、頸椎過伸展損傷が推定される。
- 神経学的診察は次項「脊髄損傷」に譲る。

### ii) 画像検査

- 比較的軽傷の頸部外傷患者では、頸椎3方向 (正面、側面、開口位)、あるいは CT によるスクリーニングが勧められる。
- X線側面像での retropharyngeal space の拡大は、重大な椎間支持組織の損傷を疑う。目安は「6 at 2, 2 at 6」(C2 レベルで 6 mm, C6 レベルで 2 mm) である。

**表1** Denis 分類

type of fracture	column		
	anterior	middle	posterior
compression	compression	none	none or distraction
burst	compression	compression	none
seat-belt-type	none or compression	distraction	distraction
fracture/dislocation	compression, rotation, shear	distraction, rotation, shear	distraction, rotation, shear

[文献5より]

**表2** 新 AO 分類

大項目		細目	
A	compression	後壁損傷 なし	A0: マイナーな骨折 (横突起, 棘突起など)
			A1: 上位または下位終板骨折
			A2: 上位 + 下位終板骨折
		後壁損傷 あり	A3: 不全破裂骨折 (上位または下位終板損傷)
			A4: 完全破裂骨折 (上位 + 下位終板損傷)
B	tension band injury		B1: 後方 tension band injury (骨性)
			B2: 後方 tension band injury (靭帯性 ± 骨性)
			B3: 前方 tension band injury
C	displacement/translation	なし	

[文献7より]

- 不顕性骨折の鑑別に最も有用な検査は MRI であり, T1 強調画像での低信号, あるいは脂肪抑制 T2 強調画像での高信号が特徴である。
- MRI にて潜在的な椎間支持組織損傷や軟部組織損傷を診断することができる (図1)<sup>1)</sup>。損傷脊髄は T2 高信号を呈する。
- 頸椎前方脱臼の自然整復例は見逃しやすく, 注意が必要である。医師による慎重な動態撮影により, はじめて前方脱臼が判明することもある。初診時の動態撮影で異常がなく, 後日坐位での撮影で判明することもある。

### ③ 患者・家族への説明のコツ

#### ii 手術の必要性

- 手術の目的は, ①脊柱の安定性を確保すること, ②脊髄の圧迫因子を除去すること, の2点である。手術を行うことで, 脊髄の二次損傷を抑え, 早期の離床, リハビリテーションを可能にする。ただ, 患者・家族は麻痺に対する過度な期待をもっていることがあるので, 障害を受けた脊髄そのものを手術により治療するわけ

はないことをあらかじめ説明しておくことが重要である。

#### iii 予後, 合併症

- 麻痺患者の予後, 合併症は「脊髄損傷」の項に譲る。

## ④ 外来における治療

#### ii 上位頸椎

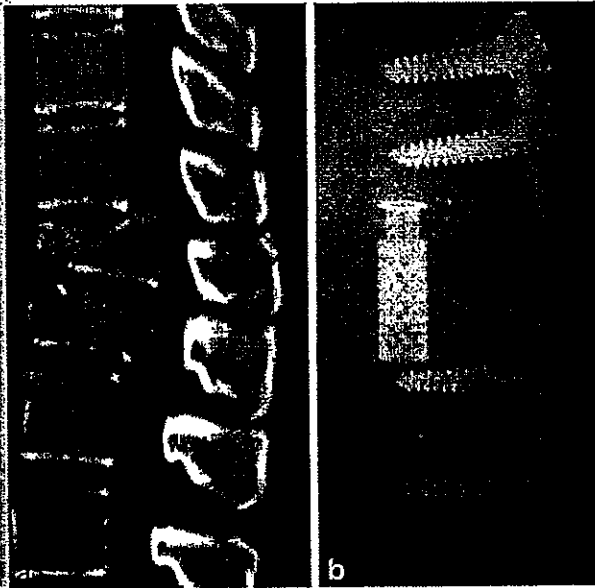
- ハローベストなどによる保存的治療を選択することが多い。不安定性が強い症例は手術を選択する。偽関節となっても問題とならない場合もあり, 特に高齢者であればフィラデルフィアカラーでの簡便な保存的治療を選択することもある。

#### iii 中下位頸椎

- フィラデルフィアカラーを装着し, 必要に応じて専門医へ搬送する。場合によりハローベストによる固定を行う。

#### iii 胸腰椎

- 横突起骨折などの minor fracture であれば, 軟性コルセットを作成し痛みに応じた自宅安静を



**図4 破裂骨折**  
 a: 椎体粉碎の強い胸腰椎破裂骨折。  
 b: 後方前方合併手術。

指示する。圧迫骨折や後方靭帯損傷のない軽度の破裂骨折であれば硬性コルセットや体幹ギブスなどで保存的治療を行う。

- ・頸髄損傷や胸部合併症を有する胸腰椎損傷では、常に呼吸器合併症に注意を払う。初診時バイタルサインが安定していても、しばしば急変することがある。

### ⑤ 専門医への紹介のタイミング

- ・原則的に、麻痺例や手術を要する骨傷例はできるだけ早く専門医への搬送をめざす。

### ⑥ 最近の手術方法

- ・頸椎前方脱臼では、整復後後方からの棘突起ワイヤリングが主流であったが、近年では外側塊スクリューが使われることが多い(図2)。頸椎椎弓根スクリューも場合により有用であるが、多くの場合必ずしも必要としない。

- ・胸腰椎部破裂骨折に対する後方固定に対しては、透視下に経皮的にスクリューやロッドを挿入する最小侵襲脊椎安定術(MIST)を選択する施設が増えている。ただ、通常の切開手術との優劣は明瞭ではない。椎体の粉碎が強ければ前方椎体置換術を併用する(図4)。

### ⑦ リハビリテーション

- ・局所の痛みに応じて日常生活動作(ADL)拡大をめざす。ハローベスト装着例は、呼吸器合併症やピン刺入部の感染、ゆるみなどに注意する。ピンは刺入後24~48時間で再度トルクを確認し、締め直す。ロッド-リングの接続部は週1回定期的に締め直すようにして、ゆるんでいないことを確認する。
- ・麻痺患者のリハビリテーションに関しては、「脊髄損傷」の項に譲る。

### ■文献

- 1) Maeda T et al : Soft tissue damage and segmental instability in adult patients with cervical spinal cord injury without major bone injury. Spine 37 : E1560-E1566, 2012
- 2) Kawano O et al : Outcome of decompression surgery for cervical spinal cord injury without bone and disc injury in patients with spinal cord compression : a multicenter prospective study. Spinal Cord 48 : 548-553, 2010
- 3) Allen BL et al : A mechanical classification of closed indirect fractures and dislocations of the lower cervical spine. Spine 7 : 1-27, 1982
- 4) Vaccaro AR et al : The sub-axial cervical spine injury classification system (SLIC) : a novel approach to recognize the importance of morphology, neurology and integrity of the disco-ligamentous complex. Spine 32 : 2365-2374, 2007
- 5) Denis F : The three column spine and its significance in the classification of acute thoracolumbar spinal injuries. Spine 8 : 817-831, 1983
- 6) Vaccaro AR et al : A new classification of thoracolumbar injuries. Spine 30 : 2325-2333, 2005
- 7) Vaccaro AR et al : AOSpine thoracolumbar spine injury classification system. Spine 38 : 2028-2037, 2013

**特集** 高齢者の脊髄損傷

## 高齢者脊髄損傷の臨床像

— overview —

前田 健\*

**要旨:** 高齢化社会の到来に伴い、本邦では今や外傷性脊髄損傷患者の中心は60歳以上の高齢者となっている。なかでも転倒など軽微な外傷機転による非骨傷性頸髄損傷と、骨粗鬆症に伴う胸腰椎偽関節後の遅発性脊髄麻痺例の増加が目立っている。頸髄損傷の場合、筋力で評価する神経学的回復は必ずしも高齢者で劣っているわけではないが、たとえ筋力がある程度得られても、歩行やその他のADL機能は高齢者で著しく劣っており、また痛みの程度も高齢者で強い傾向にあった。このような高齢者におけるADL獲得の障害は退院後の自宅復帰を困難とし、結局は寝たきりに近い状態となるリスクを伴っている。様々な合併症に対処しながら長期のリハビリテーションを実行できる施設の充実が望まれる。

### はじめに

本邦における外傷性脊髄損傷の新規発生率は、100万人あたり年間30~50例とほぼ一定の頻度で推移していると考えられ、国際的にみても他の先進諸国内での頻度と同様である。ただ、本邦ではその極端な高齢化に伴い受傷患者の高齢化が急速に進んでおり、一昔前の脊髄損傷のイメージとは異なりつつある。メディアに取り上げられる脊髄損傷患者は、「事故による脊髄損傷後に、リハビリや社会でがんばる若者」像が多い。しかし実際の臨床現場では、60歳以上の高齢で受傷する患者が中心であり、80歳以上の新患患者もまれではない。さらに生命予後の改善から既受傷者の高齢化問題もある。本企画は「高齢者の脊髄損傷」がテ

マであるが、これは決して脊髄損傷の特殊分野ではなく、今や脊髄損傷の中核をなすテーマといえるだろう。本稿では、総合せき損センターのデータを中心に、高齢者脊髄損傷、特に頸髄損傷の臨床像、転帰を概説する。

### I. 疫学/受傷機転

高齢化や自動車運転に関わる意識や環境の変化に伴い、脊椎・脊髄損傷の受傷原因にも変化がみられる。Shinguら<sup>1)</sup>による1990~1992の全国的サーベイによると、新規脊損患者の平均年齢は48.6歳で20歳代と50歳代に2つのピークがみられる(表1)。また完全麻痺患者が33.7%を占めていた。総合せき損センターで行われている福岡県データベースによると<sup>2)</sup>、2013年時点で新規脊損患者平均年齢63.7歳となっており、ピークは70歳代に一峰化している。完全麻痺の頻度は12.1%に減少し不全麻痺が増加していた。これらのデータからみてとれることは、若年者の高エネルギー外傷による骨傷を伴う脊髄損傷の頻度が減少し、

\* Takeshi MAEDA, 総合せき損センター, 整形外科  
Traumatic spinal cord injury in elderly patients ;  
overview

Key words : Traumatic spinal cord injury, Elderly patients, Prognosis

表 1 新規脊椎損傷患者の推移

	全国 (1990~1992)	福岡 (2013)
平均年齢	48.6	63.7
新規患者予測値 (人/100万人)	40.2	36.2
Frankel A/B/C/D	33/16/27/24	15/10/32/43
年齢分布	20歳代と50歳代にピークを持つ 二峰性	70歳代にピークを持つ 一峰性

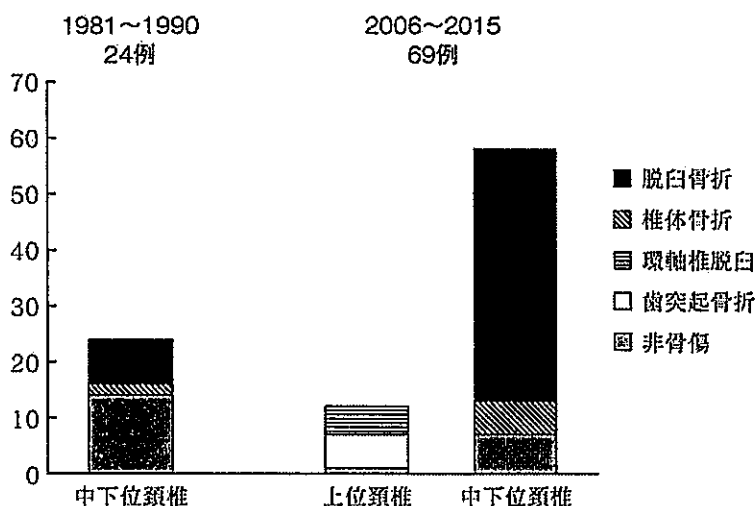


図 1 高齢者脊椎外傷手術症例の推移：頤椎

高齢者の転倒など低エネルギー外傷による非骨傷性頤髄損傷の頻度が増加傾向にあるということである。最近の非骨傷性頤髄損傷患者の調査<sup>3)</sup>では、受傷機転として転倒や転落によるものがそのほとんどを占めている。特に目立つのは、①高齢者の高所作業中（剪定、はしご作業など）の転落と、②飲酒後の転倒であった。若年者の高所作業中転落に伴う頤髄損傷は少なく、高齢者の「まだまだ自分はできる」という感覚と、実際の身体能力低下とのギャップがあることを痛感する。

## II. 脊椎外傷症例の実態

### 1. 高齢者手術症例の推移

実際脊椎外傷の患者層はどのように変化したのであろうか。総合せき損センターにおける開設初期の10年（1981~1990）と最近の10年（2006~

2015）の、高齢者（ $\geq 70$ 歳）脊椎外傷手術症例を比較したものを図1（頤椎）、図2（胸腰椎）に示す。頤椎外傷に関しては初期の10年は24例と少なく非骨傷性頤髄損傷に対する手術症例が最も多かった。上位頤椎手術例はなかった。最近の10年は手術症例数が69例と増加しており、なかでも脱臼骨折（多くは前方脱臼）の増加が目立つ。これは社会の高齢化に伴う高齢者脱臼骨折例の絶対数増加によるものと考えられる。一方上位頤椎手術例の増加は、患者の絶対数増加に加え手術適応の拡大が関与していると思われる。逆に、非骨傷例頤髄損傷の手術症例は減少しているが、保存的治療への治療方針変換が大きく関与している。胸腰椎外傷に関しては高齢手術例の増加がより顕著であり、初期の10年はわずか14例であったのに対して、近年は156例と増加していた。Ankylosing

spine などの骨折/脱臼例も増加しているが、特に目立つのは遅発性脊髄障害などを伴う胸腰椎偽関節手術例の増加である。

2. 急患入院例：最近の実態

非手術例も含めた急患入院例を調査した。2013～2015年の3年間で総合せき損センターに受傷後3日以内に入院した外傷症例を表2に示す(胸腰椎偽関節例は含まない)。頸髄・頸椎損傷の中では非骨傷性頸髄損傷が最も多く64%を占めており、他の頸椎骨傷例と比べ平均年齢が高く4割以上が70歳以上である。非骨傷性頸損は、欧米では中心性頸髄損傷と同義語的に扱われることが多いが、初診時完全麻痺 (ASIA A) 例も36%認めら

れた。代表的な骨傷である前方脱臼例は半数以上が完全麻痺例であり、ほとんどが男性であった。

頸髄損傷急性期の合併症としては呼吸器合併症が最も重要であるが、高齢者は当然そのリスクも高くなる。気管切開のリスクファクターを検討すると、受傷脊髄レベル (C5より近位) のほかに、完全麻痺であることと、高齢 (>70歳) であることが有意に関連していた<sup>9)</sup>。

3. 経過 (頸髄損傷)

2006～2015年の10年間において、受傷後3日以内に総合せき損センターに入院した頸髄損傷症例で受傷後6カ月以上入院加療を行った140症例の麻痺経過を表3に示す。受傷後6カ月時点でASIA impairment scale (AIS) Dとなった症例の割合は、初診時AIS Bで48%、AIS Cで84%であった。これを65歳以上の高齢者57例と比較すると(表4)、B→Dが33%、C→Dが74%であり、高齢者で劣っていた。ただし、ASIA motor score (AMS) の平均値は、65歳未満の若年者が20.3→47.4(改善率39.0%)であったのに対して高齢者は21.9→51.3(改善率40.3%)であり、差はなかった。

AISはmanual muscle testing (MMT) 3以上となったkey muscleで評価しているが、6カ月時点でAIS Dとなった症例の95%はFrankel D1以上であり、何らかの歩行機能を有していた。ただし実用歩行と考えられるFrankel D2以上となっ

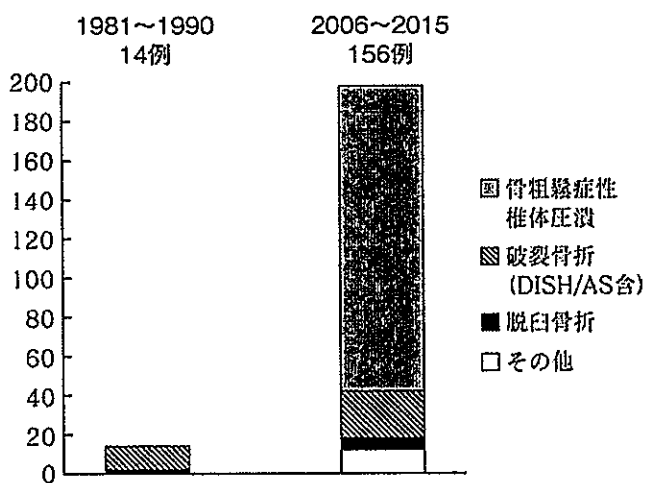


図2 高齢者脊椎外傷手術症例の推移：胸腰椎

表2 2013～2015年における脊椎脊髄外傷急患例 (手術例/非手術例含む) 内訳

		例数	平均年齢	%ASIA A	
上位頸椎		14	59	15	
中下位頸椎	非骨傷	103	67	36	
	骨傷	DF	37	54	55
		CF	9	39	29
		その他	13	61	38
胸腰椎		60	49	24	

非骨傷性脊髄損傷が最も多く、平均年齢も高い。

DF : distractive flexion injury

CF : compressive flexion injury



表 3 AIS でみた転帰

		受傷後 6 カ月			
		A	B	C	D
入院時	A	49	6	4	
	B		2	11	12
	C			8	42
	D				6

表 4 AIS でみた転帰 (65 歳以上)

		受傷後 6 カ月			
		A	B	C	D
入院時	A	16	2	2	
	B		2	6	4
	C			6	17
	D				3

表 5 受傷後 6 カ月時点での AIS D 患者の歩行能力

	D1 以下	D2 以上
≧65 歳	18	6
<65 歳	14	22

高齢者 (≧65 歳) で有意に実用歩行 (Frankel D2 以上) が少ない。

表 6 痛みと年齢

	60 歳未満	60 歳以上	
Pain score (total)	4.8	6.7	p<0.05
持続時間	2.1	2.4	NS
不眠の有無	0.6	0.8	NS
気分の落ち込み	0.9	1.4	p=0.06
ADL/リハへの影響	0.8	1.6	p<0.05

た症例は (表 5), 若年者が 56%であったのに対して高齢者は 21%であり, 筋力が回復しても高齢者では歩行機能が追いついていない実態がわかる。また, 全般的な ADL の指標である Spinal Cord Independence Measure (SCIM) score を比べても, 若年 AIS D 症例の平均が 69.2 であるのに対し, 高齢者は 53.4 と著しく劣っていた。われわれは, 頸損患者の退院時の SCIM score の予測が受傷後 1 カ月時点で AMS と年齢によってかなり正確に算出可能であることを見だしているが, その予測式は 退院時 SCIM score = 41.3 + 0.8 × 上肢 AMS (受傷後 1 カ月) + 1.0 × 下肢 AMS (受傷後 1 カ月) - 0.5 × 年齢であった<sup>5)</sup>。ADL の指標である SCIM score が筋力の指標である AMS に依存することは当然であるが, 加齢に伴うマイナス因子がいかに大きな比重を占めるかを同時に示している。同じ筋力 (AMS) であっても, 年齢が 50 歳違えばそれだけで SCIM score は 25 点, すなわち 1/4 低下する計算である。高齢者において歩行や ADL 改善の障害となるのは, バランス感覚や中枢性の運動能力の低下に加え, 関節拘縮, 関節や

内臓の既往症/合併症, 意欲の欠如など多因子が絡んでいると考えられる。また, 高齢の脊損患者は痛みの訴えが若年者より多く, 苦痛を伴うしびれや締めつけ感, 関節運動痛などがリハビリテーションの障害となる (表 6)<sup>6)</sup>。痙性に関しては, Ashworth scale では年齢で差がなく明らかな関連はなかった。

### Ⅲ. 転 帰

総合せき損センターでは, 重度の頸髄損傷であれば入院期間は約 1 年ほどである。年齢によりこの入院期間に大差はないが, 退院後の転帰は大きく異なっている (図 3)。概して 60 歳代から高齢になるに従って自宅復帰率が低下し転院率が増加する。この自宅復帰率の低下は高齢者の ADL 機能獲得の障害によるところが大きい, 合併する内科疾患や社会の核家族化なども強く影響していると考えられる。また, 転院先についても, 若年者であればさらに高次のリハビリテーションを継続できる施設が多いが, 高齢者は社会的入院となりリハビリテーション効果は期待できない施設が

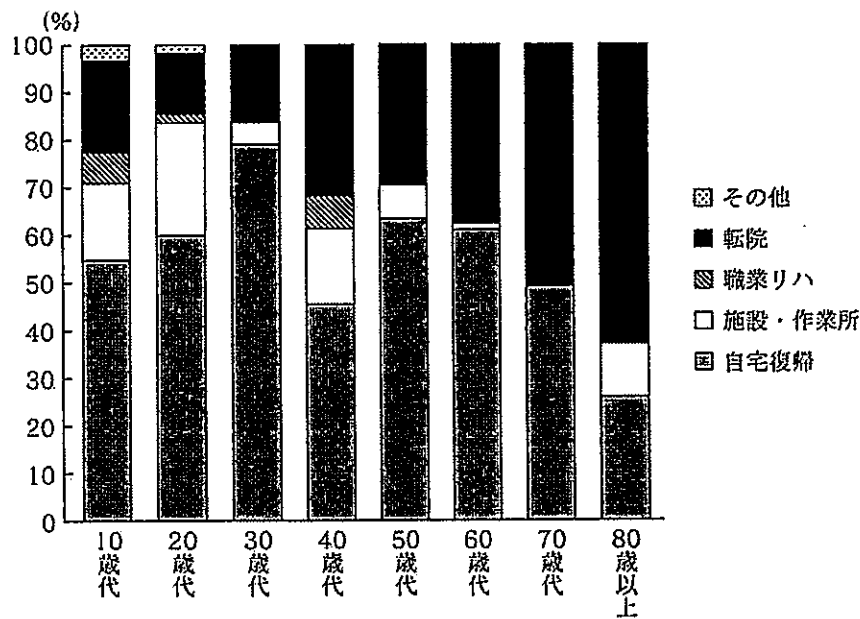


図 3 退院後の転帰

多い。この転院先の相違は Frankel D の歩行可能例では少ないが、Frankel C 以下の重度麻痺例では特に強い傾向にある。実際、リハビリテーション効果が入院当初より期待できず、あるいは内科合併症などにより早期に転院となりほぼ寝たきりとなる症例が少なくないことも事実である。しかし、辛抱強い集中的なリハビリテーションと住宅改造などの援助や家族指導などにより、60歳以上の高齢者でも5割程度の自宅復帰率を達成できていた。このことは、今後増加するであろう高齢脊髄損傷患者を長期に受け入れることができる専門施設を拡充することがいかに重要であることを示唆している。

文 献

1) Shingu H et al : A nationwide epidemiological

survey of spinal cord injuries in Japan from January 1990 to December 1992. Paraplegia 33 : 183—188, 1995

2) 坂井宏旭ほか：高齢者の脊髄損—疫学調査，脊髄損傷データベース解析および脊髄損傷医療の課題. MB Med Rehabil No. 181 : 9—18, 2015  
 3) 春田陽平ほか：受傷機転から見た非骨傷性頸髄損傷の検討. 整形外科と災害外 66 : 19—22, 2017  
 4) Yugué I et al : Analysis of the risk factors for tracheostomy in traumatic cervical spinal cord injury. Spine 37 : E1633—E1638, 2012  
 5) 堤 文生ほか：頸髄損傷者の運動機能およびADLの回復過程の予測. 九州栄養福祉大学研究紀要 10 : 1—19, 2013  
 6) Maeda T et al : Pain associated with traumatic spinal cord injury ; an inpatient survey. J Spine Res 4 : 123—128, 2013

\* \* \*

## 骨粗鬆症性椎体骨折後後弯に対する治療\*

椎体形成術を併用した後方 short fusion を中心に

前田 健\*\*

### はじめに

骨粗鬆症をベースにした椎体偽関節は胸腰移行部に生じることが多いが、後弯化に伴う矢状面バランスの破綻は必ず生じるといってよい。ただし、多くの場合、患者の主訴は偽関節局所より生じる腰痛、あるいは遅発性脊髄麻痺であり、後弯に伴うADL、コスメシスの悪化や体幹前傾による歩行障害に関してはそれほど不満を感じていないこともしばしばである。もちろん、矢状面バランスの破綻自体が腰背部痛の原因となることはよく知られているが、偽関節に伴う腰背部痛は程度がより強く、座位でも頑固な痛みが生じることが多いなど、質的に異なるものである。このような偽関節による骨粗鬆症性椎体骨折後後弯症に対して治療を行う際は、患者の愁訴を見極め、年齢や骨密度、全身状態を考慮したうえで、侵襲/手術効果のバランスを慎重に評価し治療計画を立てるべきであろう。ここでは、主に胸腰移行部での骨粗鬆症性椎体偽関節に対する治療について、患者の状態

や希望に応じた治療選択について論じたい。

### 保存的治療—初期治療の重要性と偽関節後の骨癒合について

骨粗鬆症を基盤とした新鮮椎体骨折において、初期治療の重要性はしばしば軽視されがちである。軟性コルセットを処方してそのまま可及的安静のみの指示を出しているケースも多いのではないだろうか。偽関節の発生率は概ね10~30%台と報告されている<sup>3,8,9)</sup>。確かに日本整形外科学会の前向き研究によれば、外固定や臥床期間の違いで骨癒合率には明らかな差がなく<sup>7)</sup>、Kimらによる前向き研究<sup>1)</sup>もそれを支持している。一方、後藤ら<sup>1)</sup>は初期の徹底した臥床（非荷重）とギプスによる外固定の重要性を報告している。すなわち、寝返りで腰痛がある間はベッド上の徹底した臥床を指示し（1~2週間）、その後ギプスを巻き込んで荷重と歩行訓練を始めるというものである。岸川ら<sup>5)</sup>も初期の徹底非荷重を支持しており、いずれもほぼ100%の骨癒合率を達成している。骨折による腰痛は大事な危険信号であり、安易に痛み止めを使用して無理に離床を促すような治療は控えるべきである。さらに後藤らは、偽関節となった後でも一定期間の非荷重とギプス治療にて骨癒

#### Key words

骨粗鬆症性椎体骨折  
(osteoporotic vertebral fracture)  
後弯 (kyphosis)  
後方固定 (posterior short fusion)

\* Treatment Strategy for Thoracolumbar Kyphosis Caused by Osteoporotic Vertebral Fracture

\*\* 総合せき損センター整形外科（飯塚市伊岐須 550-4）/Ken MAEDA : Department of Orthopaedic Surgery, Spinal Injuries Center

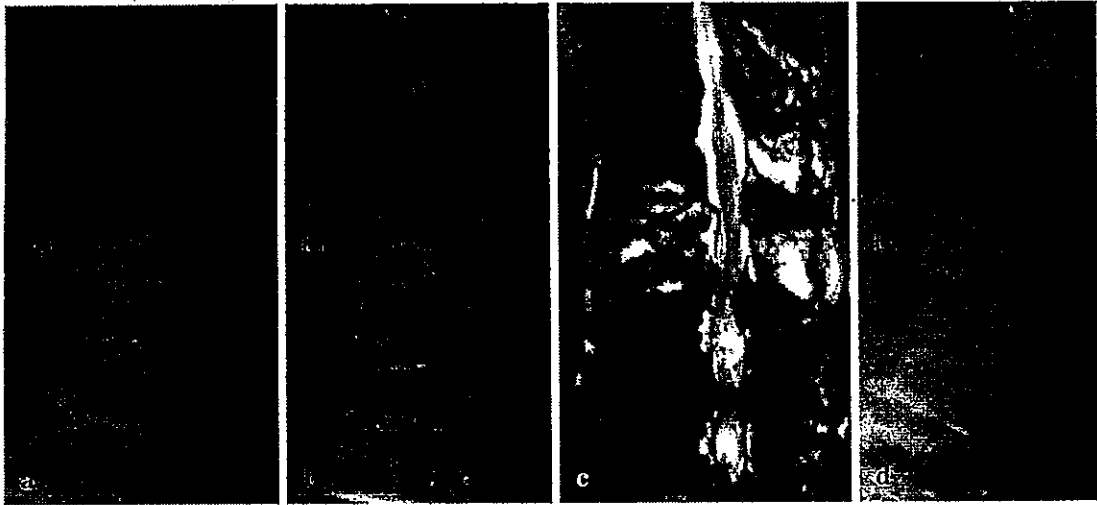


図 1 78 歳, 女性

3カ月前からの強い腰痛, 10日間ベッド上安静→4週間体幹ギプス→4週間軟性コルセット治療施行。  
a:治療前立位, b:治療前臥位, c:治療前MRI T2強調像, d:治療開始後5カ月の立位(装具なし),  
腰痛著明軽減。

合は可能と報告している。われわれも、偽関節にて強い腰痛、あるいは下肢不全麻痺を認めるもの手術を拒否した症例に対しては、徹底した安静臥床とそれに続くギプス治療を行う（テリパラチド併用）ことにより、骨癒合とともに症状の著明改善を得ている（図 1）。骨粗鬆症性椎体骨折に対する保存治療の重要性は、今一度見直されるべきであろう。

## BKP

いうまでもなく、balloon kyphoplasty (BKP) は重要な治療選択肢の1つである。適応には、①原発性の骨粗鬆症、②十分な保存治療を行っても改善がない、③後壁損傷がない、などの条件がつくが、実際の臨床現場では適応はより広く捉えられている。偽関節であれば多くの症例で後壁の高さは減じており何らかの後壁損傷はあることになるが、後壁連続性の明らかな途絶がなければ損傷なしとしている施設が多いだろう。われわれは、椎体内 cleft がある偽関節例で、麻痺がなく偽関節そのものが腰痛の原因となっている症例に対しては、まずはBKPを検討している。そのうえで、後壁の健全性、あるいは long fusion を併用した

後弯矯正の意義などを症例ごとに検討し、最終的に適応を決めている。

## 椎体形成術を併用した short fusion

椎体偽関節に伴う遅発性麻痺例に対しては、リン酸カルシウム骨セメント (CPC) による椎体形成術を併用した short fusion を適応としてきた<sup>9)</sup>。多くの症例は損傷した椎体後壁が突出して脊髄を圧迫しているが、椎体後壁の損傷がない一部の症例では上位椎間の黄色靭帯の肥厚や骨化が後方から脊髄を圧迫し麻痺を生じる。椎体後壁損傷による脊髄の圧迫には動的因子が大きく絡んでいるが、座位や立位に伴う局所後弯化よりも、荷重に伴う後壁の短縮と突出が重要である<sup>2)</sup>。これは術前半座位での CT myelography (CTM) にて確認できる（図 2）。後方 short fusion の主な目的は後弯矯正ではなく、この動的因子の制御である。通常は椎弓切除を併用し、後方からの脊髄除圧を担保しているが、半座位 CTM にて脊髄後方に余裕があれば椎弓切除は行わないこともある（図 3）。この後方 short fusion では、術直後に得られた後弯矯正位は維持できず早期に矯正損失を生じることが多いため、術中は極力後弯矯正をしないこと

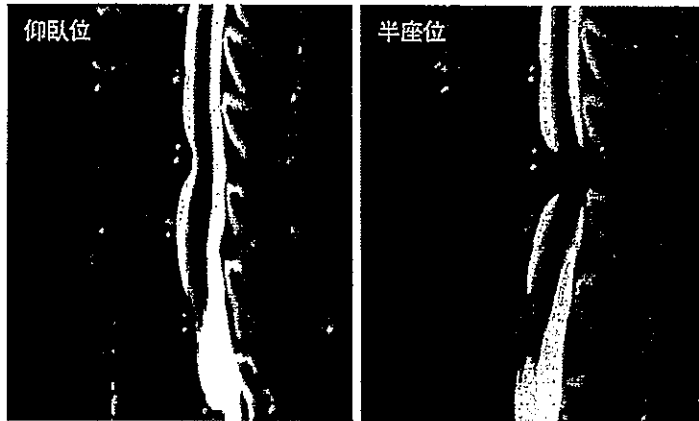


図 2 荷重下 (半座位) での CTM  
にて後壁の短縮と後方突出が  
明らかとなる  
局所後弯化以上にこの後壁短縮が麻  
痺発生に関与している。

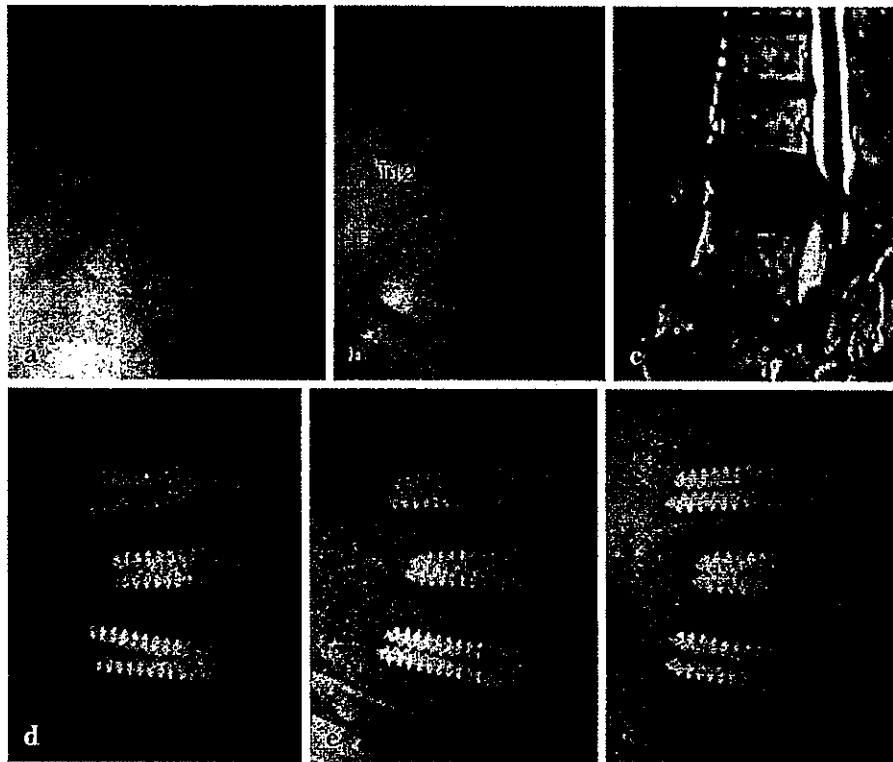


図 3 82歳, 女性

両下肢不全麻痺 (Frankel D) + 腰下肢痛. 後方固定のみ施行 (除圧なし).

a: 術前臥位, b: 術前座位, c: MRI T2 強調像, d: 術直後, e: 術後 1 年座位,  
f: 術後 1 年仰臥位, 若干の椎体動揺性が残存し矯正損失も生じているが, 腰下肢  
痛は著明改善している (Frankel E).

がポイントである。CPC にて椎体形成術を施行した症例のほうが若干矯正損失は軽減できているが (図 4), それでも CPC の分節化による矯正損失を生じることが多い (図 5)。重要なことは, 術後矯正損失と遅延する骨癒合にもかかわらず, 術直後から麻痺と腰痛の軽減を得ることができる点である。わずかな制動 (+ 後方からの除圧) が大き

く臨床効果に寄与することを痛感する。

#### 方法

1) 4 点支持器のパッドを後弯方向に調整し, なるべく腹臥位での後弯矯正がなされないように工夫している。

2) 骨折椎上下の椎弓展開後, 椎弓根スクリューは通常 1 above 1 below 挿入。この際, なる

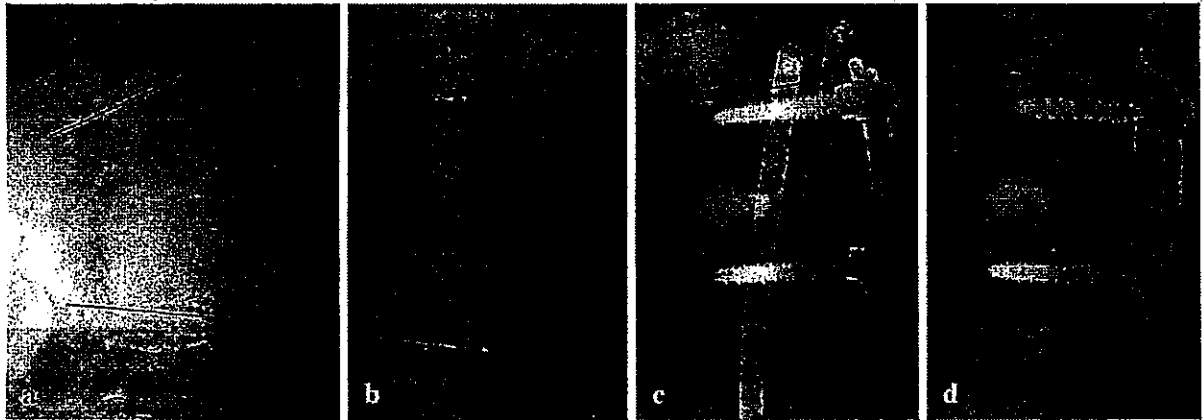


図4 74歳, 女性

両下肢不全麻痺 (Frankel C) + 腰下肢痛. 椎弓切除 + 後方固定 + CPC 椎体形成施行. 術後痛み消失, Frankel D.  
a: 術前座位, b: 術前仰臥位. c: 術後4カ月座位, d: 術後4カ月仰臥位.

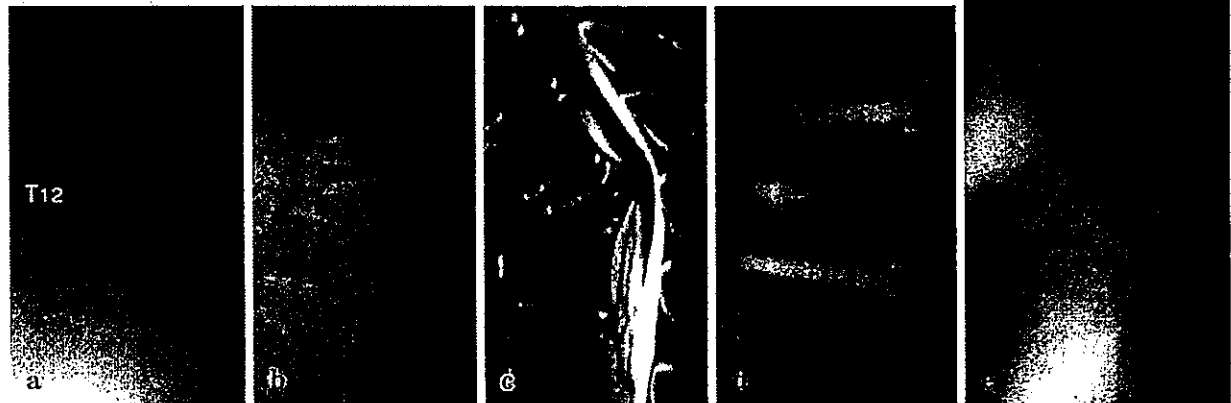


図5 73歳, 女性

両下肢不全麻痺 (Frankel C) + 腰下肢痛. 椎弓切除 + 後方固定 + CPC による椎体形成施行.  
a: 術前座位, b: 術前仰臥位, c: 半座位 CTM, d: 術直後, e: 術後3年立位. 術後矯正損失を生じているが, 腰下肢痛は著明軽減し杖なし独歩良好.

べく径が大きく長いスクリューを用いるようにしている. ただし, 椎体前壁は貫通しないよう注意する. 大動脈に対するリスクのみならず, 椎体前壁損傷に伴う新規骨折を防止するためである.

3) 骨折椎の椎弓切除を施行. 必要に応じて, 上下の黄色靭帯も十分に廓清する.

4) 胸腰移行部での偽関節では, 術後矯正損失に伴い下位椎のスクリューが尾側に変位しやすい. 下位椎間 (T12 骨折であれば L1-2 間) の棘上棘間靭帯は温存しながら椎間を剝離して, デシヤンを用いてテクミロンテープ (5 mm) を下位椎弓

に通しておく. テープの代わりに lamina hook を用いてもよい. 上位椎には通常補強の必要はないが, 症例によりテクミロンテープの併用, または 2 above まで椎弓根スクリューを挿入しておく.

5) 偽関節椎の椎弓根を 7.5 mm で tapping しておく. 透視下に鋭匙などで内部を可及的に廓清. 椎体内洗浄時に左右が連続していることを確認. さらにオムニパークを椎弓根から注入して, 透視下に椎体外に漏れがないことを確認しておく. バイオペックスを 9g 準備しておき, 透視下に左右椎弓根からなるべく多い量を注入する (通常 5~9

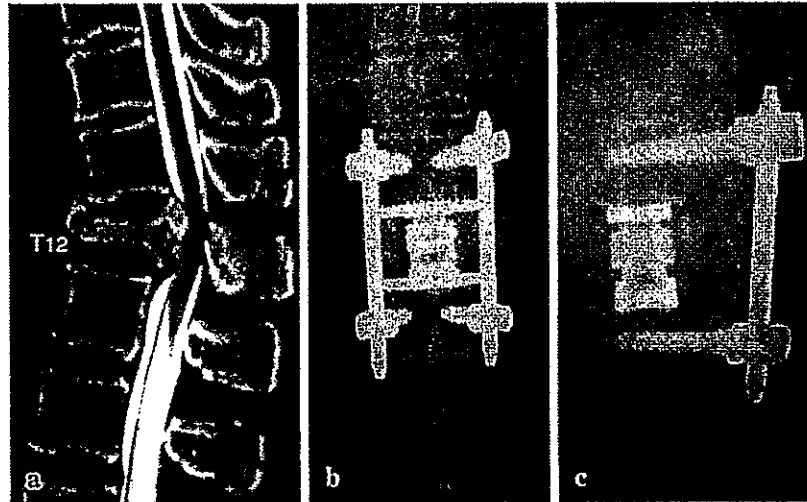


図 6 68歳, 女性  
a : 半座位 CTM. b, c : PPS+XCORE cage.

g 程度).

6) 術後の矯正損失を見越してロッドの弯曲をやや強めにつけ締結する。残存椎弓上に骨移植を施行。椎体の不安定性を考えれば crosslink を設置したいが、後弯の強い症例や皮下脂肪の薄い症例では crosslink 直上の皮膚で縫合不全を生じるリスクがあるため用いていない。

以上の手術をなるべく2時間以内に終了するようにする。3時間を超えては short fusion で低侵襲を目指す意味がないであろう。

軟性コルセットを装着し、CPC の硬化時間を考慮してギャジアップは術後24時間経て開始する。

### PPS と椎体置換

後方 short fusion の再手術率は約1割強であり、そのうち半数は矯正損失によるものであった<sup>6)</sup>。特に、術前仰臥位/座位での椎体動揺性が大きな症例は当然術後の矯正損失も大きく、術後成績不良となる可能性がある。そのため、このような症例では、特に比較的若年であれば前方支柱の再建が望ましい。われわれは、後方から percutaneous pedicle screw (PPS) にて1 above 1 below あるいは2 above 2 below で固定した後、最近は

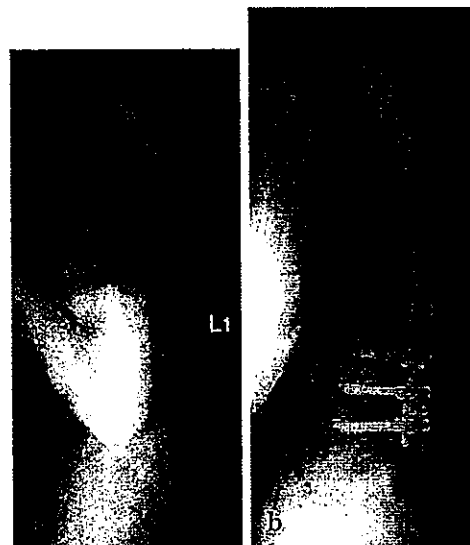


図 7 78歳, 女性  
L1 椎体はほとんど消失している。  
a : 術前立位. b : PVCR 術後立位.

XCORE cage を用いて前方支柱再建を行っている。術後は硬性あるいは半硬性コルセットを使用している (図 6)。

### PVCR

極端な後弯化症例や、後弯変形に伴う矢状面バランスの破綻が主訴となっている症例は、しばしば変形が強く rigid である。このような症例に対

しては、全身状態が良好であれば posterior vertebral column resection (PVCR) の適応となる。椎体後壁や黄色靭帯と硬膜が強く癒着していることがあるので注意する。頻度の高い胸腰移行部の骨折であれば、VCR 椎の 3 above 3 below で固定し、術後は硬性コルセットを半年以上装着している (図 7)。

## おわりに

骨粗鬆症性椎体骨折後後弯に対する治療は決して画一的なものではない。愁訴が偽関節椎そのものから生じる痛みなのか、矢状面バランス破綻に伴う腰痛や ADL 障害なのか、遅発性麻痺なのか、など見極める必要がある。加えて、患者の全身状態やコスメシスに対するこだわり、long fusionに伴う諸問題などを考慮して治療方針を探る。患者の年齢や全身状態、骨密度などを考えながら、侵襲と sustainability のバランスを考えた手術を心がけたい。その意味では、椎体形成術を併用した後方 short fusion はかなり幅広い適応範囲をもつのではないかと考える。

### 文献 (太字番号は重要文献)

- 1) 後藤健志, 小川 光, 小島哲夫: 骨粗鬆症性椎体骨折に対する早期診断・保存的治療の重要性について. 臨整外 48: 5-11, 2013

- 2) Hayashi T, Maeda T, Ueta T, et al: Comparison of the amounts of canal encroachment between semisitting and supine position of computed tomography-myelography for vertebral fractures of the elderly involving the posterior vertebral wall. *Spine (Phila Pa 1976)* 37: E1203-1208, 2012
- 3) Kim DY, Lee SH, Jang JS, et al: Intravertebral vacuum phenomenon in osteoporotic compression fracture. Report of 67 cases with quantitative evaluation of intravertebral instability. *J Neurosurg* 100(1 Supple Spine): 24-31, 2004
- 4) Kim HJ, Yi JM, Cho HG, et al: Comparative study of the treatment outcomes of osteoporotic compression fractures without neurologic injury using a rigid brace, a soft brace, and no brace. A prospective randomized controlled non-inferiority trial. *J Bone Joint Surg Am* 96: 1959-1966, 2014
- 5) 岸川陽一, 作本信一, 城戸亮輔, 他: 非荷重安静期間を考慮した椎体骨折の標準的安静度管理療法とテリパラチドを使用した場合の骨癒合促進効果と骨癒合阻害因子. 整・災外 59: 909-919, 2016
- 6) 前田 健: 骨粗鬆症性後弯—椎体圧潰に対する後方 short fusion. 整形外科 64: 870-875, 2013
- 7) 千葉一裕, 吉田宗人, 四宮謙一, 他: 骨粗鬆症性椎体骨折に対する保存療法の指針策定—多施設共同前向き無作為比較パイロット試験の結果より. 日整会誌 85: 934-941, 2011
- 8) Tsujio T, Nakamura H, Terai H, et al: Characteristic radiographic or magnetic resonance images of fresh osteoporotic vertebral fractures predicting potential risk for nonunion: a prospective multicenter study. *Spine (Phila Pa 1976)* 36: 1229-1235, 2011
- 9) Wu CT, Lee SC, Lee ST, et al: Classification of symptomatic osteoporotic compression fractures of the thoracic and lumbar spine. *J Clin Neurosci* 13: 31-38, 2006



# I. 脊椎脊髄疾患

## 脊椎・脊髄損傷の診断

坂井宏旭\*<sup>1</sup> 弓削 至\*<sup>2</sup> 河野 修\*<sup>3</sup> 前田 健\*<sup>4</sup> 植田尊善\*<sup>5</sup> 芝 啓一郎\*<sup>6</sup>

**Abstract** 脊椎・脊髄損傷は、重篤な外傷の一つである。その患者背景は、本邦の高齢化により大きく変化している。また、近年、損傷した脊髄に対する新規治療法の可能性が大きな話題となっている。本稿では、まず、患者背景の変化((1)疫学調査結果、(2)頸椎手術に関する調査結果、(3)神経学的予後予測)について述べ、続いて、当院における脊椎・脊髄損傷の診察の流れを紹介する。さらに、デモンストレーション症例を使用し、各症例の麻痺の評価を行い、麻痺の評価法についての考え方を整理したい。さらには、今後行われるであろう脊髄損傷治療の神経学的評価の標準化の一助になれば、幸いである。

**Key words** 脊椎・脊髄損傷(spinal cord injury), 診断(diagnosis)

### はじめに

脊椎・脊髄損傷は、(1)中枢神経である脊髄の損傷、(2)その脊髄を保護し、体幹を支持する脊椎の損傷という2つの側面を持つ外傷であり、特に頸髄損傷は四肢をはじめとする全身の麻痺を呈する最も重篤な外傷の一つである。また、脊椎・脊髄損傷は社会の高齢化に伴い、その数は増加傾向にあると推測されている。一方で、他の疾患と同様、脊椎・脊髄損傷の治療方針は丹念な全身状態の評価管理に基づき、立てられるべきである(植田、伊藤、小松らによる頸髄損傷治療の総説は非常に秀逸なものであり、是非ご一読願いたい)<sup>1)~4)</sup>。我々は1979年、脊髄損傷治療の専門病院として開院

以来、約2,600例の脊髄損傷患者の治療に携わり、様々な報告を行ってきた<sup>5)</sup>。近年、損傷脊髄に対する新規治療法(サイトカイン療法、細胞治療など)により神経機能回復の可能性も示唆され、神経学的評価の重要性が増している。

本稿では、特に外傷性脊椎・脊髄損傷にフォーカスをあて、「外傷性脊椎・脊髄損傷を取り巻く背景の変化」(1.福岡県における脊髄損傷疫学調査結果および当院脊髄損傷データベース解析結果、2.米国での脊椎手術における合併症調査結果、3.神経学的回復予後予測研究結果)、「診察について」(1.当センターにおける脊椎・脊髄損傷診察の流れおよび2. International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury (ISNCS)としての American Spinal Injury Association (ASIA) Impairment Scale (AIS)の考え方を述べることで、脊髄損傷における診断(特に神経学的評価)について整理したい(画像診断、バイオマーカーなどその他の補助診断に関しては、近年様々な総説が出ており、参考文献をご一読頂きたい)<sup>6)~9)</sup>。

\*<sup>1</sup> Hiroaki SAKAI, 〒820-0053 飯塚市伊岐須 550-4 総合せき損センター整形外科, 部長

\*<sup>2</sup> Itaru YUGE, 同, 部長

\*<sup>3</sup> Osamu KAWANO, 同, 部長

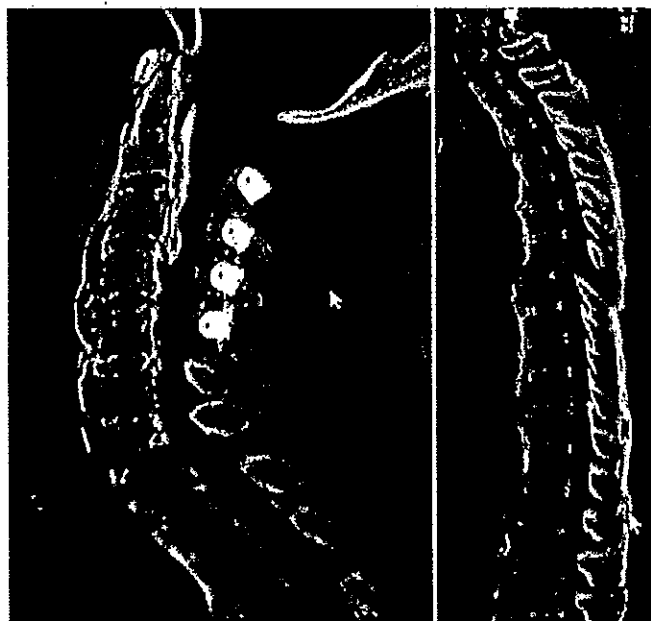
\*<sup>4</sup> Takeshi MAEDA, 同, 部長

\*<sup>5</sup> Takayoshi UETA, 同, 副院長

\*<sup>6</sup> Keiichiro SHIBA, 同, 院長

表 1. 脊髄損傷の疫学調査

	全国	福岡		徳島
	1990~1992	2005	2013	2012
新規脊髄損傷患者 平均年齢(歳)	48.6	57.8	63.1	63.7
高齢化率 (%、西暦)	12.1 (1990)	19.2 (2004)	22.5 (2011)	27.1 (2011)
新規脊髄損傷患者数 予測値 (人/100万人/年)	40.2	33.7	36.2	17.1



a|b 図 1. Ankylosing spinal disorders を伴う骨折  
78 歳, 男性, 交通事故受傷, OPLL に対して椎弓形成術後  
外傷性くも膜下出血, 血胸の合併あり  
a : C6/7 椎間板レベルでの骨折  
b : T7/8 椎間板レベルでの骨折

## 外傷性脊椎・脊髄損傷を取り巻く背景の変化

### 1. 福岡県における脊髄損傷疫学調査結果および当院脊髄損傷データベース解析結果

我々は, 2006 年当センター内に福岡県脊髄損傷登録管理事務局を設置し, 福岡県下の新規脊髄損傷に関する疫学調査を開始した<sup>10)~13)</sup>. 表 1 は, 全国疫学調査(1990~1992 年), 福岡県調査結果(2005 年, 2013 年), 徳島県調査結果(2012 年)を比較したものである<sup>14)15)</sup>. 人口の高齢化率上昇に伴い, 新規脊髄損傷患者の受傷時平均年齢も上昇する傾向にあった(全国調査時平均年齢 48.6 歳: 2013 年福岡県調査時平均年齢 63.1 歳). 新規脊髄損傷患者中の骨傷を伴わない頸髄損傷(いわゆる非骨傷性頸髄損傷)の割合は 56.7% で, その年代別発生数は 70 歳代をピークとした一峰性パターンを示し, Frankel C(41.0%), D(51.3%) の不全麻痺が大半を占めていた. さらに新規非骨傷性頸髄損傷患者中の 75 歳以上の割合は, 18.5% (2005 年) から 30.6% (2013 年) へと驚くべき勢いで増加していた.

新規非骨傷性頸髄損傷患者の特徴をとらえるため, 当院に入院した非骨傷性頸髄損傷患者の解析を行った. 当院に搬送された新規非骨傷性頸髄損傷患者の平均年齢は 68 歳で, その損傷高位は, C3/4 椎間板レベル=63.8%, C4/5 椎間板レベル=21.3%, C5/6 椎間板レベル=12.8%, C6/7 椎間板レベル=2.1% であった. これらのことより, 新規非骨傷性頸髄損傷患者のうち, 高齢者の C3/4 椎間板レベルでの非骨傷性頸髄損傷の割合が最も多いことが予想された.

続いて, 当院における 70 歳以上の脊椎外傷手術症例について解析を行った. 70 歳以上の脊椎外傷手術症例数は, 38 例(1981~1990 年)から 224 例(2006~2015 年)へと増加していた. その特徴として, 上位頸椎骨折, 胸腰椎レベルでの骨粗鬆症を伴う椎体骨折および強直性脊椎炎(AS), びまん性特発性骨増殖症(DISH), 後縦靭帯骨化症(OPLL)などの ankylosing spinal disorders を伴う脊椎骨折の症例が増加していた(図 1). また, これらの症例は周術期合併症が多く, その管理の困難な症例が存在した.

## 2. 米国での頸椎手術における合併症調査結果

2007年、米国における全国入院患者データベースを用いた変性疾患に対する頸椎手術の合併症発生率、入院中死亡率の調査結果が報告された<sup>16)</sup>。この報告によると、頸椎後方固定術は、合併症発生率10.5%、入院中死亡率0.44%ともに最も高い術式であった。さらに、頸椎手術における最も頻度が高い全身合併症は、呼吸器合併症であった(発生率0.67%)。また、年齢による解析結果では、20~34歳の患者群の合併症発生率2.21%、入院中死亡率0.03%に対し、75歳以上の患者群の合併症発生率12.1%、入院中死亡率1.33%であった(合併症発生率の調整オッズ比:4.1、入院中死亡率の調整オッズ比:18.6)。

## 3. 神経学的回復予後予測研究結果

2011年、欧州の多施設研究による、脊髄損傷患者における受傷後1年の歩行能力に関する予後予測研究の結果が報告された<sup>17)</sup>。この報告によると、受傷後1年の歩行能力獲得の予後予測因子は、受傷時年齢、受傷後15日以内のL3領域のmotor score, light touch sensory, S1領域のmotor score, light touch sensoryの5つであった。年齢に関する結果では、65歳以上の脊髄損傷患者群における歩行能力獲得率は、64歳以下の患者群と比較し、統計学的有意に低かった。しかし、この研究において、受傷後72時間以内に神経学的初期評価が行われた割合は19%に過ぎず、受傷後早期の予後予測に関しては結論に至っていない。

一方、我々も神経学的回復を評価するため、2005年、当センターにおいて脊髄損傷データベースを立ち上げた。我々のデータベース解析の結果では、受傷後72時間における予後予測は、約80%の確率で可能であったが、受傷後14日における予後予測の確率約90%と比較すると、低い傾向にあった。これらのことは、受傷後早期の神経学的評価の困難さを示していると考えられる。

## 診察について

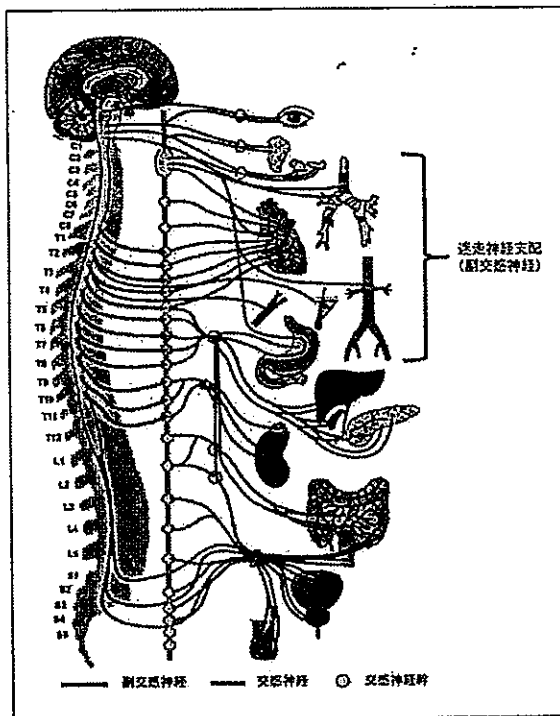
前述のごとく、他の疾患と同様、脊椎・脊髄損傷の治療方針は丹念な全身状態の評価管理に基づき、立てられるべきである。特に初期の診察にあたっては、Japan Advanced Trauma Evaluation and Care (JATEC)の推奨する外傷初期診療ガイドラインに沿って行うことが望ましい<sup>18)</sup>(詳細は、非常に良くまとめられているガイドラインをご参照頂きたい)。ガイドラインではfirst surveyとして、A:気道評価・確保と脊椎保護、B:呼吸評価、C:循環評価の処置を行い、全身状態が安定化した後に、D:神経学的評価を行うこととされている。

一方で、脊髄損傷(特に頸髄損傷)に伴う特有の全身状態の変化(A:気道評価:気管支収縮、気道分泌物増加、B:呼吸評価:呼吸筋麻痺、C:循環評価:神経原性ショック(neurogenic shock:後述))について念頭に置き、診察を行うべきである。

神経系は、自律神経系(交感神経、副交感神経)、体性神経系(感覚神経、運動神経)からなる。交感神経の節前ニューロンは胸髄および上位腰髄の側角に存在し、副交感神経の節前ニューロンは中脳・延髄の副交感神経核および仙髄に存在する(図2-a)。一方、体性神経系は、主な感覚路(上行路)として、後索(同側の精細な触覚、深部感覚)、外側脊髄視床路(対側の温・痛覚)、前脊髄視床路(対側の粗大な触覚)、主な運動路(下行路)として、外側皮質脊髄路(主に四肢遠位筋の制御)、前皮質脊髄路(主に体幹筋や四肢近位筋の制御)がある(図2-b)。これらを走行する神経は、内側から頸髄、胸髄、腰髄、仙髄の順で分布している(仙髄領域の神経が最も外側を走行する)。

### 1. 当センターにおける脊椎・脊髄損傷診察の流れ

当院の診察の特徴は、医師、看護師、リハビリスタッフのチームで診察を行うことである。これにより、患者の初療時の神経学的所見を含める全身状態をチームで共有し、患者の将来的なゴール



		交感神経	副交感神経
心臓	心拍数	増加	低下
	収縮力	増加	低下
血管平滑筋		一般的には収縮	弛緩
気管支	平滑筋	弛緩	収縮
	分泌	一般的には抑制	亢進

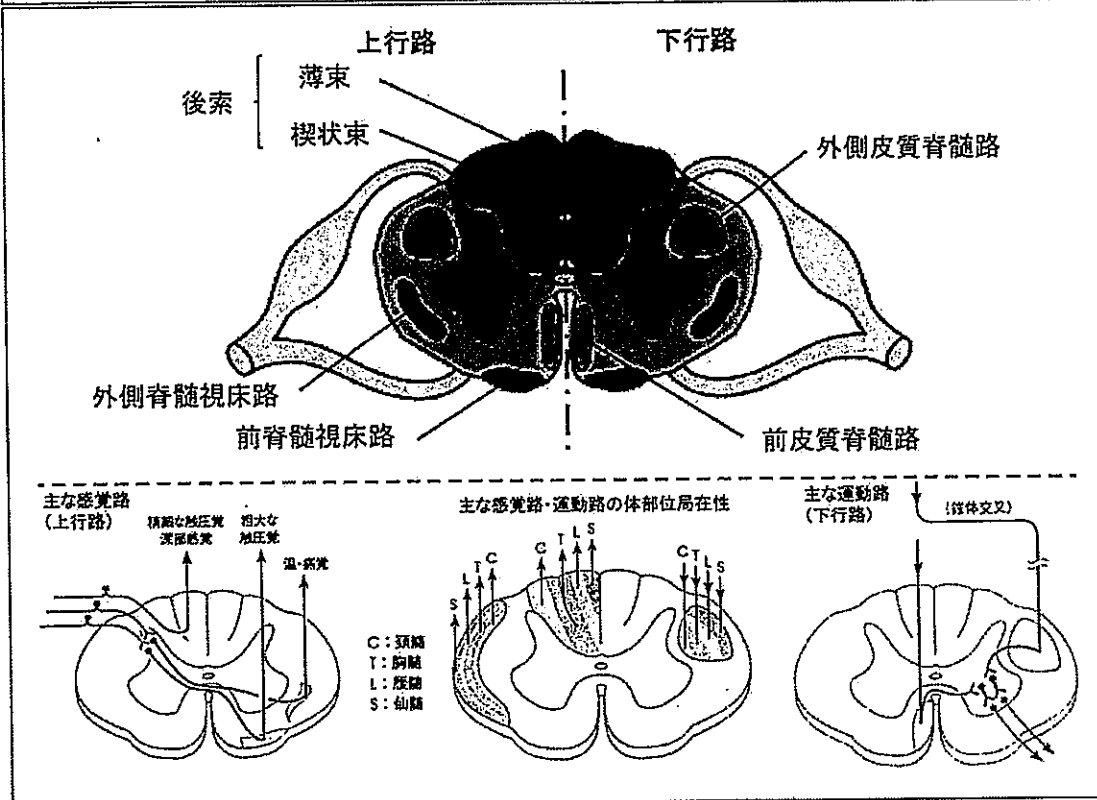


図 2.

a  
b

a : 自律神経系 (ASIA e-learning サイトより改変)  
b : 体性神経系 (ASIA e-learning サイトより改変)

までも大まかにイメージ共有することができる。  
神経学的所見をとるにあたり、(1) 脊髄の損傷高位、(2) 脊髄の横断面での損傷範囲(完全麻痺か不全麻痺か)が、自律神経系および体性神経系それぞれの神経系にどのような影響を及ぼすかを考慮

しなければならない。では、最も診察する頻度が高いと考えられる頸髄損傷を例として、当院での脊髄・脊椎損傷診療の流れを紹介する(図3は当院で使用している神経チャートである)。

四肢の動きが低下し頸髄損傷を疑う場合、損傷

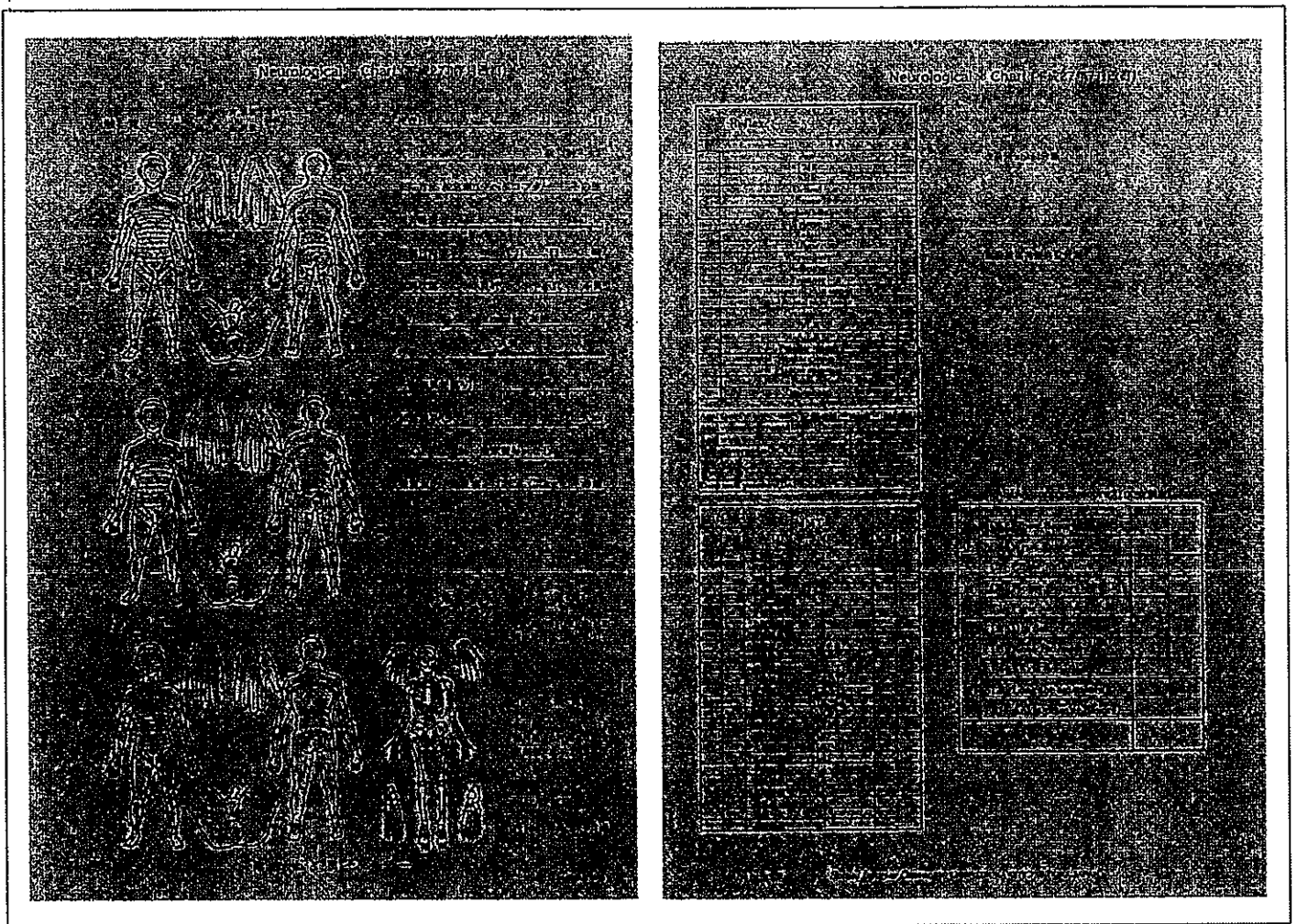


図 3. せき損センターで用いている神経学的チャート

高位以下の交感神経系の遮断による副交感神経優位の状態である可能性を念頭に置いておく。頸髄損傷の場合、気管支平滑筋：収縮，気管支分泌：亢進，心拍数：低下，心収縮力：低下，血圧：低下などの神経原性ショックを呈することがしばしば存在する(図 2-a)。気管支分泌が亢進しているため，痰の吸引などを行ったとき迷走神経反射を誘発し，高度徐脈になることもあるため，注意を要する。

全身状態が安定，意識清明化したことを確認後に，まず評価すべきはやはり呼吸状態である。C4以上の頸髄損傷では，横膈神経(C3-5の髄節に存在する)，肋間筋，腹筋が障害される(腹式呼吸の消失)。C5以下の頸髄損傷でも，肋間筋，腹筋が障害される。前述のごとく，頸髄損傷では副交感神経優位で気管支分泌の亢進があり，呼吸筋の障害が合併することで痰の排出が困難となり，無気

肺や肺炎を起こしやすくなる。当院は，呼吸状態の評価のため，血液ガス検査に加え，簡易型レスピトメーターを用い，努力肺活量を測定している(図 4-a)。努力肺活量 500 ml 以下の症例は，今後，呼吸状態が悪化，2型呼吸不全( $PaO_2 \leq 60$  Torr,  $PaCO_2 \geq 45$  Torr)を呈し，気管切開を行う可能性が高くなる。さらに，AIS=Aの症例では，気管切開率は84%まで上昇する(図 4-b)。このことは，頸椎の手術が必要な症例において，後方からのアプローチを選択する大きな指標となる(前方アプローチを用いた頸椎手術後，呼吸状態が悪化した症例で気管切開を行った場合，頸椎前方に感染，縦隔膿瘍へと進展する可能性がある)。

呼吸の評価に続いて，脳神経，四肢，体幹の神経学的診察を行う。診察開始時は意識清明であっても，診察中に意識障害などを呈する症例も存在する。そのような症例では，頭蓋内の血管病変な

a  
b

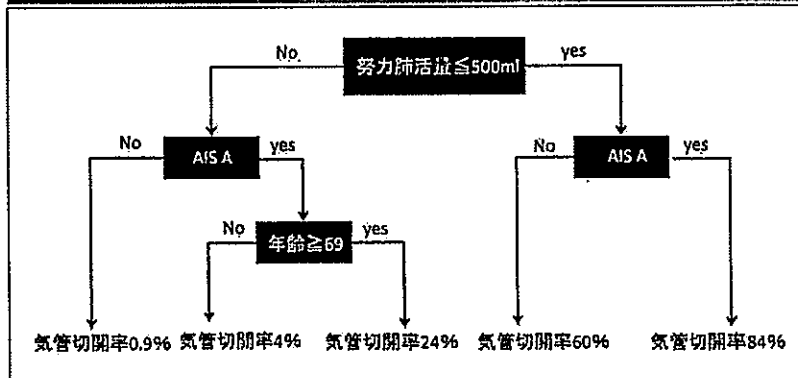


図 4.

a : 肺活量の評価(左:簡易型レスピロメーター,右:簡易型レスピロメーター使用の実際)  
b : 気管切開のリスク因子



a|b

図 5. 椎骨動脈描出不良症例

77歳, 男性. 50 cm の高さより転落受傷. 四肢麻痺出現. C4/5 椎間板レベルでの頸髄損傷. 徐々に意識状態悪化

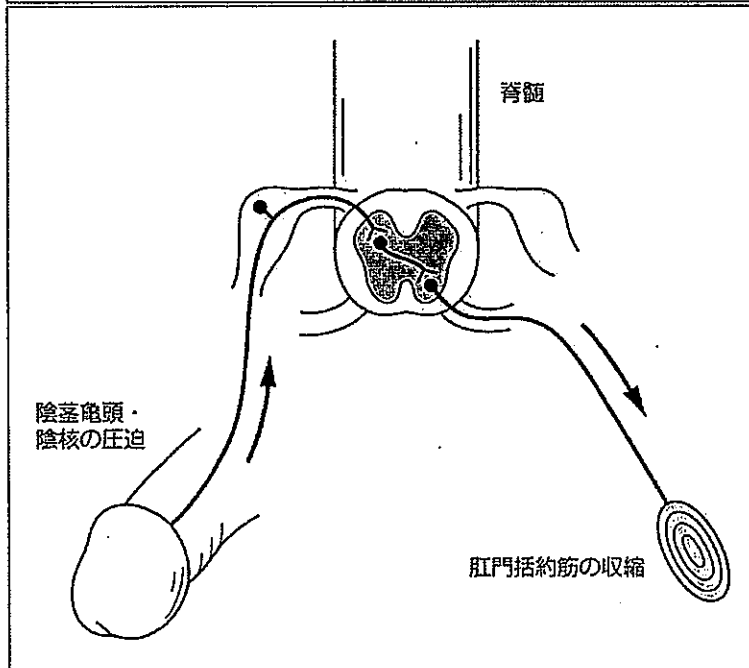
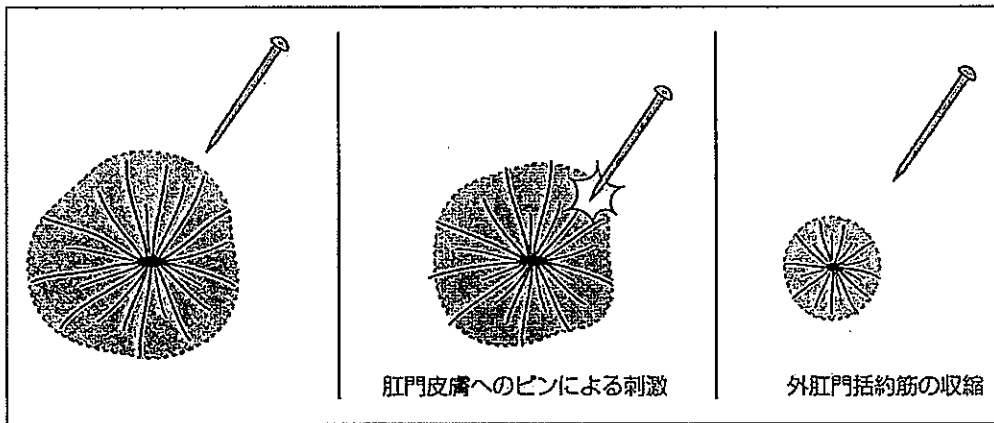
a : MR angiography にて椎骨動脈描出不良

b : MRI diffusion 画像にて広範囲の小脳梗塞あり

どを念頭に置き, 画像検査を行う(最近では, 頭部MRI, 頭頸部MRAを追加することが多い:図5). 当院では, 四肢, 体幹の診察は, 感覚→運動→反射→肛門周囲の順で, 各検査を頭側→尾側の順に行っている(いずれの診察順にしても系統立てて見落とさないよう, しかし手早く診察を行うべ

きである. 感覚検査においては尾側から頭側へ検査を行うと大まかな感覚障害のレベルを把握しやすい). また, spinal shock(後述)の存在を念頭に置き, 診察を行っている.

感覚検査は, 触覚(筆を使用, light touch)および痛覚(爪楊枝を使用, pin prick dull discrimina-



a  
b

図 6.

a : Anal wink. Spinal shock を離脱したことを示す脊髄反射  
b : 球海綿体反射 (bulbocavernosus reflex : BCR). Spinal shock を離脱した後、はじめに現れる脊髄反射

tion : 爪楊枝の鋭端と鈍端の区別がつくかの脱失、鈍麻、過敏などを評価。位置覚(母趾の背屈、底屈)の評価を主に行っており、必要時は、振動覚を追加している。運動検査は、上肢筋力(広頸筋、僧帽筋、胸鎖乳突筋、三角筋、上腕二頭筋、手根伸筋、上腕三頭筋、手根屈筋、指伸筋、指屈筋、母指球筋、小指球筋、骨間筋)、下肢筋力(腸腰筋、股関節内転筋、股関節外転筋、大腿四頭筋、下腿屈筋、前脛骨筋、足趾伸筋、腓腹筋・ヒラメ筋、足趾屈筋)を MMT0~5 の 6 段階で評価している。反射は、上腕二頭筋腱反射、腕橈骨筋腱反射、上腕三頭筋腱反射、膝蓋腱反射、アキレス腱反射を検査し、病的反射の有無を評価している。肛門周囲の評価は、完全麻痺か不全麻痺かの判断に非常に重要である(仙髄回避 : sacral sparing, 後述)。まずは、肛門周囲の触覚、痛覚を評価する。痛覚

の評価時に、anal wink(図 6-a)の有無を確認する。続いて、検者の示指を患者の肛門に挿入し、肛門への挿入感、anal tone、肛門括約筋の随意収縮(voluntary anal contracture : VAC)、deep anal pressure : DAP(後述)、球海綿体反射(bulbocavernosus reflex : BCR; 図 6-b)、抜去時に肛門からの抜去感を評価する。

#### 1) 神経原性ショック(neurogenic shock)

上位胸髄より高位の脊髄損傷によるショック。その本態は自律神経系失調(交感神経系の遮断に伴う副交感神経系優位の状態)によって引き起こされた末梢血管弛緩による血液分布異常性ショック(distributive shock)に大別される。その症状は、低血圧にもかかわらず徐脈を呈し、四肢末梢の皮膚温は温かく、乾燥している。外傷に伴うショックであるので、その診断はまず、出血性

ショック(低血圧, 頰脈, 四肢末梢の冷感)を否定することが重要である。

## 2) 脊髄ショック(spinal shock)

Spinal shock に関する明確な定義はされておらず, 病態および臨床的意義は未だ議論の余地がある。一般的に, 脊髄ショックは脊髄が損傷を受けたときに, 損傷高位以下のすべての脊髄反射(深部腱反射, 表在反射など)が消失した状態と考えられている。また, 患者は弛緩性麻痺, 感覚脱失を呈し, 消失した脊髄反射は, 徐々に回復し, 痙性麻痺に移行する。当センターでは受傷72時間後において, BCR:64%, anal wink:27%, PTR:10%の割合で認めた。我々は, spinal shock を離脱する際にはじめに出現する反射はBCRのことが多く, その反射出現の時期が早いほど, 麻痺の改善が良い傾向にあると考えている。一方, plantar response がはじめに出現する反射であるとの報告も存在する。いずれの場合にせよ, 脊髄反射を認めないspinal shock期の神経学的評価は非常に困難であることを理解したうえで, 診療を行うべきである。

## 3) 仙髄回避(sacral sparing)

図のごとく, 仙髄からの上行路, 仙髄への下行路は脊髄の最外側を走行しており, 最も損傷を受けにくく, また, 最初に回復する部位であることが知られている。一見完全麻痺のようにみえても, 仙髄神経機能が残存している場合は, 完全麻痺ではなく不全麻痺であり, 麻痺の回復が期待できる。Hoppenfeldはこの徴候として, 母趾底屈筋反射, 肛門括約筋反射, 肛門周囲の感覚残存を挙げている。しかし, 反射自体は索路機能残存を示すものではなく, 除外されるべきであろう。これらのことより, ISNCSCIにおいても, 肛門周囲感覚, DAP, VACなどが確認できれば, 仙髄回避が起こっている(不全麻痺)と考えられている。

## 4) Deep anal pressure(DAP)

検者が示指を肛門に挿入し優しく肛門直腸壁(S4/5由来の陰部神経の体性感覚で支配されている)を押すことで感じる圧覚がDAP感覚。この

持続的に感じる圧覚の存在の有無を記録。再現性のある圧覚は感覚不全を示す。

これらの評価をもとに, 当センターでは, 麻痺の程度について改良Frankel分類(表2-a)とAIS(表2-b)を用いて, 麻痺の高位についてZancolli分類を参考にした脊髄損傷高位評価法(表2-c)にて評価を行っている。改良Frankel分類とAISはともにFrankel分類をもとに発展させた分類である。改良Frankel分類は, Frankel分類のB, C, Dを細分化し, A-C2は麻痺の状態を, D1~D3は歩行状態を表し, 患者のADLがイメージしやすい。一方で, 麻痺状態のスコア化について, ISNCSCIのようなルールが存在せず, スコアの標準化が課題である。

## 2. ISNCSCIとしてのAISの考え方

ISNCSCIは, motor score(上肢はC5-T1の5髓節, 下肢はL2-S1の5髓節について, 両側key muscleを決め, MMT0~5点で評価し, 合計点数を算出), sensory score(C2-S5の28髓節について, 両側sensory pointを決め, light touch, pin prickのそれぞれを0~2点で評価し, 合計点数を算出)を評価し, 麻痺状態のスコア化を行う。さらに, VAC, DAPなどについて評価を行う(ASIAのe-Learningサイト:<https://lms3.learnshare.com/home.aspx>に詳細が記載されている)。各髓節の評価を行った後, 以下の順で, 麻痺の高位評価, 麻痺の横断面での評価を行う。

### 1) 左右のsensory levelの決定

左右のlight touch, pin prickそれぞれについて, いずれも正常な皮膚髓節のなかで最尾側皮膚髓節を記載。

### 2) 左右のmotor levelの決定

左右のkey muscleそれぞれについて, MMT3以上の筋力があり, そのkey muscleの上位key muscleがMMT5であれば, MMT3のkey muscleを正常筋髓節として記載。筋髓節が存在しない領域では, 皮膚髓節を同様に扱う。

### 3) Neurological level of injury(NLI)の決定

ステップ1, 2で決定された正常皮膚髓節, 筋髓



表 2.

a : 改良 Frankel 分類

Frankel A	仙髄の知覚(肛門周辺)脱失と運動(肛門括約筋)完全麻痺
Frankel B	運動完全(下肢自動運動なし)、知覚不全
B1	仙髄領域のみ触覚の残存
B2	仙髄領域を含めた広範囲の触覚の残存
B3	仙髄領域を含めた痛覚の残存
Frankel C	運動不全で有用でない(歩行できない)
C1	下肢筋力1~2(仰臥位で自立膝立て不能)
C2	下肢筋力3程度(仰臥位で自立膝立て可能)
Frankel D	運動不全で有用である(歩行できる)
D0	下肢筋力4~5あり、歩行可能と考えられるが急性期のため正確な判定不能
D1	車いす併用例、補助具を用いて屋内のみ10m以上歩行可
D2	杖歩行または中心性損傷 杖歩行例：下肢装具など必要であるが屋外歩行も安定し車いす不要 中心性損傷例：下肢装具不要で安定しているが、上肢機能が悪いため、入浴や衣服脱衣などに部分介助を必要とする
D3	独歩自立例、筋力低下、知覚低下はあるも独歩で上肢機能も含めて日常生活に介助不要
Frankel E	神経学的脱失所見なし(自覚的しびれ感、反射亢進はあってよい)

b : International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury (ISNCSCI)/ASIA impairment Scale(AIS)

A=Complete	S4-5の仙髄領域の知覚運動完全麻痺
B=Sensory incomplete	運動機能ではなく知覚が損傷高位以下仙髄までの遺残している
C=Motor incomplete	損傷高位以下に運動機能の残存があり、損傷高位以下のkey muscleの半数以上が筋力0~2
D=Motor incomplete	損傷高位以下に運動機能の残存があり、損傷高位以下のkey muscleの半数以上が筋力3以上
E=Normal	

c : 脊髄損傷高位評価法(総合せき損センター)

脊髄高位	脊椎高位	評価筋とMMT
C1, 2	C1	僧帽筋、胸鎖乳突筋などの頸部筋：0~3
C3	C2	頸部筋：4~5 横隔膜：完全またはほぼ完全麻痺
C4	C3	横隔膜：機能あり(自発呼吸ほぼ十分) 上肢筋力：0
C5	C3/4	A 上腕三頭筋：1~3
		B 上腕三頭筋：4~5
C6	C4/5	A 手根伸筋：1~3
		B 手根伸筋：4~5
C7	C5/6	A 上腕三頭筋：1~3
		B 上腕三頭筋：4~5
C8	C6/7	A 指屈筋：1~3
		B 指屈筋：4~5
T1	C7	骨間筋：4~5

節のうち最も頭側のレベルを NLI として決定する。

#### 4) 完全麻痺か不全麻痺かを決定

Sacral sparing の有無により決定。VAC を認めず、S4-5 レベルすべての sensory score=0, DAP も認めない場合にのみ、完全麻痺と判断する。それ以外の場合は、不全麻痺と判断する。

#### 5) AIS grade の決定

ステップ 4 で完全麻痺と判断されれば、AIS=A と評価し、ZPP: zone of partial preservation を記載する。

ZPP は motor score, sensory score のそれぞれで残存している最尾側髄節を記載する。

ステップ 4 で不全麻痺と判断し、かつ、運動完全麻痺と判断されれば、AIS=B と評価する。

運動完全麻痺とは、VAC を認めないか、もしくはステップ 2 で決定した motor level より 3 髄節尾側を超えた 4 髄節以下で motor score を認めない場合。

ステップ 4 で不全麻痺と判断し、かつ、運動不全麻痺と判断されれば、AIS=C か D かを評価する。

NLI より下の髄節において、key muscle の半数以上が MMT 2 以下の筋力を有する場合は、AIS=C と評価する。また、key muscle の半数以上が MMT 3 以上の筋力を有する場合は、AIS=D と評価する。

初診時の神経学的所見で異常がなければ、intact と記載する。初診時、麻痺があり、その経過中、すべての髄節において、感覚、運動ともに正常な場合は、AIS=E と評価する。

このようなルールに加えて、AIS=B と C の判断のため、non-key muscle についての記載など、さらなる詳細のルールが存在する。これらにより、トレーニングを受けずに AIS を正確に評価することは困難な印象を受ける恐れがある。これらを解決するため、近年、web 上で AIS 評価のためのアルゴリズムが公開されている (<http://isnscialgorithm.azurewebsites.net/>)。今回は、

このアルゴリズムを用いて、AIS=A, B, C の評価のため、極端なデモンストレーション症例について検討した。

図 7-a は、両小指外転筋の収縮をわずかに認め、両上肢尺側の感覚鈍麻、両下肢の麻痺を呈した症例である。まず、正常な皮膚髄節のなかで最尾側皮膚髄節は右 C4/左 C4 であるから、sensory level は、右 C4/左 C4 と記載する。MMT 3 以上の筋力は、両側肘屈曲筋(C5)・手関節伸展筋(C6)であるが、それぞれその上位 key muscle で MMT 5 である筋髄節を認めない(C4 は筋髄節が存在しない)。筋髄節が存在しない領域では、皮膚髄節を同様に取り扱うというルールに従い C4 髄節が MMT 5 と考え、motor level は右 C5/左 C5 と記載する。これらより、NLI は正常皮膚髄節、筋髄節のうち最頭側の C4 と記載できる。続いて、sacral sparing の有無を確認し、VAC(No), S4-5 sensory score=0, DAP(No)であることより、完全麻痺(C)と評価、記載する。完全麻痺であることより、ZPP の評価が必要となり、残存筋髄節、皮膚髄節の最尾側である T1 を右 T1/左 T1 と sensory, motor とともに記載する。以上のことより、AIS=A と評価、記載する。改良 Frankel 分類でも、Frankel=A となる。

図 7-b は、両小指外転筋の収縮は認めず、両指屈筋の収縮をわずかに認め、両上肢尺側の感覚鈍麻、両下肢の麻痺を呈した症例である。図 7-a を参考に考えていくと、sensory level は右 C4/左 C4, motor level は右 C5/左 C5, NLI は C4 と記載できる。Sacral sparing に関しては、VAC(No), S4-5 sensory score=0, DAP(Yes)であることより、不全麻痺(I)と評価、記載する。さらに、AIS=B か C かの判断のため、損傷高位以下の non-key muscle に関しても MMT の評価を行う。図 7-b では、motor level 右 C5/左 C5 の 3 髄節尾側である C8 髄節を超えた T1 髄節(4 髄節尾側)以下で、運動完全麻痺であるので、AIS=B と評価、記載する。改良 Frankel 分類では B1 である。

INTERNATIONAL STANDARDS FOR NEUROLOGICAL CLASSIFICATION OF SPINAL CORD INJURY (ISNCSCI) **ASIA** **ISICOS** Patient Name \_\_\_\_\_ Date/Time of Exam \_\_\_\_\_  
 Examiner Name \_\_\_\_\_ Signature \_\_\_\_\_

**RIGHT** **MOTOR** **KEY MUSCLES** **SENSORY** **KEY SENSORY POINTS** **Light Touch (LT)** **Pin Prick (PP)** **Light Touch (LT)** **Pin Prick (PP)** **SENSORY** **KEY SENSORY POINTS** **MOTOR** **KEY MUSCLES** **LEFT**

**UER** (Upper Extremity Right) Elbow flexors C5, Wrist extensors C6, Elbow extensors C7, Finger flexors C8, **Finger abductors (aka finger)** T1

**LER** (Lower Extremity Right) Hip flexors L2, Knee extensors L3, Ankle dorsiflexors L4, Long toe extensors L5, Ankle plantar flexors S1

(M/C) Voluntary anal contraction (Yes/No)  No

**RIGHT TOTALS** (MAXIMUM) (50) (50) (50)

**MOTOR SUBSCORES** UER 3 + UEL 9 = UEMS TOTAL 12 LER 0 + LEL 0 = LEMS TOTAL 0 LTR 11 + LTL 11 = LT TOTAL 22 PPR 11 + PPL 11 = PP TOTAL 22

**NEUROLOGICAL LEVELS** 1. SENSORY R: C4, L: C4 2. MOTOR R: C5, L: C5

3. NEUROLOGICAL LEVEL OF INJURY (NLI) C4

4. COMPLETE OR INCOMPLETE? Incomplete + Any sensory or motor function in S4-5 C

5. ASIA IMPAIRMENT SCALE (AIS) A

**ZONE OF PARTIAL PRESERVATION** (If complete, list the level) R: T1, L: T1

**SENSORY** T1 T1

**MOTOR** T1 T1

This form may be copied freely but should not be altered without permission from the American Spinal Injury Association. REV 0411

INTERNATIONAL STANDARDS FOR NEUROLOGICAL CLASSIFICATION OF SPINAL CORD INJURY (ISNCSCI) **ASIA** **ISICOS** Patient Name \_\_\_\_\_ Date/Time of Exam \_\_\_\_\_  
 Examiner Name \_\_\_\_\_ Signature \_\_\_\_\_

**RIGHT** **MOTOR** **KEY MUSCLES** **SENSORY** **KEY SENSORY POINTS** **Light Touch (LT)** **Pin Prick (PP)** **Light Touch (LT)** **Pin Prick (PP)** **SENSORY** **KEY SENSORY POINTS** **MOTOR** **KEY MUSCLES** **LEFT**

**UER** (Upper Extremity Right) Elbow flexors C5, Wrist extensors C6, Elbow extensors C7, Finger flexors C8, **Finger abductors (aka finger)** T1

**LER** (Lower Extremity Right) Hip flexors L2, Knee extensors L3, Ankle dorsiflexors L4, Long toe extensors L5, Ankle plantar flexors S1

(M/C) Voluntary anal contraction (Yes/No)  Yes

**RIGHT TOTALS** (MAXIMUM) (50) (50) (50)

**MOTOR SUBSCORES** UER 3 + UEL 3 = UEMS TOTAL 6 LER 0 + LEL 0 = LEMS TOTAL 0 LTR 11 + LTL 11 = LT TOTAL 22 PPR 11 + PPL 11 = PP TOTAL 22

**NEUROLOGICAL LEVELS** 1. SENSORY R: C4, L: C4 2. MOTOR R: C5, L: C5

3. NEUROLOGICAL LEVEL OF INJURY (NLI) C4

4. COMPLETE OR INCOMPLETE? Incomplete + Any sensory or motor function in S4-5 I

5. ASIA IMPAIRMENT SCALE (AIS) B

**ZONE OF PARTIAL PRESERVATION** (If complete, list the level) R: NA, L: NA

**SENSORY** NA NA

**MOTOR** NA NA

This form may be copied freely but should not be altered without permission from the American Spinal Injury Association. REV 0411

図 7.

a : AIS A のデモ症例  
 b : AIS B のデモ症例

a  
 b



- 2) 伊藤康夫：頸椎・頸髄損傷治療の最前線(総説). *J Spine Res.* 3(9) : 1252-1273, 2012.
- 3) 伊藤康夫：頸髄損傷. *整・災外.* 56(01) : 15-24, 2013.
- 4) 小松 幹, 須田浩太, 松本聡子ほか：【脊椎外傷-捻挫から脊髄損傷まで】(第1章)救急 脊椎・脊髄損傷の初期治療. *脊椎脊髄ジャーナル.* 29(4) : 271-276; 2016.
- 5) 芝 啓一郎(編著)：脊椎脊髄損傷アドバンス 総合せき損センターの診断と治療の最前線. 南江堂, 2006.
- 6) 米延策雄(編)：脊椎外傷-捻挫から脊髄損傷まで. *脊椎脊髄ジャーナル.* 29(4) : 2016.
- 7) 竹下克志(編)：脊椎・脊髄外傷診療の最前線. *整形外科.* 67(8) : 2016.
- 8) 遠藤直人(編)：骨折(四肢・脊椎脊髄外傷)の診断と治療(その1). *別冊整形外科.* 70 : 2016.
- 9) 田口俊彦(監), 山下敏彦(編)：脊椎・脊髄疾患のニューロサイエンス 神経所見の診かたから再生医療まで. *整・災外.* 60(5) : 2017.
- 10) 坂井宏旭, 植田尊善, 前田 健ほか：脊髄損傷リハビリテーション 現状・課題・展望 疫学調査(解説/特集). *総合リハ.* 36(10) : 969-972, 2008.
- 11) 坂井宏旭, 植田尊善, 芝 啓一郎：我が国における脊髄損傷の現状. *J Spine Res.* 1(1) : 41-51, 2010.
- 12) 坂井宏旭, 植田尊善, 芝 啓一郎：福岡県における脊髄損傷の疫学調査. *Bone Joint Nerve.* (3) : 475-480, 2011.
- 13) 坂井宏旭, 前田 健, 植田尊善ほか：非骨傷性脊髄損傷の急性期治療 非骨傷性頸髄損傷の急性期治療選択. *整形外科.* 67(8) : 759-765, 2016.
- 14) Shingu, H., Ohama, M., Ikata, T., et al. : A nationwide epidemiological survey of spinal cord injuries in Japan from January 1990 to December 1992. *Paraplegia.* 33 : 183-188; 1995.
- 15) Katoh, S., Enishi, T., Sato, N., et al. : High incidence of acute traumatic spinal cord injury in a rural population in Japan in 2011 and 2012 : an epidemiological study. *Spinal Cord.* 52(4) : 264-267, 2014.
- 16) Wang, M. C., Chan, L., Maiman, D. J., et al. : Complications and mortality associated with cervical spine surgery for degenerative disease in the United States. *Spine.* 32(3) : 342-347, 2007.
- 17) van Middendorp, J. J., Hosman, A. J., Donders, A. R., et al. : A clinical prediction rule for ambulation outcomes after traumatic spinal cord injury : a longitudinal cohort study. *Lancet.* 377(9770) : 1004-1010, 2011.
- 18) 日本外傷学会外傷初期診療ガイドライン改訂第5版編集委員会編：改訂第5版外傷初期診療ガイドライン JATEC. へるす出版, 2016

## 1 基礎知識

# ① 脊髄損傷者のリハビリテーション

## わが国の脊髄損傷の特徴

### ① 疫学（高齢化と重度化）

脊髄損傷者の医療に携わる際には、脊髄損傷の特徴を把握しておく必要があります。わが国では過去2回の全国調査が行われています<sup>1, 2)</sup>。

第1回の全国調査(1990～1992年)<sup>1)</sup>では、発生頻度は人口100万人あたり年間40.2人と推計され、全体の75%が頸髄損傷者で、受傷時の年齢は20歳と59歳にピークをもつ二峰性の分布を示しました(図1)。原因は、交通事故がもっとも多く(43.7%)、転落(28.9%)、転倒(12.9%)が続きます。この調査が、全国的な発生頻度を出した唯一のもので、第2回の全国調査(2002年)<sup>2)</sup>では、前回よりも高齢化していることが明らかとなりました。

現在、労災病院関連施設がリハビリテーション(以下、リハビリ)治療を施した外傷性

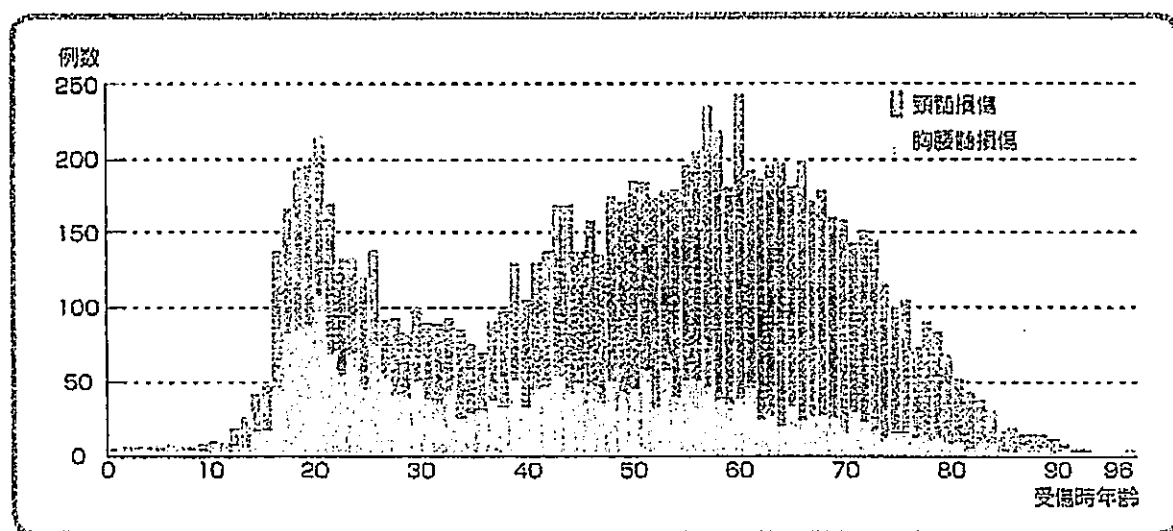


図1 脊髄損傷者の年齢分布

Shingu, H. et al. A nationwide epidemiological survey of spinal cord injuries in Japan from January 1990 to December 1992. Paraplegia. 33 (4). 1995, 183-8. より改変

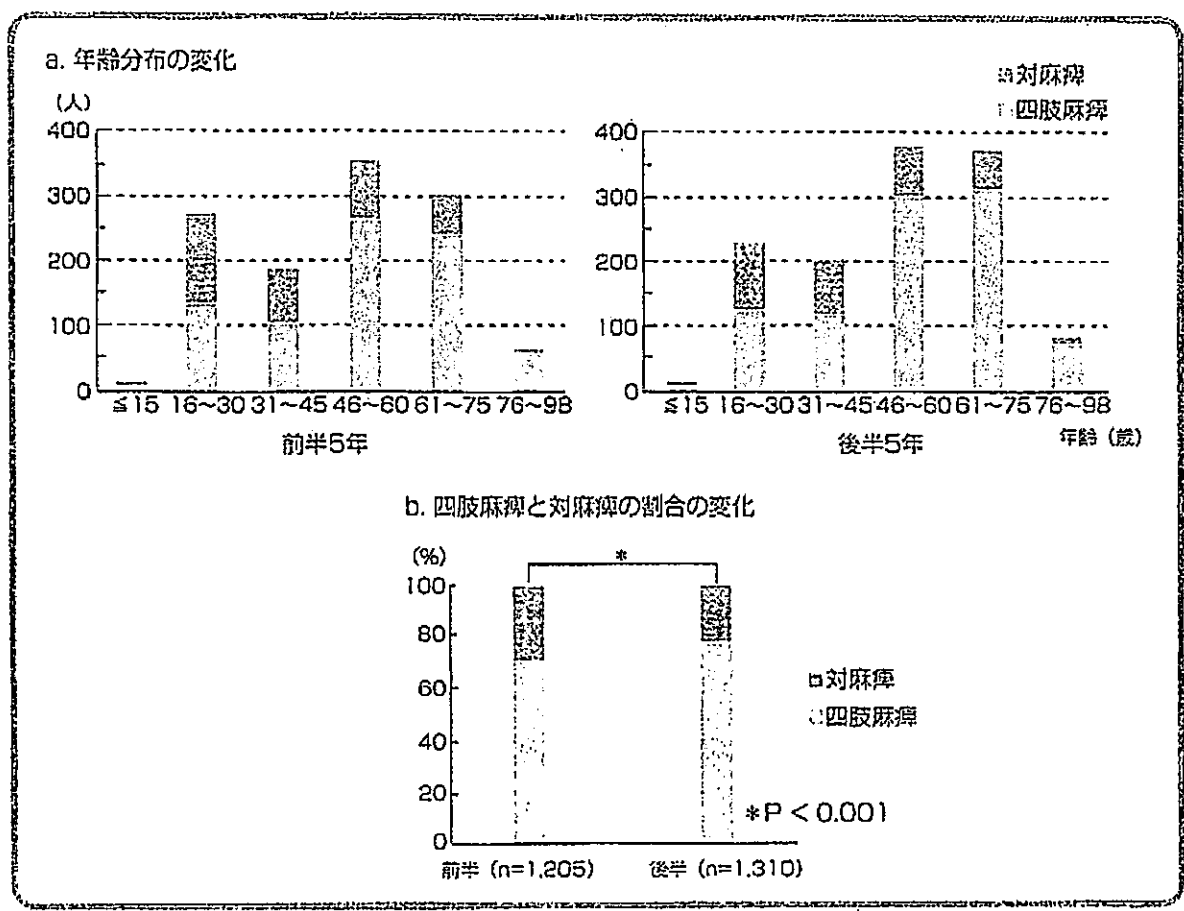


図2 1997～2006年度における前後半の比較

時間孝光ほか, “治療対象者の現状”, 背髄損傷者の治療から社会復帰まで: 全国背髄損傷データベースの分析から, 全国背髄損傷データベース研究会編, 東京, 保健文化社, 2010, 9-22.

背髄損傷者のデータベース (全国背髄損傷データベース) を構築しています。2010年には、1997～2006年度の10年間に登録された3,006例のデータを分析した結果が公表されました。全国背髄損傷データベースでも原因としてもっとも多いのは交通事故ですが、年齢階層でみると高齢者は交通事故の割合が低くなり、転落・起立歩行時の転倒の割合が高くなっています<sup>3)</sup>。また、10年間を前半の5年と後半の5年で比較検討し、ここでも高齢化 (図2-a) と重度化 (対麻痺に比べて四肢麻痺が増加していること) (図2-b) が進行していることを指摘しています<sup>3)</sup>。

## ② 生活習慣病の増加

わが国を含めた先進国においては、急性期の初期治療と慢性期における健康管理法の向上により、背髄損傷者の平均余命は飛躍的に改善しました<sup>4)</sup>。しかし、それともなって生活習慣病の増加が大きな問題となっており、依然として健常者に比べて死亡率は高いとされています<sup>5)</sup>。

脊髄損傷者においては、健常者よりも心血管疾患の有病率が高く、主要な死因の一つとして報告されています<sup>6~8)</sup>。心血管疾患の有病率が高い大きな理由は、健常者に比べて脂質異常症や糖尿病、内臓脂肪の蓄積のような心血管疾患のリスクを有する率が高いからです<sup>9~12)</sup>。それらには、麻痺による不活動のほか、交感神経活動の低下や筋肉量の減少による基礎代謝の低下などもかかわっています<sup>13, 14)</sup>。さらに“筋肉量の減少”については、近年、「運動中に活動している骨格筋の筋細胞からはインターロイキン6などのサイトカインが産生、分泌され、それらは脂肪の分解やインスリン抵抗性をブロックする」ことが証明され<sup>15, 16)</sup>、こちらのメカニズムも関与している可能性があります<sup>15, 17)</sup>。Koudaら<sup>14)</sup>は、「頸髄損傷者と健常者において、ハンドエルゴメータを用いた運動（最大酸素摂取量の60%の運動強度で20分間）をすると、健常者は運動後に血中のインターロイキン6が増加したのに対して、筋肉量の少ない頸髄損傷者では運動後も増加しなかった」という非常に興味深い報告をしています。脊髄損傷者における生活習慣病については、社会復帰後の食生活や運動習慣が大いに関与するので、入院中に予防の大切さを話しておく必要があります。

## 脊髄損傷のリハビリ医療の課題と魅力

現在の医療制度では、リハビリ医療に長期間を要する疾病や障害をもつ人は、複数の医療機関が連携して社会復帰を目指すこととなります。脊髄損傷者も例外ではありません。とくに中高齢の脊髄損傷者は、身体の予備能の低下や併存する内科疾患により長期間のリハビリ医療を要するケースも多く<sup>18)</sup>、連携の必要性は高まる傾向にあります。そして、そこにかかわる医療機関には、「いかなる時期を担当しようとも、目の前にいる脊髄損傷者がもつ可能性を見失うことなく責任をもって役割を果たし、次のステップにバトンタッチすること」が求められています。

一人の脊髄損傷者が社会復帰するまでに複数の医療機関が携わるということは、より多くの方にその魅力を感じ取っていただくチャンスであり、それは、すなわち「脊髄損傷のリハビリ医療の普及・発展」を意味します。すでにその魅力にお気付きの方も多いと思いますが、ここにその一部を挙げておきます。

①脊髄損傷者も高齢化の傾向があるとはいえ、リハビリの対象となるほかの疾病に比べ若



年者が多く、社会復帰の形態が多岐にわたります。そこには多大なエネルギーを要しますが、成果とともに大きな喜びや達成感が得られ、皆で共有することができます。

- ②脊髄損傷者が障害者スポーツなどへ社会参加することは、皆に夢を与えます。また、そこでの成長や活躍から、医療従事者は自己の存在価値を強く感じることができます。
- ③感覚障害により痛みなどの典型的な症状がない状況での診療は、視診・触診の重要性を再認識することができ、基本に立ち返る医療ともいえます。

## リハビリ医療のための診断と評価

### ① 全身理学的所見と神経学的所見（機能障害の評価）

#### 1) 全身理学的所見

脊髄損傷では知覚障害などによって自覚症状に乏しいので、いずれの時期も全身理学的所見を正確にとることがきわめて重要です。そのことで合併症（皮膚や膀胱、直腸、呼吸器、循環器など）の存在も把握できます。

#### 2) 神経学的所見

神経学的所見は、まずは知能など脳の機能を評価しておきます。わが国に多い頸髄損傷では、中高齢での受傷と頭部外傷の合併の頻度が高いためです。また同様の理由で嚥下障害の評価も欠かせません。脊髄損傷者の死因の第1位は呼吸器にかかわるものであり<sup>19)</sup>、嚥下障害と呼吸機能障害の存在下で生じる誤嚥性肺炎はとくに注意が必要です。

損傷レベル（脊髄の損傷の高さ）と麻痺の程度（完全麻痺、不全麻痺など）の診断は、脊髄損傷の神経学的および機能的国際評価法（American spinal injury association : ASIA）に基づいて、運動障害と知覚障害を診察して行います。ただし、頸髄損傷についてはASIAによる評価だけでは詳細な予後予測は困難なため、Zancolli 上肢機能分類も用います。詳細は1章-2「麻痺の分類と評価」に譲りますが、これらは脊髄損傷の医療における共通の言語として理解しておきましょう。

### ② ADL（活動の制限の評価）

機能障害によって生じるADLの評価には、Functional independence measure（以下、FIM）やBarthel Indexを用いるのが一般的です。前述のごとく、わが国では中高齢で受傷する頸髄損傷者が多いので、認知に関する項目を含むFIMでの評価は欠かせません。

FIMでは「しているADL」を評価するので、そこでの看護師の役割は非常に重要です。

### ③ 社会生活への参加の制限の評価

脊髄損傷者が社会復帰するための生活場所の確保は、「脊髄損傷のリハビリ」において非常に大きなウエイトを占めます。現在、入院している医療機関から直接、家庭復帰ができなくても、住宅の建築物や介護のマンパワー、経済的な状況、利用可能な社会資源などの情報を早期に収集します。また、生産年齢にある脊髄損傷者では、職業復帰の可能性を必ず評価しておきましょう。それだけでも、本人にとっては職業復帰への動機付けになることがあります。



## リハビリ医療のプログラム



評価に基づいたゴールの設定、設定されたゴールに向けてのリハビリ訓練、合併症の管理（予防と治療）、日常生活や職業にかかわる環境の整備がおもな内容です。

### ① ゴールの設定

#### 1) ゴールの設定と共有

神経学的所見から予想される獲得可能なADLに、年齢や体型、体力、合併症の存在、社会的背景、本人や家族の考えを加味して、短期ゴール（ADLのゴール）と長期ゴール（社会生活に関するゴール）を設定します。当然、途中で修正されることもありますが、急性期であろうと慢性期であろうと、個々の脊髄損傷者にふさわしい長期ゴールは1つで、そのゴールは皆で共有しておかなければなりません。回復期リハビリテーション病棟では、急性期で示すことが困難だったゴールを設定し、今後の方向性をより明確にする必要があります。

#### 2) 障害の告知と受容

ゴールの設定は医療従事者だけでなく本人や家族とともに行い、その情報を共有します。その際に避けて通ることができないのが、医療従事者からの障害の告知と、脊髄損傷者やその家族の障害の受容です。障害の告知については、麻痺の回復の見込みがないことを告げるのが目的ではなく、リハビリ医療を受けることでなにができるようになるのか、そのために具体的になにをすべきかを提示し、脊髄損傷者や家族の混乱した状況を整理するのが目的であることを認識しておきましょう。

## ② リハビリ訓練

リハビリ訓練は、通常、理学療法と作業療法を行い、嚥下障害などを合併する症例には言語聴覚療法も行います。急性期医療では、損傷された脊椎の安定性に応じて、呼吸器感染や深部静脈血栓症、廃用の予防のための訓練を行います。

車椅子上の座位が可能になりはじめたころからは、体力が許す限りベッドで横になることは避けるよう、医療従事者も心掛けておきましょう。こうした日々の積み重ねによって、廃用の予防や耐久性の向上、起立性低血圧や排便障害の改善が期待できます。訓練室で過ごす時間は非常に限られているので、病棟などでの生活場面などのすべてをリハビリの一环としてとらえておきたいものです。

## ③ 合併症の管理

### 1) 合併症管理の重要性

脊髄損傷の合併症は、多くの場合、複数生じますが、急性期から存在して経過とともに症状が和らぐものや、亜急性期や慢性期になってはじめて出現するものなど多彩です。したがって亜急性期以降も、たんに「病状が安定した脊髄損傷者を急性期から受け入れるだけの医療」では成り立ちません。

合併症管理の良否が、その後の脊髄損傷者の運命を決めていたということもしばしば経験します。とくに重度の褥瘡は治癒するまでの期間はいうまでもなく、いったん治癒した後も、瘢痕化した部分は容易に再発を繰り返し、長きにわたってリハビリ医療の進行を妨げます。

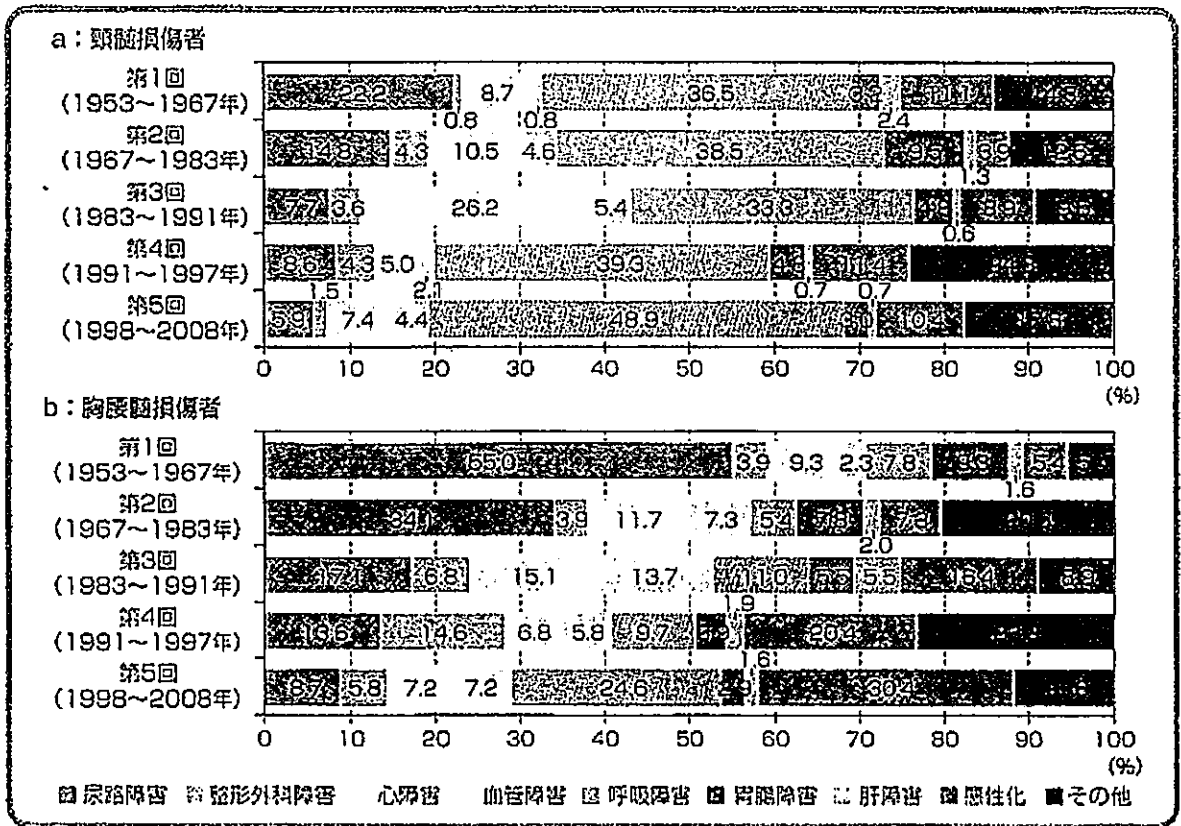
図3に内田の調査による頸髄損傷者(図3-a)と胸腰髄損傷者(図3-b)の死因の推移<sup>19)</sup>を、図4に米国のデータベースから脊髄損傷者の再入院の原因を示しました<sup>20)</sup>。これらから、尿路や呼吸器、皮膚などの合併症の管理がいかに大切かが理解できます。

### 2) 退院後の自己管理のための教育

社会復帰後は本人や家族による管理、いわゆる「自己管理」が主体となるので、入院中にはそのための教育が必要です。合併症の「自己管理」では、その予防と治療に関する知識や技術を習得するだけでなく、生活のなかでその管理に費やす時間や労力が占める割合をバランスよく設定できることが大切です。したがって、生活場面で最もかかわりの深い看護師の役割が非常に重要となります。

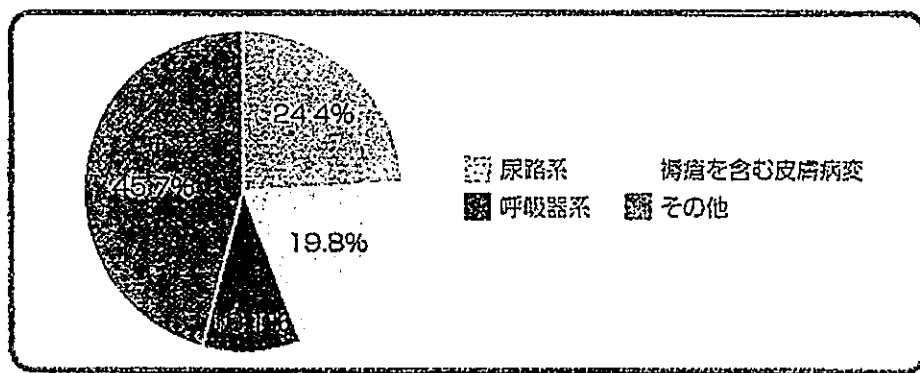
## ④ 生活環境の整備、職業的アプローチ

ADLの将来像が、ある程度みえてきた時点で、本格的に生活環境を整備します。職業復



**図3 脊髄損傷者の死因の推移**

清潔間欠導尿などが普及し排尿管理の方法が確立するとともに、尿路系の割合が減少する。  
 内田危生, "脊髄損傷者の死因と標準化死亡比", 脊髄損傷の治療から社会復帰まで: 全国脊髄損傷データベースの分析から, 全国脊髄損傷データベース研究会編, 東京, 保健文化社, 2010, 158-68, より改変



**図4 脊髄損傷者の再入院の原因 (n=1,162) (米国データベースより)**

Cardenas, DD, et al. Etiology and Incidence of rehospitalization after traumatic spinal cord injury: a multicenter analysis. Arch Phys Med Rehabil. 85 (11), 2004, 1757-63, より改変

帰については、受傷前に仕事に就いていた者では、まずは配置転換も含めた現職場復帰を目指し、それが不可能ならば他職種への変更や職業リハビリへの移行などを検討するのが原則です。職業復帰に関してはおもに医療ソーシャルワーカー (MSW) が介入します。

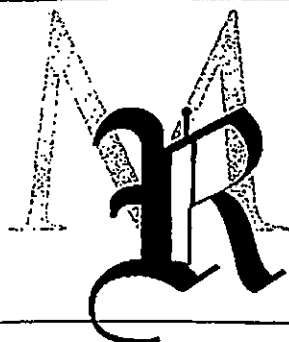
(古澤一成)

## ここが Point

- ① 脊髄損傷のリハビリ医療に携わるにあたって、わが国の脊髄損傷の特徴（高齢化と重度化、社会復帰後の生活習慣病の増加）を把握しておく必要があります。
- ② 脊髄損傷のように長期のリハビリ医療を要する疾病では、「個々にふさわしい長期ゴール」を病院間で共有することが大切です。
- ③ 社会復帰する際には障害や合併症の「自己管理」が不可欠です。その習得において、入院中の生活場面でもっともかかわりの深い看護師の役割は非常に重要です。

### ◆ 引用・参考文献 ◆

- 1) Shingu, H. et al. A nationwide epidemiological survey of spinal cord injuries in Japan from January 1990 to December 1992. *Paraplegia*. 33 (4), 1995, 183-8.
- 2) 柴崎啓一. 全国脊髄損傷登録統計 2002 年 1 月～12 月. 日本脊髄障害医学会雑誌. 18 (1), 2005, 271-4.
- 3) 時岡孝光ほか. “治療対象者の現状”. 脊髄損傷の治療から社会復帰まで: 全国脊髄損傷データベースの分析から. 全国脊髄損傷データベース研究会編. 東京, 保健文化社, 2010, 9-22.
- 4) Strauss, D.J. et al. Trends in life expectancy after spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil*. 87 (8), 2006, 1079-85.
- 5) Middleton, J.W. et al. Life expectancy after spinal cord injury: a 50-year study. *Spinal Cord*. 50 (11), 2012, 803-11.
- 6) Whiteneck, G.G. et al. Mortality, morbidity, and psychosocial outcomes of persons spinal cord injured more than 20 years ago. *Paraplegia*. 30 (9), 1992, 617-30.
- 7) Bravo, G. et al. Cardiovascular alterations after spinal cord injury: an overview. *Curr Med Chem Cardiovasc Hematol Agents*. 2 (2), 2004, 133-48.
- 8) Garshick, E. et al. A prospective assessment of mortality in chronic spinal cord injury. *Spinal Cord*. 43 (7), 2005, 408-16.
- 9) Manns, P.J. et al. Fitness, inflammation and the metabolic syndrome in men with paraplegia. *Arch Phys Med Rehabil*. 86 (6), 2005, 1176-81.
- 10) Myers, J. et al. Cardiovascular disease in spinal cord injury: an overview of prevalence, risk, evaluation, and management. *Arch Phys Med Rehabil*. 86 (2), 2007, 142-52.
- 11) 水口正人. 脊損者の生活習慣病: その診断・現状・治療・予防: 脊損慢性期マネジメントガイド. 住田幹男ほか編. 東京, NPO 法人日本せきぎ基金, 2010, 15-20.
- 12) 横山修. “合併症の予防と管理: 代謝”. 前掲書 3). 2010, 82-90.
- 13) Washburn, R.A. et al. Physical activity and chronic cardiovascular disease prevention in spinal cord injury: a comprehensive literature review. *Top Spinal Cord Inj Rehabil*. 3, 1998, 16-32.
- 14) Kouda, K. et al. Does 20-min arm crank ergometer exercise increase plasma interleukin-6 in individuals with cervical spinal cord injury? *Eur J Appl Physiol*. 112 (2), 2012, 597-604.
- 15) Pedersen, B.K. et al. Muscle as an endocrine organ: focus on muscle-derived interleukin-6. *Physiol Rev*. 88 (4), 2008, 1379-406.
- 16) Hiscock, N. et al. Skeletal myocytes are the source of Interleukin-6 mRNA expression and protein release during contractions: evidence of fiber type specificity. *FASEB J*. 18 (9), 2004, 992-4.
- 17) 古澤一成ほか. 脊髄損傷のリハビリテーションー合併症に関する最近のトピックス. *Monthly Book Medical Rehabilitation*. 115, 2010, 61-6.
- 18) Furusawa, K. et al. Geriatric Spinal Cord Injuries: Rehabilitation Perspective. In: Harvinder Singh Chhabra eds. *ISCOs Textbook on COMPREHENSIVE MANAGEMENT OF SPINAL CORD INJURIES*. Wolters Kluwer, 2015, 960-7.
- 19) 内田竜生. “脊髄損傷者の死因と標準化死亡比”. 前掲書 3). 158-68.
- 20) Cardenas, D.D. et al. Etiology and incidence of rehospitalization after traumatic spinal cord injury: a multicenter analysis. *Arch Phys Med Rehabil*. 85 (11), 2004, 1757-63.



特集／脊髄損傷のリハビリテーション最前線

## 脊髄損傷慢性期リハビリテーションの マネージメント

—回復期から維持期のリハ医療で知っておきたいこと—

古澤一成\*

**Abstract** 脊髄損傷の回復期から維持期では、以下のような点を理解したうえで、社会的アウトカムにこだわったリハビリテーション(以下、リハ)医療を施したい。

### 1. 医療制度について

現在の医療制度においては、複数の医療機関が連携して脊髄損傷者の長期ゴールを目指すことになる。そこにかかわるすべての医療機関が「目の前にいる脊髄損傷者がもつ可能性を見失うことなく責任をもって役割を果たし、次のステップにボタンタッチしていくこと」で、この医療は成り立つ。また、いくつもの医療機関がかかわるということは、より多くの者が脊髄損傷のリハ医療の魅力を感じるチャンスでもある。

### 2. 我が国の脊髄損傷者の特徴

我が国では、高齢受傷者の増加と重度化、社会復帰後の生活習慣病の増加が社会問題となっており、早急な対応が必要である。

### 3. 合併症の管理について

脊髄損傷者が社会復帰するためには、合併症の管理が非常に重要である。本稿では、生命予後に影響を及ぼすもの、社会参加やQOLに影響を及ぼすものについて解説した。回復期から維持期のリハ医療においての1つの目標は、脊髄損傷者や家族の「合併症の自己管理の習得」である。

**Key words:** 頸髄損傷(cervical spinal cord injury), 生活習慣病(life style related disease), 骨格筋(skeletal muscle), マイオカイン(myokines), 自己管理(self-management)

### 現在の医療制度における 脊髄損傷のリハビリテーション医療

現在の医療制度においては、社会復帰に長期間要する疾病や障害では、複数の医療機関が連携して1つのゴールを目指すことになる。脊髄損傷はその代表的な疾病である。昨今、増加する中高年の脊髄損傷者では、身体の予備能の低下や併存する内科疾患により長期間のリハビリテーション(以下、リハ)医療を要するケースも多く<sup>1)</sup>、連携の必要性は高まる傾向にある。

脊髄損傷のリハ医療において、回復期から維持期に携わる医療機関に求められるのは、①ただ単

に紹介されるのを待つのではなく、急性期の医療機関と積極的に連携をとって社会復帰までのスムーズな流れをつくること、②急性期医療で示すことが困難だった詳細なゴールを設定し、今後の方向性をより明確にすること、③良好な社会的アウトカムにこだわり、急性期にかかわった医療機関とその成果を共有すること、④それを果たすための知識や技術、そして高いレベルの意識をもつことである。社会的アウトカムにこだわるというのは、必ずしも、その医療機関から直接、職業復帰などの転帰を得ることだけを示すものではない。たとえ、その転帰が得られなくても、最終的にそのゴールに到達するための最良のステップを選択していることが重要である。

ゴールの設定については、急性期から慢性期のリハ医療を通じて、個々の脊髄損傷者にふさわし

\*Kazunari FURUSAWA, 〒716-1241 岡山県加賀郡吉備中央町吉川 7511 吉備高原医療リハビリテーションセンター、副院長

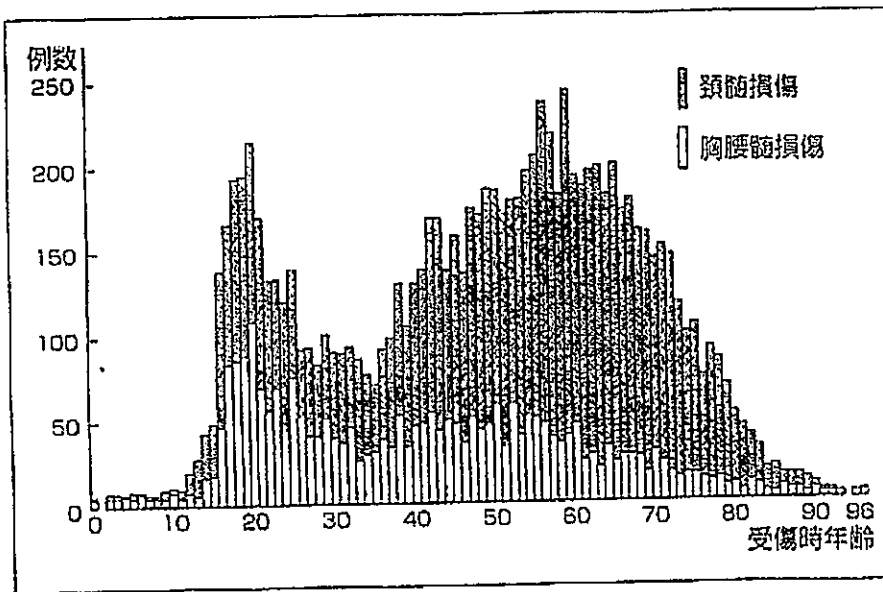


図 1.  
脊髄損傷者の年齢分布  
(1990~92年)  
(文献2より改変)

い長期ゴールは1つであることを認識し、各医療機関がそのゴールを共有しておくことが大切である。医療制度を優先したゴールだけを脊髄損傷者や家族に提示するようなことはあってはならない。いかなる時期を担当しようとも、目の前にいる脊髄損傷者をもつ可能性を見失うことなく責任をもって役割を果たし、次のステップにバトンタッチしていく必要がある。

良好な社会的アウトカムを得るために欠かせないのが、生活環境の整備や職業的なアプローチである。脊髄損傷者が社会復帰するための生活場所の確保は、「脊髄損傷のリハ」において非常に大きなウェイトを占める。現在、入院している医療機関から直接、家庭復帰ができなくても、住宅などの建築物やマンパワー、経済的な状況、利用可能な社会資源などの情報は収集する。また、生産年齢にある脊髄損傷者では職業復帰の可能性を評価しておく、それだけでも、本人にとっては職業復帰への動機づけになることがある。職業復帰については、受傷前に仕事に就いていた者では、まずは配置転換も含めた原職場復帰を目指し、それが不可能ならば他職種への変更や職業リハへの移行などを検討するのが原則であることを知っておきたい。

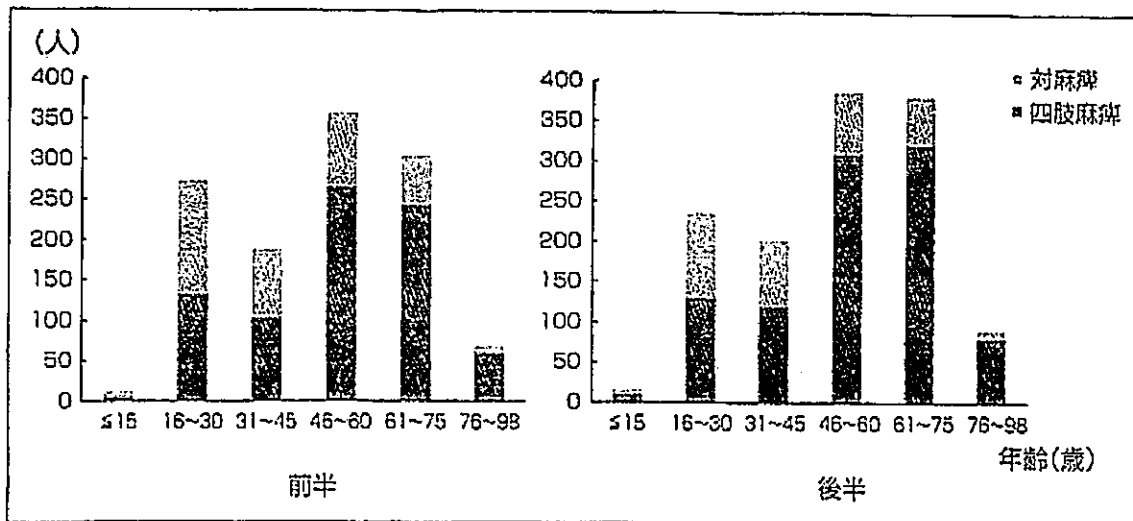
後述する「合併症管理のための患者教育」とともに、「生活環境の整備」や「職業的なアプローチ」などの非採算な部分へエネルギーを注ぐことが、社会的アウトカムの質を向上させる。

### 脊髄損傷のリハ医療の魅力

1人の脊髄損傷者が社会復帰するまでに複数の医療機関が携わるということは、より多くの者がその魅力を感じとるチャンスであり、そのことが「脊髄損傷のリハ医療の普及・発展」につながる。多少、情緒的な表現になるが、臨床現場で感じる脊髄損傷のリハ医療の魅力を挙げておく。①脊髄損傷者も高齢化の傾向があるとはいえ、リハの対象となる他の疾病に比べ若年者が多く、社会復帰の形態が多岐にわたる。良好な社会的アウトカムを得るためには多大なエネルギーを要するが、成果とともに大きな喜びや達成感が得られ、皆で共有することができる。②脊髄損傷者が障害者スポーツなどで社会参加することは、皆に夢を与える。また、そこでの成長や活躍から、医療者は自己の存在価値を強く感じるができる。③感覚障害により痛みなどの典型的な症状がない状況での診察は、視診・触診の重要性を再認識することができ、まさに基本に立ち返る医療といえる。

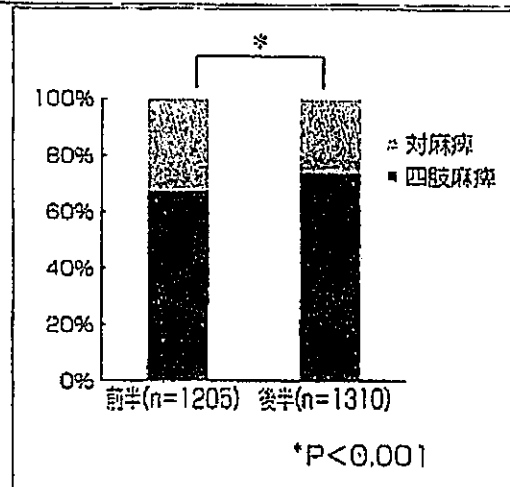
### 我が国の脊髄損傷者の特徴

脊髄損傷の医療に携わる際には、我が国の脊髄損傷者の特徴を把握しておく必要がある。本稿では、脊髄損傷の疫学における課題と社会復帰後の慢性期に生じる生活習慣病について、それぞれの対応も含めて述べる。



a  
b

図 2.  
1997~2006 年における前後半の比較  
a : 年齢分布の変化  
b : 四肢麻痺と対麻痺の割合の変化  
(文献 4 より)



## 1. 疫学(高齢化と重度化)

### 1) 現 状

我が国においては過去 2 回の全国調査が行われている<sup>2)3)</sup>。第 1 回の調査(1990~1992 年)<sup>2)</sup>では、発生頻度は人口 100 万人当たり年間 40.2 人と推計され、全体の 75%が頸髄損傷者で、受傷時の年齢は 20 歳と 59 歳にピークをもつ二峰性の分布を示した(図 1)。この調査が、全国的な発生頻度を出した唯一のものである。第 2 回の全国調査(2002 年)<sup>3)</sup>では、前回よりも高齢化していることが明らかとされている。

現在、労災病院関連施設がリハビリ治療を施した外傷性脊髄損傷者のデータベース(全国脊髄損傷データベース)を構築しており、2010 年には、1997~2006 年度の 10 年間に登録された 3,006 例のデータを分析した結果を公表した。この 10 年間に前半の 5 年と後半の 5 年に分けて比較検討し、ここでも高齢化(図 2-a)と重度化(対麻痺に比べて四肢麻痺が増加していること)(図 2-b)が進

行していることを指摘している<sup>4)</sup>。我が国は世界一の長寿国となり超高齢化社会に突入しており、脊髄損傷もそれを反映して高齢者の受傷が増加している。また、全国脊髄損傷データベースにおいて、原因として最も多いのは交通事故であるが、年齢階層で見ると高齢者は交通事故の割合が低くなり、転落・起立歩行時の転倒の割合が高くなっており<sup>5)</sup>、このことは四肢麻痺が増加している 1 つの要因となっている。

### 2. 慢性期のリハビリ医療での対応

脊髄損傷では、損傷高位に関係なく、運動麻痺以外に、いわゆる「脊髄損傷の合併症」が存在する。それらは、膀胱直腸障害や神経障害性疼痛、褥瘡、性機能障害など多岐にわたるため、いずれの時期においても社会復帰を目指すうえで複数の診療科のかかわりが欠かせない。リハビリ医療の対象のなかでは、最も「包括的医療」の必要性が高い疾病の 1 つといっても過言ではない。その「包括的医療」も、増加傾向にある中高齢の頸髄損傷と、若年の脊髄



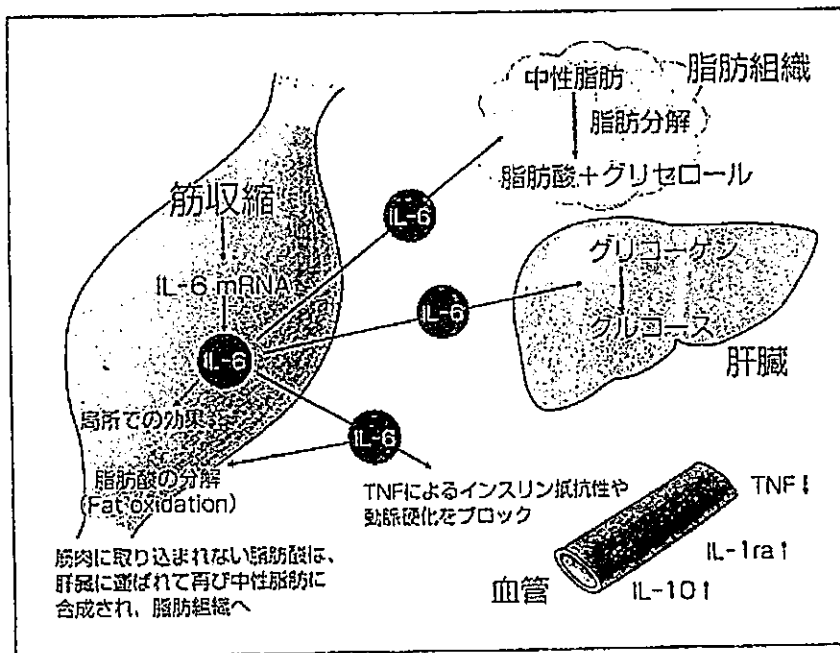


図 3.  
マイオカインによる生理学的効果  
(文献 18 より改変)

損傷対麻痺者では、目指すゴールが異なるため、当然、両者は分けて考える必要がある。中高齢の頸髄損傷者の多くは、介助を要し社会復帰後は外出の頻度も少なく生活のエリアも狭い。日常生活は、合併症や併存する内科疾患の管理が大きなウェイトを占め、公的なサービスを利用して身体の機能や ADL の維持に努めているのが現状である。したがって、回復期から維持期の入院でのリハビリ医療は、将来の生活の場所を考慮した「地域密着型の包括的医療」となる。一方、若年の対麻痺者は、障害は残存するものの社会復帰後も体力などの身体的な面や、「参加の制限」のレベルでの発展が大いに期待できる。特に職業復帰や職業リハへの移行が見込まれる者において、急性期から回復期・維持期へ移行する際には、それらを視野に入れたり医療機関の選択が理想的で、こちらは「広域型の包括的医療」といえる。

生産年齢にある頸髄損傷者については、「職業復帰」も大きな課題である。昨今、情報技術 (information technology : IT) の発展普及により、就労形態も変化しつつある。なかでも SOHO (small office home office) は、重度の障害をもつ頸髄損傷者にとっては非常に有利な環境である。脊髄損傷、特に頸髄損傷の麻痺や合併症に対する理解を示し、ほぼ完全な在宅就労の形態をとる企業も現れ、今や頸髄損傷者の就労も現実的なものとなっている。

### 3. 生活習慣病の増加

我が国を含めた先進国においては、急性期の初期治療と慢性期における健康管理法の向上により、脊髄損傷者の平均余命は飛躍的に改善している<sup>5)</sup>。しかし、それに伴って、社会復帰後の脊髄損傷者における生活習慣病の増加が大きな問題となっており、依然として健常者に比べて死亡率は高いとされている<sup>6)</sup>。

心血管疾患は、障害の有無にかかわらず主要な死因の 1 つであるが、脊髄損傷者は健常者よりもその有病率が高い<sup>7)~10)</sup>。また、健常者よりも若年で発症する傾向があることもいわれている<sup>10)</sup>。Myers ら<sup>10)</sup>は、脊髄損傷における心血管疾患についての総説のなかで、「症候性心血管疾患の有病率は健常者では 5~10% であるのに対して、脊髄損傷者では 30~50% であった」としている。脊髄損傷者で心血管疾患の有病率が高い大きな理由は、健常者に比べて脂質異常症や糖尿病、内臓脂肪の蓄積のような心血管疾患のリスクを有する率が高いことにある<sup>10)~13)</sup>。それらには、麻痺による不活動の他、交感神経活動の低下や筋肉量の減少による基礎代謝の低下などもかかわっており<sup>10)14)15)</sup>、早急に解決すべき問題である<sup>10)</sup>。

本稿では、「筋肉量の減少」について触れておく。2004 年、Pedersen らの研究グループが、運動中に活動している骨格筋の筋細胞でインターロイキン 6 (IL-6) が産生、分泌されることを、初めてヒ

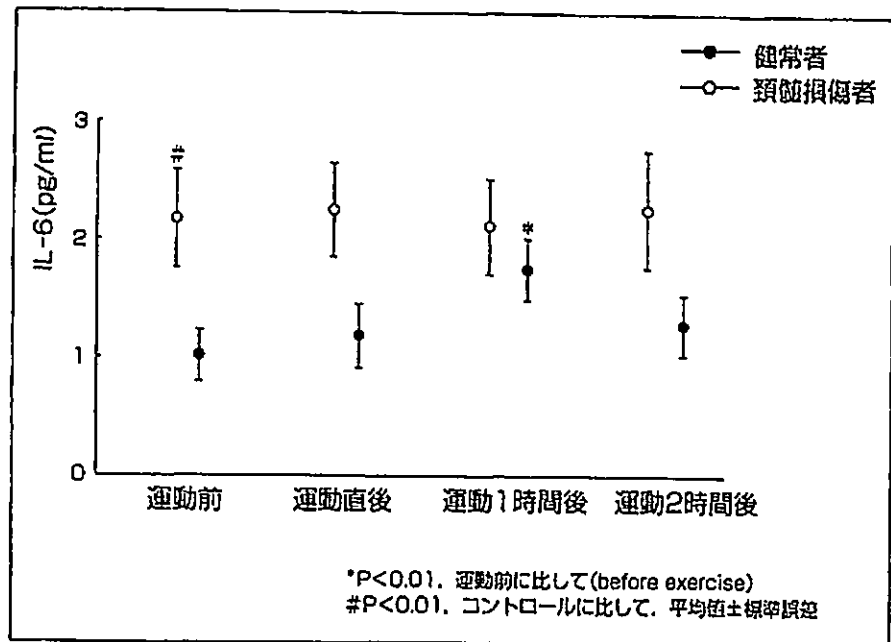


図 4.  
頸髄損傷者の 20 分間の運動に  
おける IL-6 の変化  
(文献 15 より改変)

トで証明した<sup>16)</sup>。現在、IL-6 以外のサイトカインも産生されることがわかっており、それらはマイオカインと呼ばれている。インスリン抵抗性の抑制や脂肪の分解、炎症性サイトカインである腫瘍壊死因子産生の抑制などの作用を有し<sup>17)</sup>、運動による生理学的効果の一部はマイオカインを介して発揮される(図 3)<sup>18)</sup>。今や骨格筋は内分泌器官として認識されている<sup>17)</sup>。

運動による血中 IL-6 の上昇は、その時間や強度、運動に動員される筋肉の量などに関連し、筋損傷とは関係がない。脊髄損傷者においては、神経支配を失ったことや活動量の低下により全身の筋肉量は減少しており、IL-6 の産生に支障をきたしている可能性がある。Kouda ら<sup>15)</sup>は、「頸髄損傷者と健常者において、ハンドエルゴメータを用いた運動(最大酸素摂取量の 60% の運動強度で 20 分間)をすると、健常者は運動後に血中の IL-6 が増加したのに対して、筋肉量の少ない頸髄損傷者では運動後も増加しなかった」という非常に興味深い報告をしている(図 4)。慢性期の脊髄損傷者で生活習慣病が多いことについては、これらの事実が関与している可能性がある。

脊髄損傷者において、心肺機能を維持し、心血管疾患のリスクファクターとなる疾病の発症を防ぐためには、通常の生活で行う活動だけでは不十分であり、効果的な運動の介入や食生活の改善など、健康的なライフスタイルの確立が欠かせな

い<sup>11)19)</sup>。脊髄損傷者における生活習慣病については、社会復帰後の大きな問題として認識されているが、上記のような理由から、脊髄損傷者本人や家族には入院中からその事実と改善策を示しておく必要がある。

#### 合併症の管理

脊髄損傷の合併症は多くの場合、複数生じるが、急性期から存在し経過とともに症状が和らぐものや、亜急性期や慢性期になって初めて出現するものなど多種多様である。したがって、亜急性期以降も、単に「病状が安定した脊髄損傷者を急性期医療から受け入れるだけの医療」では成り立たない。

合併症の管理の良否が、その後の脊髄損傷者の運命を決めていたということをししばしば経験する。特に重度の褥瘡は治療するまでの期間はいうまでもなく、一旦、治療した後も瘢痕化した部分は容易に再発を繰り返し、長きにわたってリハビリの進行を妨げる。本稿では、「生命予後への影響」と「社会参加や QOL への影響」という観点から、合併症の管理の重要性を述べる。

#### 1. 生命予後に影響を及ぼす合併症

呼吸機能障害による感染は、生命予後に大きく影響するため、その管理が非常に重要である。Hartkopp らによると<sup>20)</sup>、40 年間にわたるフォローのなかで死亡した 236 例の脊髄損傷者の分析

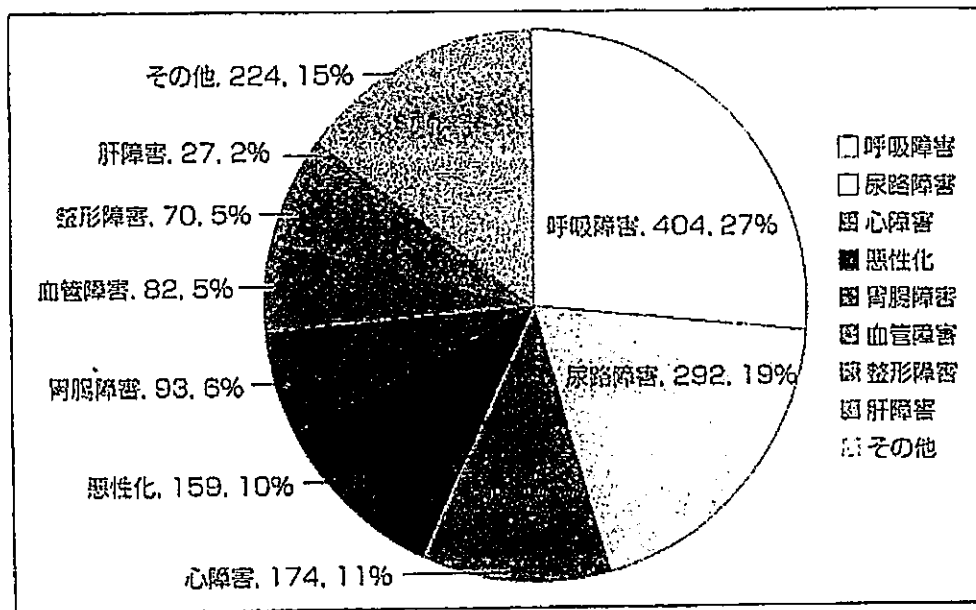


図 5.  
脊髄損傷者の死因の集計  
(文献 22 より)

から、最も多い死因は肺疾患、特に肺炎、自殺、虚血性心疾患であったとしている。854 例の死亡者を調査した DeVivo ら<sup>21)</sup>の報告においても、脊髄損傷の合併症のなかでは呼吸機能障害による肺炎は主要な死因の 1 つであり、肺炎での死亡は年齢や性別、人種などをマッチさせた一般人口の 37.1 倍であった。

内田<sup>22)</sup>は、労災病院および労災リハ作業所を受療し死亡の確認ができた 1,525 例の死因について調査をしている。図 5 は全体の死因の集計、図 6 はそれぞれ頸髄損傷者、胸腰髄損傷者の死因の推移である。まず、全体をみると呼吸機能障害によるものが 27% を占め最も多い(図 5)。頸髄損傷者における推移は、尿路系に由来するものの割合が年々減少し、一方、呼吸機能障害による割合は増加し、最近では半数近くを占めるに至っている(図 6-a)。胸腰髄損傷者では、間欠導尿による排尿管理が確立し、昭和 20~40 年代に半数以上を占めていた尿路系に由来する死亡は減少し、最近では呼吸機能障害や悪性腫瘍による死亡が増加して両者で半数以上を占めるに至っている(図 6-b)。

増加している中高齢の頸髄損傷者においては、「四肢麻痺」そのものに加えて「加齢」「頸椎の手術」「頭部外傷の合併の可能性」など、嚥下障害を引き起こすリスクを抱えており、その評価は欠かせない。呼吸機能障害と嚥下障害の存在下で生じる誤嚥性肺炎は特に注意が必要である。

2. 社会参加, QOL に特に影響を及ぼす合併症  
脊髄損傷者は、運動機能の回復以外には、排尿・排便、性機能に関する問題と疼痛に関心をもっており、これらは QOL に大きな影響を及ぼしている<sup>23)~25)</sup>。脊髄損傷における排泄に関して、排尿管理は確立された感があるが、排便の問題は生命予後に直接影響を及ぼさないため、多くの場合、医療従事者における関心は薄い。さらに、脊髄損傷者本人も他人に相談しにくいことから、コントロールが不十分なままで社会復帰していることも少なくない。Han ら<sup>26)</sup>は、受傷後 6 か月以上経過した脊髄損傷者 72 例における排便管理に関する調査を行っている。それによると、日常生活への影響として、「食事の制限をしている」とした者が全体の 80.0%、「外出が制限される」が 64.6%、「排便管理の難しさや不幸せを感じる」が 48.8%であった。また、Kim ら<sup>27)</sup>は、地域で生活する 388 例の脊髄損傷者における排便管理と QOL との関連を調査している。QOL を著しく低下させる要因として、「肛門周囲の皮膚のトラブル」「ガスの漏れ」「便失禁」「長時間の排便」「痔疾患」を挙げ、医療従事者には、これらの予防や治療、特に排便時間の改善を求めている。排便管理で重要なのは、生活のなかでその管理に費やす時間と労力が占める割合をバランスよく設定することである。「便失禁」を過度に意識すると、当然、排便は「長時間」になり、脊髄損傷者の生活や、人生までもが「排便」に支配される。当センターでも、脊髄損傷者は排

a  
b

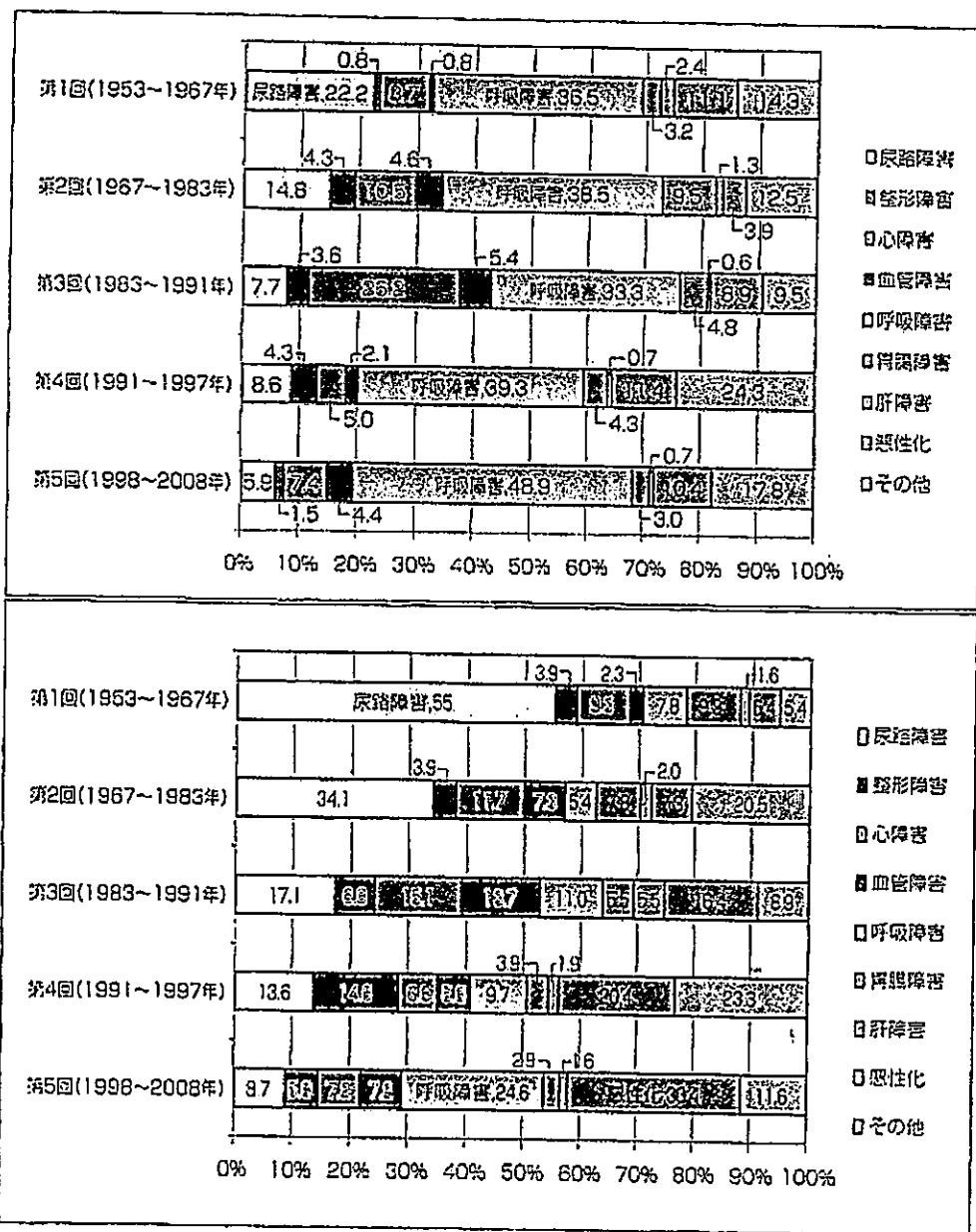


図 6. 脊髄損傷者の死因の推移  
 a : 頸髄損傷者  
 b : 胸腰髄損傷者  
 (文献 22 より改変)

便にある程度の時間を要し、便失禁も必ず経験する。しかし、排便管理においても、医療従事者が脊髄損傷者と向き合い、ともに「便失禁」や「長時間の排便」を軽減するように努め、脊髄損傷者にその「標準」を示すことができれば、「排便障害」単独で社会参加までも妨げるようなことはほとんどない。

排便障害については、そのコントロールが「良好でない」と感じると社会参加までも妨げること、その点において、回復期から維持期のリハビリ医療での脊髄損傷者へのかかわりが、人生を大きく左右する可能性があることを知っておく必要がある。回復期から維持期のリハビリ医療に携わる者は、まずは、脊髄損傷者の「排便障害」に関心をもって欲しい。

### 3. 自己管理の重要性

社会復帰後は本人や家族による管理、いわゆる「自己管理」が主体となる。したがって、「合併症の管理」のゴールの1つは「自己管理の習得」である。「排便管理」でも述べたように、合併症の管理に費やす時間と労力は、その他の日常生活とのバランスを考慮して設定される。したがって、「自己管理」は、その予防と治療に関する知識や技術を習得するだけでなく、生活のなかで実践するための応用力も身につけておく必要がある。社会的アウトカムにこだわるリハビリ医療に、合併症の自己管理の習得のための「指導と教育」は欠かせない。

## 文 献

- 1) Furusawa K, Tajima F : Geriatric Spinal Cord Injuries : Rehabilitation Perspective. Chhabra H S (eds). ISCoS Textbook on Comprehensive Management of Spinal Cord Injuries, pp. 960-967, Wolters Kluwer, 2015.  
(Summary) 高齢で受傷した脊髄損傷者の疫学や予後、合併症などについてその特徴を解説している。
- 2) Shingu H, et al : A nationwide epidemiological survey of spinal cord injuries in Japan from January 1990 to December 1992. *Paraplegia*, 33 : 183-188, 1995.
- 3) 柴崎啓一 : 全国脊髄損傷登録統計 2002 年 1 月～12 月. *日脊障医誌*, 18-1 : 271-274, 2005.
- 4) 時岡孝光ほか : 治療対象者の現状. 全国脊髄損傷データベース研究会(編), 脊髄損傷の治療から社会復帰まで 初版, pp. 9-22, 保健文化社, 2010.
- 5) Strauss DJ, et al : Trends in life expectancy after spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil*, 87 : 1079-1085, 2006.
- 6) Middleton JW, et al : Life expectancy after spinal cord injury : a 50-year study. *Spinal Cord*, 50 : 803-811, 2012.
- 7) Whiteneck GG, et al : Mortality, morbidity, and psychosocial outcomes of persons spinal cord injured more than 20 years ago. *Paraplegia*, 30 : 617-630, 1992.
- 8) Bravo G, et al : Cardiovascular alterations after spinal cord injury : an overview. *Curr Med Chem Cardiovasc Hematol Agents*, 2 : 133-148, 2004.
- 9) Garshick E, et al : A prospective assessment of mortality in chronic spinal cord injury. *Spinal Cord*, 43 : 408-416, 2005.
- 10) Myers J, et al : Cardiovascular disease in spinal cord injury : an overview of prevalence, risk, evaluation, and management. *Am J Phys Med Rehabil*, 86 : 142-152, 2007.
- 11) Manns PJ, et al : Fitness, inflammation and the metabolic syndrome in men with paraplegia. *Arch Phys Med Rehabil*, 86 : 1176-1181, 2005.
- 12) 水口正人 : 脊損者の生活習慣病—その診断・現状・治療・予防. 住田幹男ほか(編), 脊損慢性期マネジメントガイド 第1版, pp. 15-20, NPO 法人日本せきずい基金, 2010.
- 13) 横山 修 : 合併症の予防と管理. 代謝. 全国脊髄損傷データベース研究会(編), 脊髄損傷の治療から社会復帰まで 初版, pp. 82-90, 保健文化社, 2010.
- 14) Washburn RA, Figoni SF : Physical activity and chronic cardiovascular disease prevention in spinal cord injury : a comprehensive literature review. *Top Spinal Cord Inj Rehabil*, 3 : 16-32, 1998.
- 15) Kouda K, et al : Does 20-min arm crank ergometer exercise increase plasma interleukin-6 in individuals with cervical spinal cord injury? *Eur J Appl Physiol*, 112 : 597-604, 2012.  
(Summary) 頸髄損傷者において, ハンドエルゴメータを用いた運動(最大酸素摂取量の 60% の運動強度で 20 分間)を行い, 運動後の血中 IL-6 濃度を測定している。
- 16) Hiscock N, et al : Skeletal myocytes are the source of interleukin-6 mRNA expression and protein release during contractions : evidence of fiber type specificity. *FASEB J*, 18 : 992-994, 2004.  
(Summary) 運動中, IL-6 がヒトの筋細胞で産生されるのを証明した論文である. 運動前にはほとんどみられなかった筋細胞内の IL-6 mRNA が運動後には増加したことを示している。
- 17) Pedersen BK, Febbraio MA : Muscle as an endocrine organ : focus on muscle-derived interleukin-6. *Physiol Rev*, 88 : 1379-1406, 2008.
- 18) Petersen AM, et al : The anti-inflammatory effect of exercise. *J Appl Physiol*, 98 : 1154-1162, 2005.
- 19) Warburton DER, et al : Cardiovascular Health and Exercise Following Spinal Cord Injury. Eng JJ, et al (eds), *Spinal Cord Injury Rehabilitation Evidence*, Version 5.0, pp. 1-48, Vancouver, 2014.
- 20) Hartkopp A, et al : Survival and cause of death after traumatic spinal cord injury. A long-term epidemiological survey from Denmark. *Spinal Cord*, 35(2) : 76-85, 1997.
- 21) DeVivo MJ, et al : Causes of death during the first 12 years after spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil*, 74(3) : 248-254, 1993.
- 22) 内田竜生 : 脊髄損傷者の死因と標準化死亡日. 全国脊髄損傷データベース研究会(編), 脊髄損傷の治療から社会復帰まで 初版, pp. 158-168, 保健文化社, 2010.
- 23) Noonan VK, et al : Impact of associated condi-

tions resulting from spinal cord injury on health status and quality of life in people with traumatic central cord syndrome. *Arch Phys Med Rehabil*, 89 : 1074-1082, 2008.

- 24) Estores IM : The consumer's perspective and the professional literature : what do persons with spinal cord injury want ? *J Rehabil Res Dev*, 40 (suppl 1) : 93-98, 2003.
- 25) Anderson KD : Targeting recovery : priorities of

the spinal cord-injured population. *J Neurotrauma*, 21 (10) : 1371-1383, 2004.

- 26) Han TR, et al : Chronic gastrointestinal problems and bowel dysfunction in patients with spinal cord injury. *Spinal Cord*, 36 : 485-490, 1998.
- 27) Kim JY, et al : Management of bowel dysfunction in the community after spinal cord injury : a postal survey in the Republic of Korea. *Spinal Cord*, 50 : 303-308, 2012.

PI-LL $\leq$ 10°, PT $<$ 20° はすべての年齢層に当てはまるのか、

## 目指すべき PI-LL および Pelvic Tilt は すべての年齢層にあてはまるのか？

術後 2 年経過症例からの検討

稲見 聡\* 種市 洋\*

### Are The Optimum PI-LL And PT Values Constant Irrespective of Age Groups?

Satoshi INAMI Hiroshi TANEICHI

Key words : 成人脊柱変形(adult spinal deformity), 矢状面アライメント(sagittal alignment), 年齢(age)

成人脊柱変形術後患者 73 例を対象にして、年齢が矢状面パラメータへ及ぼす影響を調査した。術後成績が良好な症例を若年群(65 歳未満)と高齢群(65 歳以上)に分け比較すると、PI-LL (pelvic incidence-lumbar lordosis) (若年群 : 10°, 高齢群 : 11°) と PT (pelvic tilt) (若年群 : 25°, 高齢群 : 28°) の値に有意な差がなく、TK (thoracic kyphosis) (若年群 : 28°, 高齢群 : 38°) は高齢群が有意に大きかった。成人脊柱変形の手術治療は主に矯正固定術であり、手術で固定した角度で長い期間を過ごすことになる。よって、手術における矯正目標値は、年齢層を超越し経年的な変化を加味した値が理想的と考える。

### はじめに

成人脊柱変形(adult spinal deformity : ASD)に関する多くの研究により、各種矢状面パラメータの標準値や矯正の目標値が示されている<sup>1-4)</sup>。手術における腰椎前弯(lumbar lordosis : LL)獲得の指標としては、pelvic incidence(PI)にマッチした LL の重要性が広く認識され、各種の予測式が示されている<sup>5-7)</sup>。一方、臨床においては、PI と LL のミスマッチを呈する症例も多く存在し、それらにおいては、矢状面アライメントの代償作用がさまざまな程度で関与している。このミ

スマッチとそれに対する代償作用が複雑に関連して患者の QOL に大きな影響を与えるが、この様態はさまざまであり、いまだに不明な点も存在する<sup>8,9)</sup>。

Scoliosis Research Society (SRS)-Schwab 分類における sagittal modifier では、PI-LL $<$ 10°, pelvic tilt (PT) $<$ 20° を目標値としているが<sup>10)</sup>、実際にはこの基準から外れても QOL のよい症例は多数経験する。また、健常者の矢状面パラメータに関する研究では、年齢層によりパラメータの標準値が異なることが報告され、高齢になるほど PI-LL や PT の値は大きいことが示されている<sup>11)</sup>。

本稿では、PI-LL $<$ 10° の妥当性をわれわれが

\* 獨協医科大学整形外科 [〒321-0293 栃木県下都賀郡壬生町北小林 880] Department of Orthopaedic Surgery, Dokkyo Medical University, School of Medicine

表1 年齢層別の矢状面パラメータの比較

	若年群	高齢群	P 値
TK : thoracic kyphosis(° )	28	38	0.045
LL : lumbar lordosis(° )	40	44	0.452
PT : pelvic tilt(° )	25	28	0.363
PI-LL : pelvic incidence-lumbar lordosis(° )	10	11	0.761
DLL-LL : Dokkyo formula LL(° )	3	0	0.289

Wilcoxon 検定

作成した LL と PI の関係式を用いて考察し、さらに ASD 術後患者を対象にして、年齢が矢状面パラメータへ及ぼす影響を調査する。

## ▶対象と方法

対象は当院で手術加療を行った、ASD の手術症例 73 例である。神経筋疾患や慢性関節リウマチの合併症を有する症例、また脊柱変形の主病態が骨粗鬆症性椎体骨折によるものは除外した。平均年齢  $64.8 \pm 8.1$  歳で、男性 17 例、女性 56 例であった。SRS-Schwab 分類は L : 33 例、D : 7 例、N : 33 例であった。

術後 2 年時の以下のパラメータを計測し解析した。計測項目は胸椎後弯 (thoracic kyphosis : TK), LL, PT, PI, PI-LL, われわれが報告した LL 矯正目標値算出式<sup>6)</sup> : Dokkyo formula ( $LL = 0.6 PI + 11$ ) から算出した LL (DLL), DLL-LL, sagittal vertical axis (SVA), および Oswestry Disability Index (ODI) である。本シリーズの年齢分布を解析すると、中央値 : 65 歳 (最大値 : 80 歳, 最小値 : 44 歳) であった。年齢層別に各パラメータの比較を行うために、中央値の 65 歳を基準とし 65 歳以上を高齢群、65 歳未満を若年群として各パラメータの比較を行った (Wilcoxon 検定,  $P < 0.05$ )。

## ▶結果

### 1. 術後 2 年時の各パラメータ値

TK :  $33.1^\circ$ , LL :  $38.8^\circ$ , PT :  $27^\circ$ , PI :  $50.2^\circ$ , PI-LL :  $11.4^\circ$ , DLL :  $41.2^\circ$ , DLL-LL :  $2.4^\circ$ , SVA :  $42.8$  mm, ODI :  $15.6\%$  (最大値  $66.7$ , 最

小値 0, 75% 分位点 25) であった。

### 2. 年齢層別の矢状面パラメータの比較 (表 1)

手術後の成績良好例を解析対象とするために、ODI が 75% 分位点である 25 以下の症例を抽出し、57 例で解析を行った。

高齢群と若年群の比較で有意差を認めたパラメータは TK のみで、PI-LL や PT は年齢層別で有意な差は認めなかった。

## ▶考察

### 1. PI-LL について

ASD 手術において適切な LL を獲得するためには、個人固有の骨盤形態である PI にマッチした指標が必要であり、SRS-Schwab 分類においては  $PI-LL < 10^\circ$  が提唱されている<sup>10)</sup>。これは主に術前の ASD 患者を対象にして、導き出された指標である。一方、われわれは ASD 術後患者の成績良好例を対象にして、 $LL = 0.6 PI + 11$  の関係式が成り立つことを報告してきた<sup>6)</sup>。この 2 つの式を詳しくみると、近似点と相違点があることがわかる (図 1)。

PI が  $50^\circ$  の場合では、LL の値は両式ともに約  $40^\circ$  と近似する。しかし相違点は、われわれの式では目標とする PI-LL は一定の値ではなく、PI の大きさにより変化することである。つまり PI が小さな値の場合は、LL は PI に近い値が必要になり  $PI-LL < 10^\circ$  が必須となる。一方、PI が大きな場合は Schwab らよりも小さな LL となり、 $PI-LL > 10^\circ$  が許容されることである。PI-LL を矯正の指標として用いる場合、PI が約  $50^\circ$  の症例では  $PI-LL < 10^\circ$  でよいが、それ以外の場合は



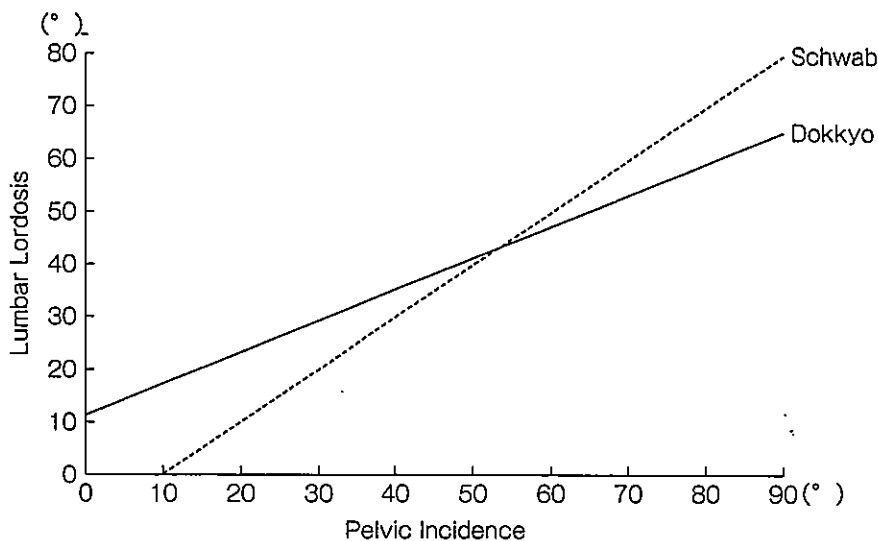


図1 目標とする腰椎前弯の比較

Schwab の式 (点線:  $LL=PI-10$ ) と Dokkyo formula (実線:  $LL=0.6PI+11$ ) は, PI が  $50^\circ$  近傍では  $LL \approx 40^\circ$  で一致する. Dokkyo formula では, PI が小さい場合は Schwab の式よりも大きな LL が必要であり (PI-LL は小さい), PI が大きい場合は Schwab の式よりも少ない LL が許容される (PI-LL は大きい).

前記事項を加味するべきと考えている. DLL は PI の大小も加味した LL の指標であり, われわれは矯正の目標値を考える際に PI-LL のみならず DLL も併せて考えている.

## 2. 年齢層によるパラメータの比較

PI-LL は高齢群:  $11^\circ$ , 若年群:  $10^\circ$  で, 年齢層による差はなく, いずれの群においてもおおむね PI-LL =  $10^\circ$  であった. また DLL-LL は高齢群:  $0^\circ$ , 若年群:  $3^\circ$  で年齢層による差は認めなかった. 年齢によらず, DLL は QOL 良好な症例の LL を表しているといえる. 一方, TK は高齢群:  $38^\circ$  で若年群:  $28^\circ$  と, 高齢者では有意に大きな値であった (参考データとして挙げると, 術前の TK 値は高齢群:  $17^\circ$ , 若年群:  $12^\circ$  と高齢者が大きく, また術直後から術後 2 年での TK 増加量は高齢群:  $8^\circ$ , 若年群:  $5^\circ$  と, 有意差はないが高齢者が大きな値であった). 高齢者では加齢性変化により術前から TK が大きく, 術後の増加量も多いと考える.

年齢層別に矢状面パラメータを調査した研究によると, 経年的に LL は減少し, PT と SVA は増大することが示され, 75 歳以上の年齢層では,  $PT=28.5^\circ$  を標準値とする報告がある<sup>11)</sup>. 本シリーズにおいて年齢層による PT 値に有意差はな

く, 高齢群:  $28^\circ$ , 若年群:  $25^\circ$  であった (表 1). これは QOL 良好な症例群の値であるが, SRS-Schwab 分類での PT 値に比較すると大きな値である<sup>10)</sup>. 本シリーズの術後患者の 2 年経過時においては,  $PT > 20^\circ$  でも許容されるといえる.

## まとめ

手術における至適な LL を考えるうえで, 本研究においては PI-LL と DLL-LL のいずれにおいても, 年齢層による違いは認めなかった. ASD に対する手術治療は主に矯正固定術であり, その後の人生を手術で固定した角度で長年過ごすことになる. よって, 手術における矯正目標値は, 年齢層を超越し経年的な変化を加味した値が理想的であろう. DLL は LL 関連のフォーミュラのなかでは求める LL が小さい部類に入るが<sup>5-7)</sup>, 若年者と高齢者の両年齢層においてよい指標となっていた.

筋量の減少や下肢関節の可動域の減少は, 避けることができない加齢性変化であり, 経年的に矢状面グローバルアライメントに大きな影響を及ぼすと考える. 本研究でも高齢群で TK は大きな値であり, 加齢により胸椎後弯が増加することが予想され, 固定上位端の選択に際しては TK と年齢の因子を考える必要がある. また, 多くの症例が

PT>20°でもQOLは良好であったが、長期的には股関節への影響も考える必要があるかもしれない。骨盤後傾は股関節には非生理的環境であり、変形性股関節症との関与も危惧される。さらに長期的な視野で考えると、筋量減少が進行した場合でも代償作用の維持が可能なのか、現在明確な研究はない。これらは今後の長期観察で調べる必要がある。

## 文献

- 1) Schwab F, Farcy JP, Bridwell K, et al. A clinical impact classification of scoliosis in the adult. *Spine (Phila Pa 1976)* 2006; 31: 2109-14.
- 2) Legaye J, Duval-Beaupère G, Hecquet J, et al. Pelvic incidence: a fundamental pelvic parameter for three-dimensional regulation of spinal sagittal curves. *Eur Spine J* 1998; 7: 99-103.
- 3) Boulay C, Tardieu C, Hecquet J, et al. Sagittal alignment of spine and pelvis regulated by pelvic incidence: standard values and prediction of lordosis. *Eur Spine J* 2006; 15: 415-22.
- 4) Roussouly P, Gollogly S, Nosedà O, et al. The vertical projection of the sum of the ground reactive forces of a standing patient is not the same as the C7 plumb line: a radiographic study of the sagittal alignment of 153 asymptomatic volunteers. *Spine (Phila Pa 1976)* 2006; 31: E320-5.
- 5) Legaye J, Duval-Beaupère G. Sagittal plane alignment of the spine and gravity: a radiological and clinical evaluation. *Acta Orthop Belg* 2005; 71: 213-20.
- 6) Inami S, Moridaira H, Takeuchi D, et al. Optimum pelvic incidence minus lumbar lordosis value can be determined by individual pelvic incidence. *Eur Spine J* 2016; 25: 3638-43.
- 7) Yamato Y, Hasegawa T, Kobayashi S, et al. Calculation of the target lumbar lordosis angle for restoring an optimal pelvic tilt in elderly patients with adult spinal deformity. *Spine (Phila Pa 1976)* 2016; 41: E211-7.
- 8) Lamartina C, Berjano P. Classification of sagittal imbalance based on spinal alignment and compensatory mechanisms. *Eur Spine J* 2014; 23: 1177-89.
- 9) Ferrero E, Liabaud B, Challier V, et al. Role of pelvic translation and lower-extremity compensation to maintain gravity line position in spinal deformity. *J Neurosurg Spine* 2016; 24: 436-46.
- 10) Schwab F, Ungar B, Blondel B, et al. Scoliosis Research Society-Schwab adult spinal deformity classification: a validation study. *Spine (Phila Pa 1976)* 2012; 37: 1077-82.
- 11) Lafage R, Schwab F, Challier V, et al. Defining spino-pelvic alignment thresholds. Should operative goals in adult spinal deformity surgery account of age? *Spine (Phila Pa 1976)* 2016; 41: 62-8.

MEDICAL BOOK INFORMATION

医学書院

# フットケアと足病変治療ガイドブック 第3版

編集 一般社団法人 日本フットケア学会

●B5 頁304 2017年  
定価: 本体3,400円+税  
[ISBN978-4-260-03036-8]

足にトラブルを抱えフットケアを必要とする人にどう向き合うか。足のたいせつさを知る医療者へ、多職種からなる日本フットケア学会が総力をあげて編むテキスト。入門者はもちろん、レベルアップを目指す読者のニーズに合わせ、基礎知識から高度な医療技術まで体系的かつ実践的に解説。最新の診療事情・エビデンスをガイドし、ケア受給者を全人的にとらえる視点を読者に授ける。フットケア指導士認定試験の指定テキスト。

# Pelvic Incidence にマッチした適切な腰椎前弯は椎体形状により決定される

Intrinsic Regulator of Physiological Lumbar Lordosis Is a Shape of the Vertebral Body

飯村拓哉 稲見 聡 森平 泰 竹内大作 上田明希  
司馬 洋 大江真人 浅野太志 野原 裕 種市 洋

Takuya Iimura, Satoshi Inami, Hiroshi Moridaira, Daisaku Takeuchi, Haruki Ueda, You Shiba, Makoto Ooe, Hutoshi Asano, Yutaka Nohara, Hiroshi Taneichi

## 要 旨

本研究ではPI-LL ミスマッチのない腰椎生理的矢状面アライメントは、椎体形状、椎間板形状のいずれか、または、双方から形成されるかを明らかにする。椎間板変性や椎体骨折のない若年者111例の全脊柱立位側面 X 線像を用い、腰椎椎体角、椎間板角ほか、各種矢状面、骨盤パラメータを検討した結果、PI にマッチした適切な腰椎前弯は椎体形状により決定されることが明らかになった。

## Abstract

**Introduction :** We hypothesized that physiological lumbar lordosis (LL) matched with pelvic incidence (PI) is inherently regulated by a shape of the vertebral body and the intervertebral disc. The aim of this study was to clarify intrinsic regulator of PI-LL matching.

**Methods :** Total of 111 young individuals who underwent whole spine standing lateral X-ray with clavicle position were enrolled. Exclusion criteria were : Lenke 3-6 type curve AIS : spondylolisthesis ; transitional vertebrae ; and disc degeneration. There were 20 male and 91 female patients with a mean age of 15 years (range : 10-25 years). Relationships between PI and vertebral body angle (BA : L1-5) and those between disc angle (DA : T12/L1-L5/S1) was analyzed by using a simple regression model. Post hoc power analysis confirmed the statistical significance when Power was 0.8 or more.

**Results :** A mean BA in each level was -1.5° in L1, 0.3° in L2, 2.2° in L3, 4.4° in L4, and 9.1° in L5. An average DA in each disc was 2.0° in T12/L1, 3.6° in L1/2, 6.1° in L2/3, 8.0° in L3/4, 9.4° in L4/5, and 8.9° in L5/S1. There were statistically significant relationship between PI and BAs : BAL1 ( $p=0.0095$ , Power 0.84), BAL2 ( $p<0.0001$ , Power 1.0), BAL3 ( $p<0.0001$ , Power 1.0), BAL4 ( $p<0.0001$ , Power 0.99), and BAL5 ( $p=0.0301$ , Power 0.71). Whereas, there were no statistically significant relationship between PI and DAs.

**Conclusion :** Intrinsic regulator of physiological lumbar lordosis matched with PI was a shape of the vertebral body.

**Key words :** 成人脊柱変形 (adult spinal deformity), 矢状面アライメント (sagittal alignment), 腰椎前弯 (lumbar lordosis)

獨協医科大学医学部医学科整形外科 [〒321-0293 栃木県下都賀郡壬生町北小林880] Department of Orthopaedic Surgery, Dokkyo Medical University

(受付日 : 2016年10月31日, 採用日 : 2017年3月23日)

## はじめに

生理的矢状面アライメントには pelvic incidence (PI) にマッチした腰椎前弯(LL)が必要とされ、この脊柱骨盤適合が人間工学的グローバルバランスを維持する基本となる<sup>1)2)</sup>。一方、LLの形状は sacral slope(SS)の影響を強く受けて決定されることも示されている<sup>3)</sup>。LLは各レベルの腰椎椎体角と椎間板角の総和である。腰椎椎体角、椎間板角に関する研究はあるものの<sup>4)</sup>、これらと矢状面、骨盤パラメータの関連を検討した研究はほとんどない<sup>5)</sup>。

本研究の目的は、PIにマッチした生理的LLがどのように形成されているか、すなわち、椎体形状、椎間板形状、あるいは、その双方により形成されるかを解明することである。

## 対象と方法

本研究は獨協医科大学病院生命倫理委員会の承認(承認番号:27089)のもと実施された。2006年4月から2015年3月に椎間板変性や椎体骨折のない若年者で clavicle position<sup>6)</sup>による全脊柱立位側面X線像が得られた111例を対象とした。胸腰椎・腰椎に主カーブを有する Lenke 3~6型思春

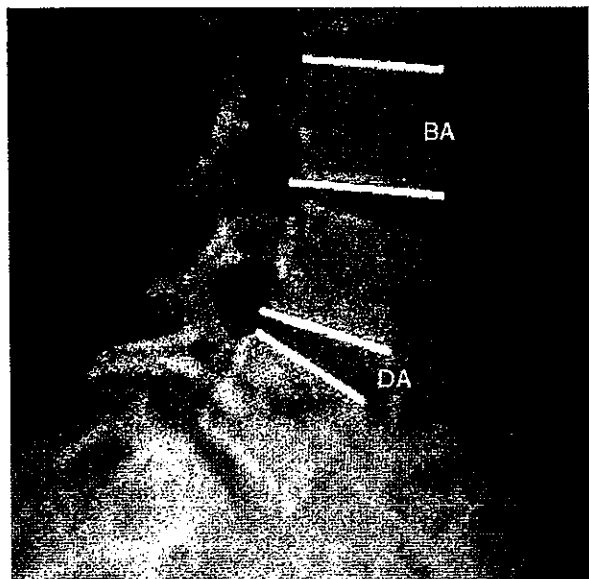


図1 椎体角(BA)と椎間板角(DA)の計測

期特発性側弯症、腰椎分離症、明らかな椎間板変性、移行椎例は除外した。男20例、女91例で平均年齢15歳(10~25歳)であった。脊柱変形パラメータとして胸椎および腰椎側弯 Cobb角、矢状面パラメータとして sagittal vertical axis(SVA)、胸椎後弯(TK)、LL、PI、pelvic tilt(PT)、SS、椎体角(BA: L1~5)、椎間板角(DA: T12/L1~L5/S1)(+:前方開角)を計測した(図1)。BA、DAのLLに占める割合(%)はBA/LL、DA/LLとした。BA、DA、BA/LL、DA/LLとPIの相関を解析した。統計検定は対応のあるt検定、単純回帰分析を行った。すべて事後の検出力分析を行い統計学的有意差はp値でなく Power(1-β)>0.08を有意とした。統計検定には JMP 10.0.2と G\*Power 3.1を用いた。

## 結果

各パラメータの平均値を示す(表1)。PI-LL ミスマッチはなかったが、TKは小さい傾向があった。BA、DA(図2a、b)、BA/LL、DA/LLの平均値を示す(図3a、b)。BAはL1がわずかな後方開角、それ以外は下位になるほど有意に前方開角が大きくなった。DAはすべて前方開角であった。T12/L1からL3/4までは有意に大きくなったがL3/4より下位は8~9°でほぼ一定だった。PIとLLは高い正の相関を示し、LL=0.39PI+35.7が示された(図4)。PIとBAの相関を示す(図5)。L1からL4で有意な相関を示し、PIが大きくなるにつれ椎体前方開角が有意に大きくなった。一方、DAは全てでPIと相関を示さなかった。PIとBA/LLはL1から3で正の相関を示した(図6)。

表1 脊柱変形パラメータ

胸椎側弯 Cobb角	34±24°
腰椎側弯(L1~S1)Cobb角	15±12°
SVA	-2±2 cm
TK	16±10°
LL	54±10°
PI	47±12°
PI-LL	-7.1°

PI-LL ミスマッチはなく、TKは小さい傾向があった。

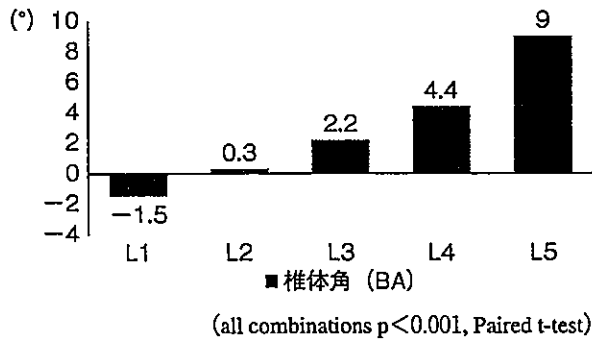


図2a  
BAは下位になるほど有意に前方開角が大きくなった。

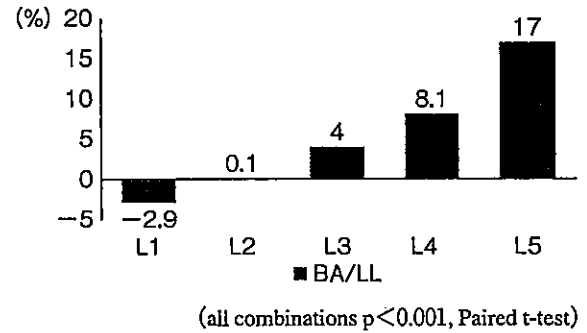


図3a  
BA/LLは下位になるほど有意に前方開角が大きくなった。

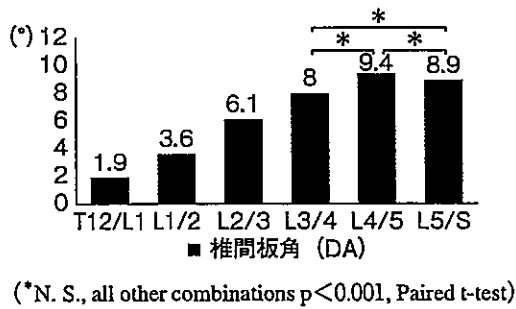


図2b  
DAはT12/L1からL3/4までは有意に大きくなったがL3/4より下位は一定であった。

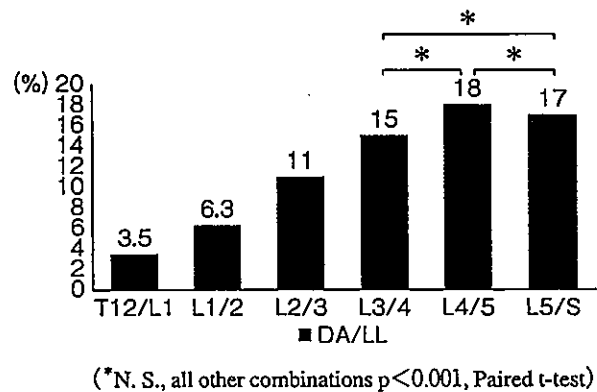
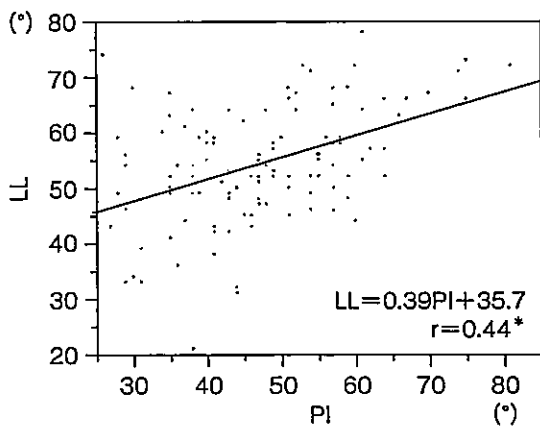


図3b  
DA/LLはT12/L1からL3/4までは有意に大きくなったがL3/4より下位は一定であった。



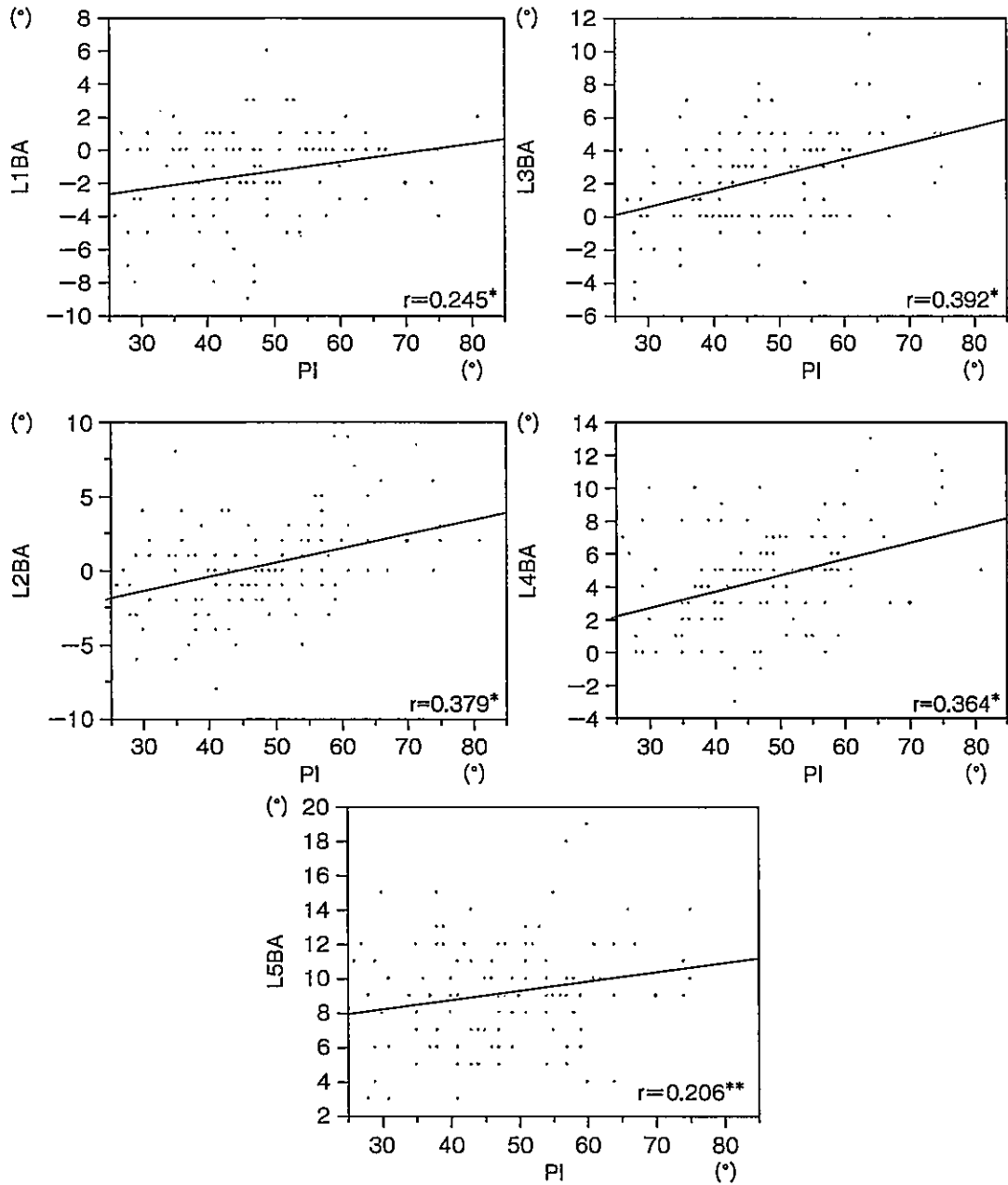
(\* $1 - \beta > 0.08$ )

図4 PIとLLの相関  
PIとLLは高い正の相関を示した。

PIが大きくなると上位腰椎の椎体前方開角がLLに占める割合が相対的に大きくなった。PIとDA/LLは有意な相関を示さなかった。

## 考察

Roussoulyらの述べるように正常な成人ではPIはLL, SS, PTと正の相関関係にある<sup>3)</sup>。Mac-Thiongらによると正常若年者ではPI:  $49.1 \pm 11.0^\circ$ , LL:  $48.0 \pm 11.7^\circ$ , SS:  $41.4 \pm 8.2^\circ$ , PT:  $7.7 \pm 8.0^\circ$ と各パラメータの平均値は成人と異なるも、PIと各パラメータの相関はLL ( $p < 10^{-15}$ ), SS ( $p < 10^{-15}$ ), PT ( $p < 10^{-15}$ )と成人同様に高いとした<sup>7)8)</sup>。PI-LL mismatchesのない本シリーズでもPIとLLは高い正の相関を示した。本シリーズで得られた若年者のPI-LLフォーミュラ ( $LL = 0.39PI + 35.7$ )は以前に示されたLegayeら ( $LL = 0.6PI + 35.4$ )<sup>9)</sup>や大和ら ( $LL = 0.45PI + 31.8$ )<sup>10)</sup>のものと近似している。このことから生理的脊柱骨盤適合例では、腰椎前弯をPIの一次方程式で表すとPIの係数は0.5前後であると推察される。ま



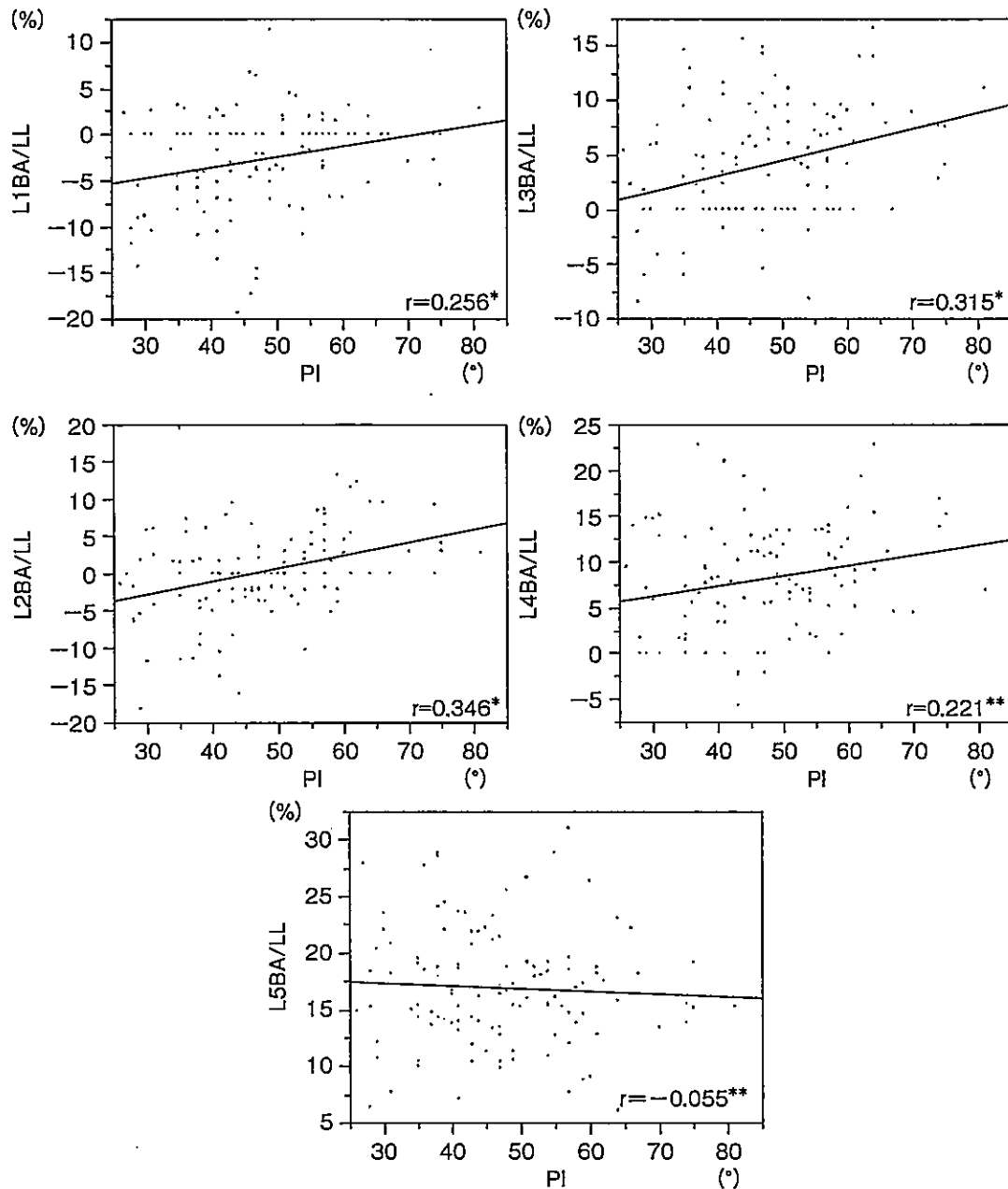
(\* $1-\beta > 0.08$ , \*\*N. S.)

図5 PIとBAの相関

PIとBAはL1からL4で有意な相関を示し、PIが大きくなるにつれ椎体前方開角が有意に大きくなった。

た、「手術成績の最低保障ライン」の指標を示した獨協フォーミュラ(LL=0.59PI+11.1)<sup>11)</sup>でも、PIの係数は同様であった。これらのデータは脊柱骨盤適合例のPIの係数を1としているSchwabらのフォーミュラ<sup>12)</sup>は生理的でない可能性を示唆している。BAとPIは高い相関を示したが、DAは

相関を示さなかった。このことから、PIに適合したLLは椎間板形状ではなく、主に椎体形状により決定されることが明らかとなった。さらに、BA/LLとPIの相関は上位腰椎(L1~L3)のみでみられたことは興味深い事実である。すなわち、PIが大きくなると、下位腰椎のみの前方開角では限



(\*1- $\beta > 0.08$ , \*\*N.S.)

図6 PIとBA/LLの相関

PIとBA/LLはL1からL3で正の相関を示した。PIが大きくなるにつれ上位腰椎の前方開角がLLに占める割合が有意に大きくなった。

界があるため、相対的に上位腰椎椎体の前方開角を大きくすることによりPIにマッチしたLL形成が行なわれているものと考えられる。この点に関してAnwarらはPIの大きな例は上位腰椎において椎体角と椎間板角の和であるmotion segment (MS)の割合が大きく、下位腰椎においてMSの

割合が小さかったという同様の報告がある<sup>5)</sup>。

本研究の臨床応用を考察する。de novo腰椎変性後側弯症の基本的病態は椎間板の非対称性変形であるが、椎体骨折や椎体変形を伴う例は少ない。本症の変形矯正術では、椎体骨折などによる矢状面椎体楔状変形がないか軽度の例に対する

矯正は基本的に椎間板で行う。すなわち側方腰椎椎体間固定術(LIF)などが適応となり<sup>13)</sup>、その際必要な前弯角は中下位腰椎では概ね10°、上位腰椎では5°程度となる。一方、椎体骨折などによる著しい椎体変形を伴う例では経椎弓根的椎体骨切り術(PSO)や脊柱骨切り(VCR)などの椎体骨切り(3カラム骨切り)術が適応される<sup>13)</sup>。

本研究は、PIにマッチした生理的腰椎前弯がどのように形成されるかを調査するため、変性およびPI-LL mismatchesのない平均15歳の若年者を対象とした。しかしながら、正常若年者のみが対象ではなく、胸椎カーブを有する思春期特発性側弯症が多く含まれるため、TKがやや小さいなど、完全に生理的な矢状面アライメントを再現していない可能性がある。

## まとめ

PIにマッチしたLLは椎体形状により決定されることが明らかとなった。

## 文献

- 1) Legaye J, Duval-Beaupère G, Hecquet J et al : Pelvic incidence : a fundamental pelvic parameter for three-dimensional regulation of spinal sagittal curves. *Eur Spine J.* 1998 ; 7 : 99-103
- 2) Boulay C, Tardieu C, Hacquet J et al : Sagittal alignment of spine and pelvis regulated by pelvic incidence : standard values and prediction of lordosis. *Eur Spine J.* 2006 ; 15 : 415-422
- 3) Roussouly P, Gollogly S, Berthonnaud E et al : Classification of the Normal Variation in the Sagittal Alignment of the Human Lumbar Spine and Pelvis in the Standing Position. *Spine.* 2005 ; 30 : 346-353
- 4) Bernhardt M, Bridwell KH : Segment analysis of sagittal plane alignment of normal thoracic and lumbar spines and thoracolumbar junction. *Spine.* 1989 ; 7 : 717-712
- 5) Anwar HA, Butler JS, Yarashi T et al : Segmental Pelvic Correlation (SPeC) : a novel approach to understanding sagittal plane spinal alignment. *Spine J.* 2015 ; 15 : 2518-2523
- 6) Horton WC, Brown CW, Bridwell KH et al : Is There an Optimal Patient Stance for Obtaining a Lateral 36° Radiograph? A Critical Comparison of Three Techniques. *Spine.* 2005 ; 30 : 427-433
- 7) Mac-Thiong J, Berthonnaud E, R. Dimar II J et al : Sagittal Alignment of the Spine and Pelvis During Growth. *Spine.* 2004 ; 29 : 1642-1647
- 8) Mac-Thiong J, Labelle H, Berthonnaud E et al : Sagittal spinopelvic balance in normal children and adolescents. *Eur Spine J.* 2007 ; 16 : 227-234
- 9) Legaye J, Duval-Beaupère G : Sagittal plane alignment of the spine and gravity : A radiological and clinical evaluation. *Acta Orthop. Belg.* 2005 ; 71 : 213-220
- 10) Yamato Y, Hasegawa T, Kobayashi S et al : Calculation of the Target Lumbar Lordosis Angle for Restoring an Optimal Pelvic Tilt in Elderly Patients With Adult Spinal Deformity. *Spine.* 2016 ; 41 : 211-217
- 11) Inami S, Moridaira H, Takeuchi D et al : Optimum pelvic incidence minus lumbar lordosis value can be determined by individual pelvic incidence. *Eur Spine J.* 2016 E-pub, ahead of print
- 12) Schwab FJ, Blondel B, Bess S et al : Radiographical Spinopelvic Parameters and Disability in the Setting of Adult Spinal Deformity : A Prospective Multicenter Analysis. *Spine.* 2013 ; 38 : E803-E812
- 13) Taneichi H : Update on pathology and surgical treatment for adult spinal deformity. *J Orthop Sci.* 2016 ; 21 : 116-123



## LLIF の手術手技\*

### XLIF

森平 泰\*\* 種市 洋

#### はじめに

椎間板の変性や破綻を主因とした腰椎疾患に対して、側方経路腰椎椎体間固定 (lateral lumbar interbody fusion : LLIF) を応用した報告が増加している。LLIF は 2001 年に Pimenta が内視鏡を用いた神経モニタリングなしの手技で初めて報告し、その後レトラクターの改良と神経モニタリングシステムの開発を経て、より安全で系統的な手技 extreme lateral interbody fusion (XLIF) となって普及した。2006 年の XLIF の初めての報告後<sup>4)</sup>、従来の前方椎体間固定 (anterior lumbar interbody fusion : ALIF) や後方からの posterior lumbar interbody fusion (PLIF)/transforaminal lumbar interbody fusion (TLIF) に代わる低侵襲手術として、良好な成績が数多く報告されている<sup>1,6,10)</sup>。

XLIF は、ALIF の手技を小皮切かつ直視下に行えるように発展させたもので、後腹膜臓器や大血管を大きく展開することなく脊椎に到達することで、前方手術の侵襲と合併症リスクを軽減でき

るとされている<sup>2,4)</sup>。また、後方からの椎体間固定術と異なり、椎弓や椎間関節などの脊椎後方要素を温存しながら、硬膜や神経根をよけることなく、面積の大きなケージを椎体間に設置することができる<sup>5,6)</sup>。

XLIF の利点は、そのまま ALIF の利点ともいえるが、椎間板側面から広範囲な椎間解離が可能で、ケージを椎体外縁の ring apophysis を支持する形で設置することで、椎間を介して強力に変形を矯正できること、前・後縦靭帯を温存しながら椎間高を獲得することで ligamentotaxis によるすべりと回旋の矯正ができること、脊柱管や椎間孔の間接的神経除圧が可能であること、出血が少ないこと、骨癒合率がよいことが挙げられる<sup>1,2)</sup>。

これらの利点を反映して、LLIF は 2013 年にわが国へ導入された後、3 年間で 6,000 例を超える症例に行われたが、一方で 2016 年 1 月に XLIF において腸管損傷からの死亡事故が報告された。XLIF は部品の自主回収を行い一時中断されたが、その後承認条件の下に再開されている。本稿では、XLIF という革新的新規術式を安全かつ有用に行うために、再度、手術手技についての重要点を確認していきたい。

#### Key words

XLIF (extreme lateral interbody fusion)  
手術手技 (surgical technique)  
成人脊柱変形 (adult spinal deformity)

\* Surgical Technique of XLIF for Lumbar Disease

\*\* 獨協医科大学整形形外科学 [〒321-0293 下都賀郡壬生町北小林 880] / Hiroshi MORIDAIRA, Hiroshi TANEICHI : Department of Orthopaedic Surgery, Dokkyo Medical University

表 1 XLIF の適応疾患

- ・腰椎変性すべり症・腰椎分離すべり症 (Grade II 以下)
- ・腰椎変性後側弯症を中心とした成人脊柱変形
- ・椎間板性腰痛
- ・固定隣接椎間障害
- ・PLF/PLIF/TLIF 後の偽関節や再手術症例
- ・後方除圧術後の再狭窄や椎間不安定症例
- ・化膿性椎間板炎
- ・透析脊椎症
- ・関節リウマチ
- ・その他

## XLIF の適応

XLIF の適応は、椎間板の変性や破綻を主因としたすべての腰椎疾患である。感染症症例であれば、XLIF ケージの代わりに自家腸骨片の挿入に改変するなど、従来の ALIF の多くの手技に応用できる。後方手術の再手術においては、癒着した神経組織を展開する必要がない本手術は特に有用である<sup>10)</sup>。表 1 に適応疾患を示す。

適応の限界は、L5/S1 椎間 (仙骨の腰椎化した L5/6 椎間はときに可能)、アプローチを阻害する血管走行異常症例や、high iliac crest 症例、後腹膜腔の癒着 (腎臓手術後など)、高度のすべり症である。すべりが大きくなると、上下の椎体の重なりがケージ前後幅 18 mm に不足してくる<sup>9)</sup>。High iliac crest 症例に対する L4/5 椎間施行においては、レトラクターを椎間板に対して垂直に設置することを基本とする XLIF より、腸骨稜を避けて前側方にレトラクターを設置する oblique lateral interbody fusion (OLIF) に分がある。同様に、すべり症や後弯症の L4/5 椎間にてしばしば遭遇する、いわゆる rising psoas sign 症例においても、大腰筋を前方からよける OLIF に分があり、大腰筋を割いて進入する XLIF では大腰筋とともに腰神経叢が前方に位置するためレトラクターの設置が困難な症例がある。

一方、XLIF は左右を問わないが、OLIF は前側方から進入するため、大静脈を避けた左進入を基本とする。椎間の傾斜や椎体の回旋のために、左からの LLIF 施行が困難な変性側弯症症例におい

て、XLIF の右進入を選択できる利点は大きい。XLIF の最も得意とする疾患は、低侵襲に椎間を介して強力な矯正が可能な成人脊柱変形であり<sup>2,5,8,9)</sup>、本稿では XLIF に加えて、後方から open の Ponte 骨切り (全椎間関節切除: Schwab Grade 2 骨切り<sup>7)</sup>) を加えた hybrid 法の手術成績についても言及したい<sup>3)</sup>。

## XLIF の手術手技

### ① 患者の体位と透視の確認

左右どちらからも進入できるが、術前の全脊柱 X 線でターゲットとする椎間の傾きや進入の妨げとなり得る肋骨および腸骨の位置を、MRI, CT で大血管と腰神経叢の位置を確認し、総合的に進入側を決定する。

X 線透視可能なベッド上に患者を正確な側臥位にしてテープで固定する。腸腰筋を弛緩させるため、股関節および膝関節は 30 度程度の屈曲位で固定する。腸骨稜と大腿骨大転子の間で通常 20~30 度程度ジャックナイフ位とすることで、腰椎椎間への進入が容易となる。ただし、過度のジャックナイフ位は大腰筋や腰神経叢を緊張させ術中操作による侵襲を高めるため、注意を要する。肋骨や腸骨がレトラクター設置の妨げとなる場合は、必要十分な量の骨切除をためらわずに行い、移植骨とすればよい。

XLIF 手技中の正確な X 線透視は、合併症回避の要である。垂直透視で進入椎間の正 lateral 像が得られてはじめて、術者は安全で的確な位置にレトラクターを設置できる。同様に、水平透視で進入椎間の正 AP 像が得られることではじめて、術者は安心して反対側の線維輪や骨棘を切りにいける。変形症例では、各椎間で回旋の程度が異なり、また、矯正が加わることによって回旋の度合いも変化するため、別椎間に移る際、その都度、手術台を操作して正確な X 線透視を確認する必要がある。

### ② 後腹膜アプローチ

術者は患者の背側に立つ。原法の 2 皮切アプ

ローチでは、まず後外側の副皮切から後腹膜腔に入り、そこから入れた術者の指を頼りに、椎間板の直上にレトラクター設置用の主皮切をあけて、ダイレーション後にレトラクターを設置する。しかし、このアプローチは、主皮切からレトラクター設置までのダイレーション操作が術者の指を頼りとしたブラインド操作であり、剝離が不十分であると臓器損傷が生じる可能性がある。ダイレーション操作は主皮切を少し広げて、直視下に後腹膜腔の十分な剝離と大腰筋の位置を確認しながら行うことを勧めたい。

1皮切アプローチは、椎間高位で椎体側面を前後3等分し、後縁から1/3の部位を中心に切開を加える。皮膚切開後は、電気メスを使用せずに鈍的に皮下を展開し、外・内腹斜筋、腹横筋を同定して筋層ごとに展開し、腹横筋膜を鈍的に割くと後腹膜腔に達する。1皮切アプローチで直視下に後腹膜腔に到達していると、後外側の副皮切をあけるメリットはなく、最近ではもっぱら1皮切アプローチを行っている。

後腹膜腔に到達したら、後腹膜脂肪内で示指を滑らせて、横突起の前面、第12肋骨、腸骨の内壁を触り腹膜の剝離を確認する。綿球を用いて後腹膜脂肪を腹膜および腹腔臓器とともに前方へ落とし込み、大腰筋の側面を展開する。

### ③ 経大腰筋間進入と MaXcess レトラクターの設置

XLIFでは必ず、腰神経叢を背側によけながらダイレーターを用いて MaXcess レトラクターを設置し、レトラクターの開大で腹側の大腰筋を前方に押し分けて椎間板を展開する。X線透視下に椎間高位を確認し、1st ダイレーターでどの位置で大腰筋を分けるかを、神経モニタリングを用いて決定する。ダイレーター先端からの電気刺激にて、モニターの数値と色で、容易にダイレーターからの腰神経叢の方向と近さが認識できる。レトラクター設置位置は後縁から1/3の部位を狙うが、神経叢が腹側では感知されず、背側に感知される位置まで前方にずらしていく必要がある。神経叢を背側によけた位置で、ガイドワイヤーを

1st ダイレーター内に通して椎間板内に刺入して位置を固定し、続いて電気刺激で確認しながら2nd, 3rd ダイレーターを用いた後レトラクターを設置する。

レトラクター設置後にX線透視 lateral 像で椎間板における前後の位置を確認した後に、AP像で椎間板への設置角度が平行かを確認する。レトラクターが腹側に設置された場合は、レトラクターを背側の腰神経叢を包んだ大腰筋ごと背側に少しばかりスライドさせることができる。この場合は、背側の横突起との間で腰神経叢が挟まれることに十分留意して、手際のよい操作が求められる。光源を設置したらレトラクター内を直視下に覗き込み、軟部組織をブレードの背面によけ、必要に応じてバイポーラで血管を凝固する。電気刺激用ボールプローブで神経の位置を確認した後に椎間板 shim でレトラクターを最終固定し、その後レトラクターを腹側に優しくゆっくりと開大して、椎間板側面を必要十分の範囲で展開する。最後に、前方レトラクターを椎間板側面から前縦靭帯に向かって沿わせて設置して、腹側の大血管や尿管をよける(図1)。

### ④ 椎間板搔爬

ケージと同じ前後径であるボックスカッターにて椎間板線維輪の切除範囲をマーキングした後、メスで線維輪を切開し鉗子で除去する。最初にコブエレベーターを用いて頭尾側の軟骨終板を骨性終板から剝離しておくことが、確実な椎間板内搔爬に効果的である。またこのとき、X線透視 AP 像で確認しながら反対側の線維輪まで解離しておくことは、椎間を平行に開大するために必要である。小さめのトライアルから徐々に椎間を上げていくと、直視下に椎間板内の残存する髄核や軟骨終板が確認しやすい。過度の椎間開大で前縦靭帯が断裂するとケージが不安定となるので注意を要する。ラスプやリングキュレットは、残存組織の除去に有効だが、骨性終板を損傷しないように丁寧を用いる。

### ⑤ ケージ挿入

トライアルを徐々に大きくし、至適な緊張のサ

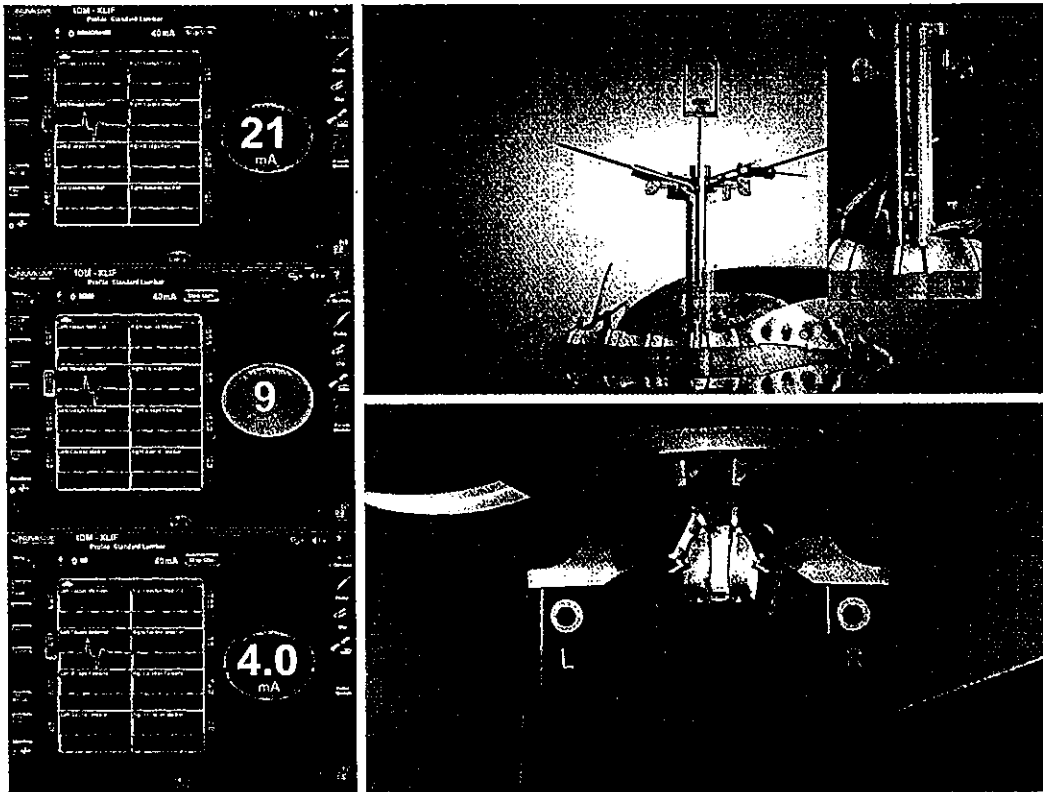


図 1 神経モニタリングと MaXcess レトラクターの設置

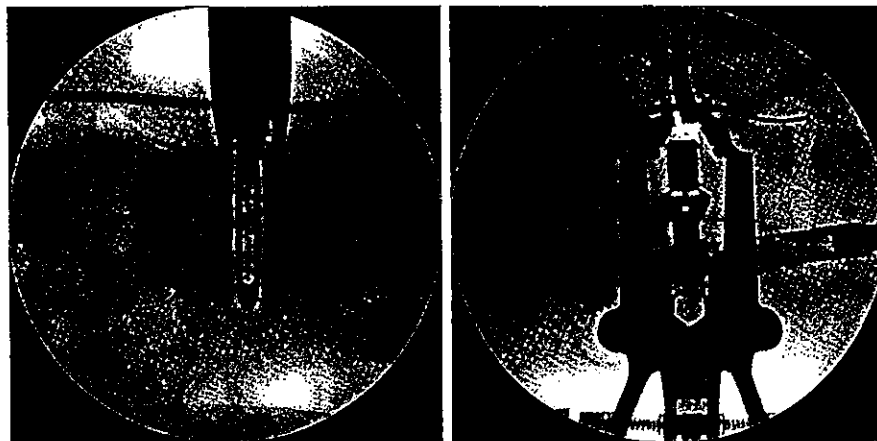


図 2 X線透視によるケージ位置の確認

イズでケージの高さを最終決定する。トライアルの時点で、X線透視 AP 像だけでなく、一度だけトライアル支持器をはずして lateral 像で前後の位置を確認しておくことを勧めたい(図 2)。狙った位置になれば、この時点であればケージの位置と高さの修正が可能である。最終決定したケージ内に移植骨を充填し、スライダを用いてケージを挿入する。

### 成人脊柱変形への応用 (図 3, 4)

われわれは、成人脊柱変形の矯正に応用する LLIF として、基本的には XLIF を用いている。斜めに進入する OLIF は、椎間板進入口付近から深部は直視下に確認できず、透視下にシェーバーを用いて椎間板搔爬を行うが、椎間板の真横から進入する XLIF は、レトラクター越しに直視下に

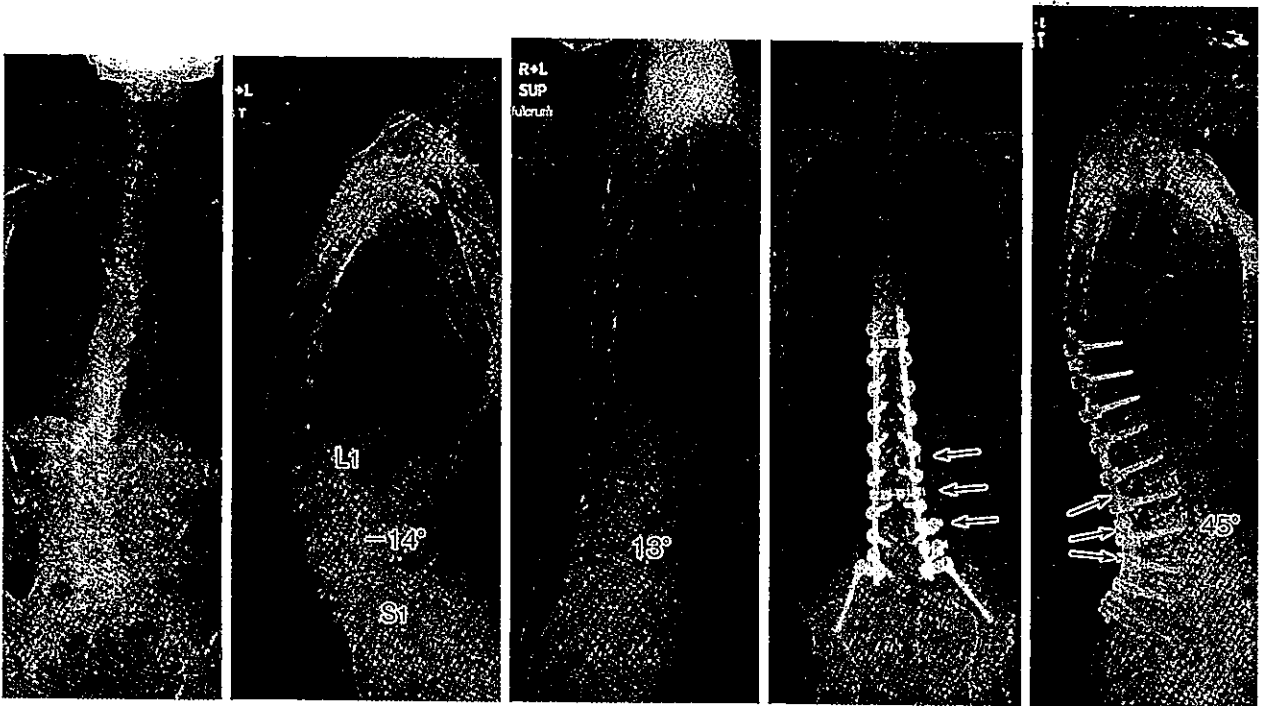


図3 68歳, 女性

右側からのL2/3/4/5のXLIFを施行した後に, 後方からL2/3/4/5のPonte骨切りを併用した後方矯正固定術(T10-腸骨)を施行. 出血量は1,076 mlであった.

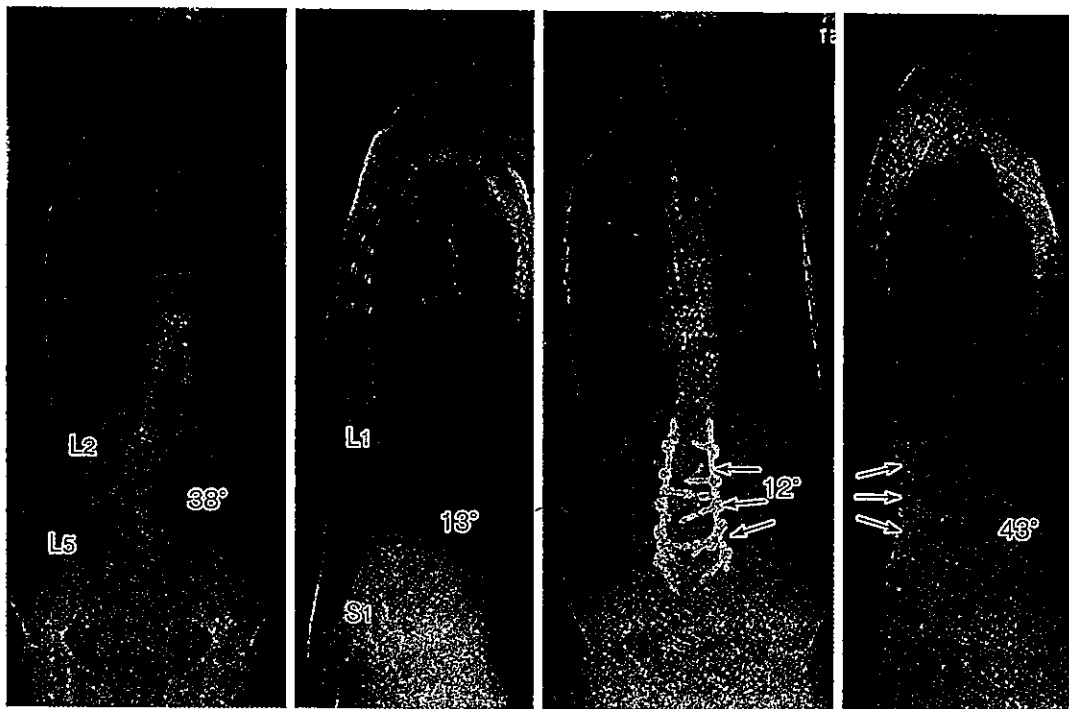


図4 63歳, 女性

右側からのL2/3/4/5のXLIFを施行した後に, 後方からL2/3/4/5のPonte骨切りを併用した後方矯正固定術(L1-S1)を施行. 出血量は720 mlであった.

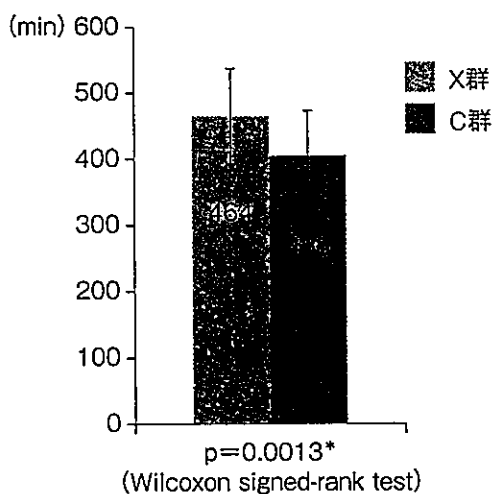


図 5 総手術時間

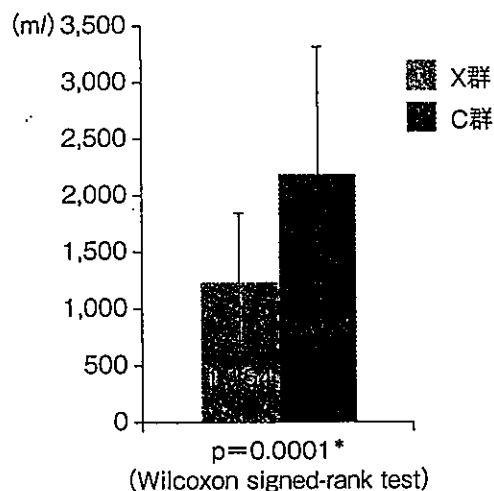


図 6 出血量

椎間板内を反対側まで確認しながら搔爬が行える。このことは、骨粗鬆症を合併することの多い高齢者において、骨性終板損傷の発生を防ぎつつ、広範な搔爬と前方解離ができる XLIF の利点である。変性すべり症など通常の変性疾患と、変形矯正への応用で大きく異なるのは、側弯と椎体回旋の存在である。高度変形症例では、進入椎間の回旋変形を補正するために、大きく傾いた手術台に患者をテープで括りつけながらの操作となる。時間経過とともに体位の維持が難しくなるため、手際のよい手術操作が求められる。

XLIF に続いて施行する後方手術では、われわれは基本的に open で施行している。確実な後方骨移植と、後方からの解離が可能である。後方要素の必要十分な解離を行うことは、骨脆弱性のある脊椎に挿入されたインプラントに無理な力が加わるのを防ぐ。解離が不十分な状態でインプラント任せの矯正を行えば、スクリューのゆるみや骨折を生じ、不十分な矯正で手術を終えることとなる。

腰椎前弯を獲得するために、4点フレーム上で、股関節を十分に伸展させた体位をとる。変形脊柱の可動性の増大と同時に移植骨を得るために、固定範囲の棘突起と棘上棘間靭帯を切除し、下関節突起の切除をルーチンに行う。Pelvic incidence (PI) にマッチした腰椎前弯作成のために、術前の柔軟性評価にて、体位で得られる腰椎前弯に加え

て、どれだけの前弯角度を獲得すべきなのか計算しておく。先行した XLIF によって前方開大した椎間に、Ponte 骨切りを加えて後方短縮させることで、効果的に前弯を獲得できる。XLIF が施行できない L5/S や、ときに L4/5 に、腰仙椎部の側弯の矯正と全周性固定を目的に、必要に応じて PLIF・TLIF を施行する。後方インプラントの設置の際には、至適な前弯をつけたロッドに、通常尾側アンカーから cantilever technique にて連結していき、ロッドの rotation と *in situ* bending にて冠状面のグローバルバランスを修正した後に、さらにスクリュー間に圧縮力をかけて前弯形成を加える。椎間孔狭窄による神経根症状が出現する危険があるため、XLIF による椎間板高の増大だけでなく、上関節突起を切除しておくことで、心置きなく腰椎前弯を形成することができる。また、適応外である L5/S に加えて、L4/5 においても XLIF 施行が困難な症例が少なからず存在するが、そうした症例では、上中位腰椎で XLIF によって強力に側弯矯正されることで、残った腰仙椎部側弯によるバランス悪化 (oblique take-off) が生じることがある。XLIF による側弯矯正の偏りが最後まで残らないように、後方手術の際に十分注意を払う必要がある。

表 2 周術期合併症

	X群	C群
Major		
手術部位感染 (深部)	1	1
血管損傷 (塞栓術)	0	1
脳梗塞	1	0
その他 (深部静脈血栓症など)	2	3
Minor		
手術部位感染 (表層)	1	1
ケージの脱転	1	—
術中大量出血 (>3,000 ml)	0	8
一過性の知覚障害	12	—

## 成人脊柱変形に対する XLIF と open の後方矯正術による hybrid 法 (従来法との比較)

### ① 対象および方法

XLIF と後方 open 手術による hybrid 法を施行した矢状面グローバルアライメント異常のある成人脊柱変形 40 例 (X 群) を対象とした。年齢は平均 67.3 歳 (49~82 歳) で、性別は男性:9 例, 女性:31 例であった。SRS-Schwab 分類では, L (TL/Lumbar only): 17 例, D (Double curve): 4 例, N (No major coronal deformity): 19 例であった。一方, 従来法を施行した成人脊柱変形の中から, 年齢 ( $\pm 5$  歳), 性別, SRS-Schwab 分類で 1:1 にマッチングさせた 40 例を C 群として, X 群と周術期の安全性と矯正効果について比較した。検討項目は, 手術侵襲, 周術期合併症と, 術前・術後 4 週時の変形矯正のパラメータである。

### ② 結果

X 群では XLIF を平均 2.2 椎間に施行し, 固定椎間数は平均 6.7 椎間であった。C 群では 13 例で 3 カラムの骨切りを施行し, 19 例で後方から多椎間の PLIF を行い, 固定椎間数は平均 7.6 椎間であった。総手術時間は, X 群が平均 464 分 (334~608 分), C 群が平均 405 分 (285~540 分) で, X 群にて有意に長かった ( $p < 0.01$ ) (図 3)。出血量は, X 群が平均 1,154 ml (335~2,529 ml), C 群が平均 2,051 ml (623~5,230 ml) で, X 群にて有意に少なかった ( $p < 0.01$ ) (図 4)。X 群の変

形矯正 (術前/術後-平均) は, 腰椎側弯 Cobb 角 (Schwab 分類 L および D): 49.0/17.3 度, 腰椎前弯角 (lumbar lordosis: LL): 4.8/39.8 度, PI-LL: 47.1/12.1 度, 骨盤後傾 (pelvic tilt: PT): 36.0/23.3 度, 冠状面バランス (C7 plumb line: C7 PL): 3.0/1.7 cm, sagittal vertical axis (SVA): 12.9/3.6 cm で, C 群の腰椎側弯 Cobb 角: 49.6/17.0 度, LL: 1.9/40.4 度, PI-LL: 49.2/9.0 度, PT: 35.5/22.6 度, C7 PL: 4.2/1.9 cm, SVA: 11.9/3.1 cm と比較して, いずれも有意差を認めなかった。

周術期合併症は, 両群に手術部位感染を深部 1 例ずつ, 表層 1 例ずつ認めたほか, C 群に塞栓術を要した血管損傷を認め, C 群の 8 例で出血量 3,000 ml 以上を認めた。X 群で XLIF ケージの脱転を 1 例認め術中にケージを抜去したが, 腹部臓器損傷, 大血管損傷はなかった。XLIF 進入側の一過性の知覚障害が 12 例にみられたが, 保存治療で軽快した (表 2)。

## まとめ

XLIF は椎間板側面から強力な椎間板解離が可能で, 面積の大きなケージを設置することで, 側弯変形を矯正しながら椎間板高を開大する。われわれの XLIF を併用した hybrid 法と従来法との症例対照研究から, XLIF の応用により, 従来法と同等の矢状面の変形矯正が, 出血量の大幅な軽減の下に可能であった。側方経路進入による術後の下肢症状を 3 割の症例に認めたが一過性であり, 重篤な術中合併症はなかった。XLIF は, 直視下に後腹膜腔の十分な剝離と大腰筋の位置を確認しながら行えば安全な手技であり, 合併症の生じやすい高齢者に対する変形矯正術の低侵襲化が期待できる。

### 文 献 (太字番号は重要文献)

- 1) Acosta FL, Liu J, Slimack N, et al: Changes in coronal and sagittal plane alignment following minimally invasive direct lateral interbody fusion for the

- treatment of degenerative lumbar disease in adults : a radiographic study. *J Neurosurg Spine* 15 : 92-96, 2011
- 2) Isaacs RE, Hyde J, Goodrich JA, et al : A prospective, nonrandomized, multicenter evaluation of extreme lateral interbody fusion for the treatment of adult degenerative scoliosis : perioperative outcomes and complications. *Spine (Phila Pa 1976)* 35 (Suppl 26) : S322-330, 2010
  - 3) 森平 泰 : 成人脊柱変形 従来法と LIF の比較 (short fusion を含む). *整形外科最小侵襲手術ジャーナル* (82) : 51-60, 2017
  - 4) Ozgur BM, Aryan HE, Pimenta L, et al : Extreme Lateral Interbody Fusion (XLIF) : a novel surgical technique for anterior lumbar interbody fusion. *Spine J* 6 : 435-443, 2006
  - 5) Phillips FM, Isaacs RE, Rodgers WB, et al : Adult degenerative scoliosis treated with XLIF : clinical and radiographical results of a prospective multicenter study with 24-month follow-up. *Spine (Phila Pa 1976)* 38 : 1853-1861, 2013
  - 6) Rodgers WB, Lehmen JA, Gerber EJ, et al : Grade 2 spondylolisthesis at L4-5 treated by XLIF : safety and midterm results in the "worst case scenario". *ScientificWorldJournal* 2012 : 356712, 2012
  - 7) Schwab F, Blondel B, Chay E, et al : The comprehensive anatomical spinal osteotomy classification. *Neurosurgery* 76 (Suppl 1) : S33-41, 2015
  - 8) Taneichi H : Update on pathology and surgical treatment for adult spinal deformity. *J Orthop Sci* 21 : 116-123, 2016
  - 9) 種市 洋, 稲見 聡, 森平 泰, 他 : 脊椎矢状面バランスの破綻とその対策—矢状面バランス異常を伴う重度腰椎変性側弯症 ( $\geq 40^\circ$ ) の特徴とその中期手術成績. *日整会誌* 89 : 475-480, 2015
  - 10) Wang MY, Vasudevan R, Mindea SA : Minimally invasive lateral interbody fusion for the treatment of rostral adjacent-segment lumbar degenerative stenosis without supplemental pedicle screw fixation. *J Neurosurg Spine* 21 : 861-866, 2014

## 次 | 号 | 予 | 告

脊椎脊髄ジャーナル Vol. 30 No. 11

### 脊椎手術体位の工夫—周術期合併症を避けるため

特集にあたって	東京慈恵会医科大学脳神経外科	谷	論
脊椎手術による合併症の現状			
医師の立場から	藤枝平成記念病院脊髄脊椎疾患治療センター	南	学, 他
看護師の立場から	新百合ヶ丘総合病院脳神経外科	水野	順一, 他
脊椎手術における体位による身体への影響の検討	東京慈恵会医科大学脳神経外科	川村	大地, 他
脊椎手術における周術期合併症予防の工夫			
頭蓋頸椎移行部手術の工夫	愛知医科大学脳神経外科	高安	正和
中下位頸椎前方手術での体位の工夫	札幌麻生脳神経外科病院	飛驒	一利
中下位頸椎後方手術での体位の工夫	ツカザキ病院脳神経外科	下川	宣幸
胸椎 (側弯症) 手術での工夫	浜松医科大学整形外科	大和	雄, 他
側臥位手術での工夫	国立病院機構北海道医療センター	伊東	学
腰椎後方手術での体位の工夫	三楽病院三楽脊椎脊髄センター	佐野	茂夫
髄外腫瘍手術での体位の工夫	大阪市立大学脳神経外科	高見	俊宏

### Nomade

.....	東北大学大学院医学系研究科多発性硬化症治療学寄附講座	三須	建郎
イラストレイテッド・サージェリー			
経皮的内視鏡下腰椎椎間孔拡大術 (PELF)	市立御前崎病院脳神経外科	北浜	義博

編集上の都合により内容が若干異なる場合がありますので、ご了承ください。



II. 脊柱アライメント異常

# 日本人に至適な脊柱骨盤アライメント： 獨協フォーミュラ

稲見 聡<sup>1</sup>, 種市 洋<sup>1</sup>

<sup>1</sup>：獨協医科大学整形外科

## Summary

成人脊柱変形手術後2年以上経過し、生活の質(quality of life; QOL)が良好な症例を対象にして、腰椎前弯角(lumbar lordosis; LL)と骨盤形態角(pelvic incidence; PI)の関係を調査した結果、 $LL = 0.59PI + 11.12$ の式が得られた。本稿では、式におけるPIの係数とY切片の意味について考察し、解説する。

## はじめに

高齢者人口の増加に伴い、いわゆる成人脊柱変形(adult spinal deformity; ASD)の患者はまれではなく、病態が複雑なため適切な理解が必要である。この疾患の特徴は、腰椎や胸腰椎部で脊柱アライメントに異常が生じ、体幹の立位バランスが崩れ、生活動作が強く障害されることである。特に矢状面アライメント異常は、腰痛や身体機能の障害によりQOLを著しく低下させることが知られている<sup>1)~4)</sup>。そして、矢状面での脊柱骨盤グローバルアライメントにおいては、PIの重要性が過去の研究で指摘されている<sup>5)~7)</sup>。

近年のASD患者に対する矯正手術の普及に伴い、PIにマッチしたLLが矯正の指標として示され、理想的なLLを求める計算式が複数報告されている。そのなかでも、Scoliosis Research Society (SRS)-Schwab分類が示した、 $PI-LL < 10^\circ$ は、LLの評価として現在広く用いられている<sup>8)</sup>。

一方、PIの値は健常者においても大きな幅があり<sup>9)~12)</sup>、日常の臨床でも $30\sim 80^\circ$ 程度の症例を経験する。骨盤の形態が異なれば、立位や歩行にかかわる脊柱骨盤の力学的特性も異なることが予想され

る。過去の研究でもPIが大きい場合には、骨盤後傾による代償作用が有効に作用することが報告されている<sup>13)</sup>。また、実際の臨床においては、 $PI-LL > 10^\circ$ でも手術成績がよい例は珍しくない。

上記の背景から、筆者らは「理想的なPI-LLの値は一定ではなくPIの大きさを反映し変化する」との仮説を立て、ASD術後患者を対象にして解析を行った<sup>14)</sup>。本稿では、解析の結果得られたPIとLLの関係を示すフォーミュラについて解説する。

## 成績良好例における、PIとPI-LLの関係

ASD手術後、2年以上経過した48例(年齢 $60.7 \pm 9.7$ 歳)を対象とした。最終観察時の脊柱変形パラメータは、胸椎後弯角： $30.0 \pm 13.9^\circ$ 、胸腰椎後弯角： $9.2 \pm 7.5^\circ$ 、LL： $38.6 \pm 11.0^\circ$ 、骨盤傾斜角： $24.9 \pm 9.8^\circ$ 、PI： $49.7 \pm 11.4^\circ$ 、PI-LL： $11.0 \pm 12.6^\circ$ 、sagittal vertical axis： $36.6 \pm 44.6$ mm、側弯Cobb角： $13.3 \pm 10.2^\circ$ であった。最終観察時のOswestry Disability Index(ODI)は $14.4 \pm 9.9$ (0~35.6)%であった。

次に、本研究の目的は理想的なPI-LLの値を求めることなので、術後患者のなかから成績良好例のみを抽出し、解析対象とした。最終観察時ODIの

75パーセンタイル(ODI= 22%)以下をQOL良好と定義した。QOL良好群(n= 36)においてPIとPI-LLの関係を回帰分析で解析すると、 $PI-LL = 0.41PI - 11.12$  ( $r=0.45, p=0.0059$ )の式が導かれた(図1)。

予測式から理想的なPI-LLは一定の値ではなく、個人のPIの大きさにより変化する値であることがわかる。実際の数値を予測式に当てはめると、ほぼ平均的な値であるPI= 50°の場合に理想的なPI-LLは9°となり、Schwab分類に一致する<sup>9)</sup>。一方、PIが30°と小さい値ではPI-LLは1°と計算され、また、PIが80°と大きな場合にはPI-LLは22°となる。つまり、PIが小さい場合はPI-LLは0°に近く、PIが大きな場合は10°より大きなPI-LLが許容されることが、この式で示されている。

PI-LLの値がPIによって変化する事が明らかになったが、さらにその理由を考察する。Duval-

Beaupèreら<sup>9)</sup>は、PIが小さいと股関節伸筋が作動するためのレバーアームが短くなるために、economical standing postureに不利になることを指摘している。またRoussoulyら<sup>10)</sup>は骨盤後傾の許容量はPIにより規定され、PIが小さいと骨盤後傾による代償作用の許容量が小さいと述べている。これらのことから、PIが小さい場合はPIに厳密にマッチしたLLが必要であり、PI-LLは小さな値になると考える。

一方、PIが大きい場合は、股関節伸筋は長いレバーアームをもち、さらに仙骨と大腿骨頭中心間の距離も大きくなる<sup>9),15)</sup>。Legayeら<sup>9)</sup>は、骨頭中心と仙骨終板中点の距離をsagittal pelvic thickness (SPT)と定義し、この値がPIと相関があることを報告している(図2)。つまりPIが大きいと仙骨と骨頭中心の距離が大きく、C7 plumb lineが骨頭後方に保持されるので、大きなPI-LLが許容されると考える。

図1 術後成績良好例におけるPIとPI-LLの関係

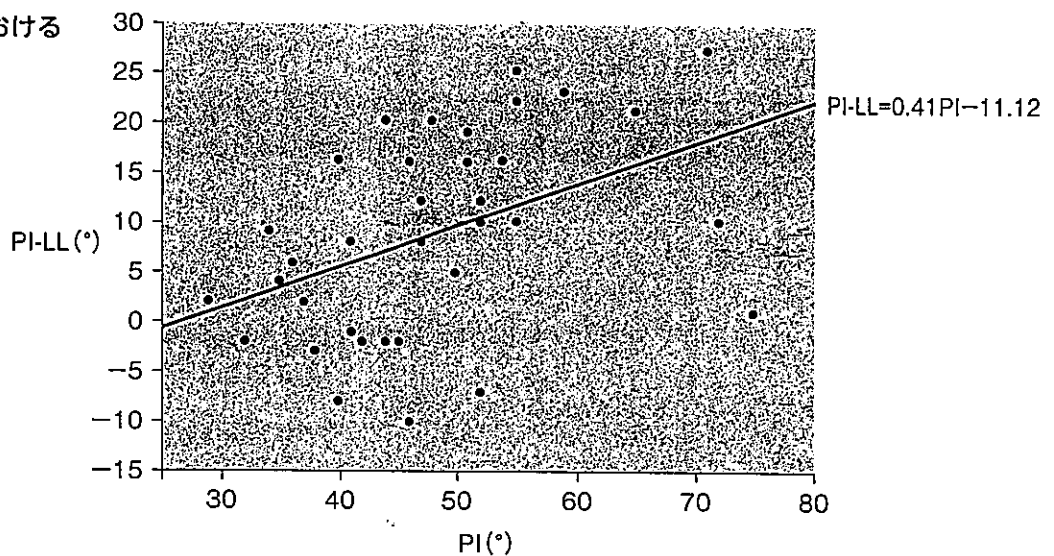
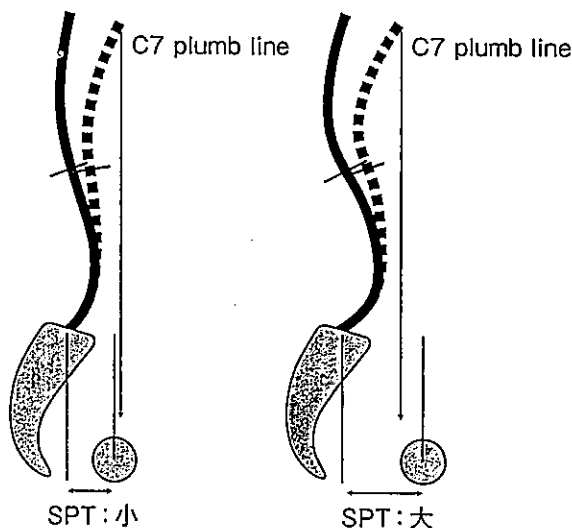


図2 Sagittal pelvic thickness (SPT)の違いによるグローバルアライメントの比較

良好なアライメント(実線)からLLが減少した場合(破線)、SPTが大きいとC7 plumb lineは骨頭中心の後方にとどまる。



## PIとLLの関係

本解析で得られた式,  $PI-LL=0.41PI-11.12$ を, LLを独立変数としてアレンジすると,  $LL=0.59PI+11.12$ となる。これまでもPIを基に, LLを導く予測式が報告され<sup>6),7),16)~19)</sup>, 矯正手術の指標となってきた。

Legayeら<sup>19)</sup>は, 平均年齢24歳の健常ボランティアを対象に,  $LL=(PI \times 0.5481 + 12.7) \times (1.087 + 21.61) = 0.596PI + 35.415$ という式を提唱している。そしてMac-Thiongら<sup>20)</sup>は, 平均年齢12歳の健常者を対象に,  $LL=0.6PI+17.6$ という式を示した。

さらに, Le Huecら<sup>21)</sup>は平均年齢37歳の健常者を対象に, 年齢を考慮した式,  $LL=0.6PI+32.9-0.23(\text{age})$ を求めた。この式に70歳を代入すると,  $LL=0.6PI+16.8$ となる。また, 本誌の他項(p.68~75)で詳述されているYamatoら<sup>22)</sup>は,  $LL=0.45PI+31.8$ と報告している。

## 予測式の係数とY切片の意味を考える

ここでPIの係数に注目すると, 筆者らとLegayeら, Mac-Thiongら, Hasegawaらの式はおおむね0.6で, Yamatoらも0.45と近い値であり, これらから係

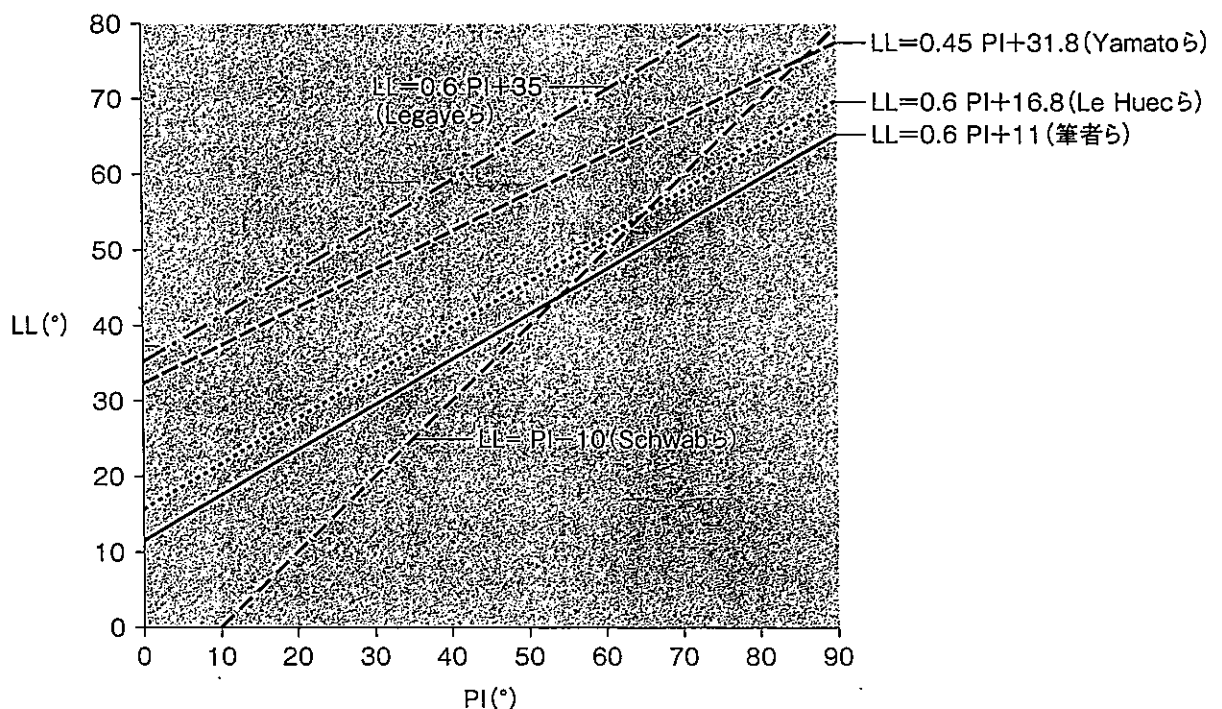
数はおおむね0.5程度と考える。一方, SRS-Schwab分類( $LL>PI-10^\circ$ )の係数は, 1である。PIの係数が1なのか, 0.5前後の値なのかは, きわめて重要なことである。つまり, SRS-Schwab分類以外のすべての式において, LLの増加割合はPIの増加の50%に過ぎず, PIが大きくなるほどPIとLLの差( $PI-LL$ )が大きくなることを意味している。

これらの式では「PIが小さい場合はPI-LLは小さな値が必要で, PIが大きい場合はより大きなPI-LLが許容される」ことを物語っている。各式をグラフで示すと(図3), SRS-Schwab分類の式のみ, 他とまったく異なる性状であることが, 視覚的に理解できる。

一方, Y切片はそれぞれの式で隔たりがある。この理由としては母集団の背景の違いが関与すると考える。術後患者を対象としているのは筆者らのみで, 他の解析では健常ボランティアを対象にしている。また, 対象者の年齢は若年者から高齢者まで大きな違いがある。Le Huecら<sup>21)</sup>の年齢を考慮した式で示されるように, 加齢によりY切片は小さな値になる。Le Huecらの式に70歳を代入すると $LL=0.6PI+16.8$ となり, 筆者らの式と近似することは, 偶然の一致ではなく, 重要なポイントであろう。

【図3】各予測式の比較

Schwabらの式は他と比較して, 傾きとY切片がまったく異なる。



ASD手術において目指すアライメントとは健常者のアライメントなのか、その場合は若年者か高齢者か、それとも術後成績良好例から目指すアライメントを探るべきなのか、これらは現在明確な答

えはなく、今後の研究に期待したい。また、患者は手術時に矯正固定された角度で歳を重ねていくことを念頭に置いて、長期的な評価に基づき、最適なアライメントを考える必要がある。

## 現在の課題と今後の展望

健常者の矢状面パラメータにおいてもばらつきは大きい。その要因としては、各人における個性、つまり、筋力や関節可動域、さらには生活様式の違い等が影響していると考えられる。このような個性を考慮した最適アライメントを明らかにする必要がある。

## 文献

- Glassman SD, Bridwell K, Dimar JR, et al. The impact of positive sagittal balance in adult spinal deformity. *Spine (Phila Pa 1976)* 2005; 30: 2024-9.
- Lafage V, Schwab F, Patel A, et al. Pelvic tilt and truncal inclination: two key radiographic parameters in the setting of adults with spinal deformity. *Spine (Phila Pa 1976)* 2009; 34: E599-606.
- Protosaltis T, Schwab F, Bronsard N, et al. The T1 pelvic angle, a novel radiographic measure of global sagittal deformity, accounts for both spinal inclination and pelvic tilt and correlates with health-related quality of life. *J Bone Joint Surg Am* 2014; 96: 1631-40.
- Schwab F, Farcy JP, Bridwell K, et al. A clinical impact classification of scoliosis in the adult. *Spine (Phila Pa 1976)* 2006; 31: 2109-14.
- Duval-Beaupère G, Schmidt C, Cosson P. A Barycentremetric study of the sagittal shape of spine and pelvis: the conditions required for an economic standing position. *Ann of Biomed Eng* 1992; 20: 451-62.
- Legaye J, Duval-Beaupère G, Hecquet J, et al. Pelvic incidence: a fundamental pelvic parameter for three-dimensional regulation of spinal sagittal curves. *Eur Spine J* 1998; 7: 99-103.
- Boulay C, Tardieu C, Hecquet J, et al. Sagittal alignment of spine and pelvis regulated by pelvic incidence: standard values and prediction of lordosis. *Eur Spine J* 2006; 15: 415-22.
- Schwab F, Ungar B, Blondel B, et al. Scoliosis research society-Schwab adult spinal deformity classification: a validation study. *Spine (Phila Pa 1976)* 2012; 37: 1077-82.
- Berthonnaud E, Dimnet J, Roussouly P, et al. Analysis of the sagittal balance of the spine and pelvis using shape and orientation parameters. *J Spinal Disord Tech* 2005; 18: 40-7.
- Schwab F, Patel A, Ungar B, et al. Adult spinal deformity-postoperative standing imbalance: How much can you tolerate? An overview of key parameters in assessing alignment and planning corrective surgery. *Spine (Phila Pa 1976)* 2010; 35: 2224-31.
- Horton WC, Brown CW, Bridwell KH, et al. Is there an optimal patient stance for obtaining a lateral 36° radiograph? A critical comparison of three techniques. *Spine (Phila Pa 1976)* 2005; 30: 427-33.
- Schwab F, Blondel B, Bess S, et al. Radiographical spinopelvic parameters and disability in the setting of adult spinal deformity: a prospective multicenter analysis. *Spine (Phila Pa 1976)* 2013; 38: E803-12.
- Le Huec JC, Aunoble S, Philippe L, et al. Pelvic parameters: origin and significance. *Eur Spine J* 2011; 20: S564-71.
- Inami S, Moridaira H, Takeuchi D, et al. Optimum pelvic incidence minus lumbar lordosis can be determined by individual pelvic incidence. *Eur Spine J* 2016; 25: 3638-43.
- Roussouly P, Pinheiro-Franco JL. Biomechanical analysis of the spino-pelvic organization and adaptation in pathology. *Eur Spine J* 2011; 20: S609-18.
- Boissière L, Bourghli A, Vital JM, et al. The lumbar lordosis index: a new ratio to detect spinal malalignment with a therapeutic impact for sagittal balance correction decisions in adult scoliosis surgery. *Eur Spine J* 2013; 22: 1339-45.
- Lafage V, Schwab F, Vira S, et al. Spino-pelvic parameter after surgery can be predicted: a preliminary formula and validation of standing alignment. *Spine (Phila Pa 1976)* 2011; 36: 1037-45.
- Rose PS, Bridwell KH, Lenke LG, et al. Role of pelvic incidence, thoracic kyphosis, and patient factors on sagittal plane correction following pedicle subtraction osteotomy. *Spine (Phila Pa 1976)* 2009; 34: 785-91.
- Legaye J, Duval-Beaupère G. Sagittal plane alignment of the spine and gravity: a radiological and clinical evaluation. *Acta Orthop Belg* 2005; 71: 213-20.
- Mac-Thiong JM, Labelle H, Berthonnaud E, et al. Sagittal spinopelvic balance in normal children and adolescents. *Eur Spine J* 2007; 16: 227-34.
- Le Huec JC, Hasegawa K. Normative value for the spine shape parameters using 3D standing analysis from a database of 268 asymptomatic Caucasian and Japanese subjects. *Eur Spine J* 2016; 25: 3630-7.
- Yamato Y, Hasegawa T, Kobayashi S, et al. Calculation of the target lumbar lordosis angle for restoring an optimal pelvic tilt in elderly patients with adult spinal deformity. *Spine (Phila Pa 1976)* 2016; 41: E211-7.

# 脊柱変形に対する矯正固定術の プランニング\*

胸腰椎部・骨盤

森平 泰\*\* 種市 洋

## はじめに

胸腰椎から骨盤にかけての脊柱アライメント異常、いわゆる腰曲がりに対して、積極的に手術が行われるようになってきている。特に矢状面アライメントの異常は、手術を受けていない患者のみならず術後の患者においても、痛みや日常生活障害に密接に関わる因子であることが過去の研究で明らかとなり<sup>3)</sup>、矢状面、冠状面の湾曲に回旋が加わった複雑な変形である成人脊柱変形をどのように適切に矯正するかは、近年、脊椎外科医にとって最も重要な課題の1つである。

成人脊柱変形は、おおまかに、変性側弯症、二次性変性側弯症、後弯症に分類できる<sup>7,15)</sup>。変性側弯症は、変性すべり症と同様に椎間板の加齢変性が主因であり、椎間板高の減少は腰椎の側弯のみならず後弯を引き起こす。変性側弯症は、60歳以上の発症で、進行が早く、比較的柔らかく、しばしば脊柱管狭窄を合併し、矢状面グローバルアライメント異常を認めるという特徴がある。一方で、二次性変性側弯症は、特発性側弯症が成人期まで

遺残したものであり、特発性側弯症で認めるすべてのカーブの種類があり、一般的な変性側弯症とは性質が異なる。二次性変性側弯症は、進行が遅く、硬いカーブで、しばしば胸椎および腰椎カーブの移行部で後弯を合併するという特徴がある。また、変性側弯症より早期に、40歳台から外来に訪れる<sup>9)</sup>。

後弯症も一次性と二次性に分類できる。最も一般的なものは多椎間の椎間板加齢変性による一次性的の後弯症である。二次性的の後弯症には、医原性である脊椎固定術後のものが含まれる。古典的には、特発性側弯症に対する Harrington 法による矯正術後の flat back syndrome である<sup>1)</sup>が、今日多く遭遇するのは、多椎間の腰椎固定術 (posterior lumbar interbody fusion [PLIF], transforaminal lumbar interbody fusion [TLIF]) 後の矢状面アライメント異常である。二次性的の後弯症には、ほかに外傷後後弯が含まれる。比較的若年にみられる椎体骨折や脱臼骨折などの外傷後に後弯位で癒合した硬い後弯症と、骨粗鬆症を合併した高齢者の椎体圧潰や偽関節などの柔らかい後弯症に分けられる<sup>7,10)</sup>。

脊柱管狭窄が主体の軽度変形例に対する治療が神経除圧と不安定性椎間の安定化であるのに対して、高度変形例では不良アライメントとグローバルバランスの改善が治療の主目的となる。われわ

### Key words

成人脊柱変形 (adult spinal deformity)  
治療戦略 (surgical strategies)  
分類 (classification)

\* Surgical Strategies for Subtypes of Adult Thoracolumbar Spinal Deformity

\*\* 獨協医科大学整形外科 [〒321-0293 下都賀郡壬生町大字北小林 880] / Hiroshi MORIDAIRA, Hiroshi TANEICHI : Department of Orthopaedic Surgery, Dokkyo Medical University

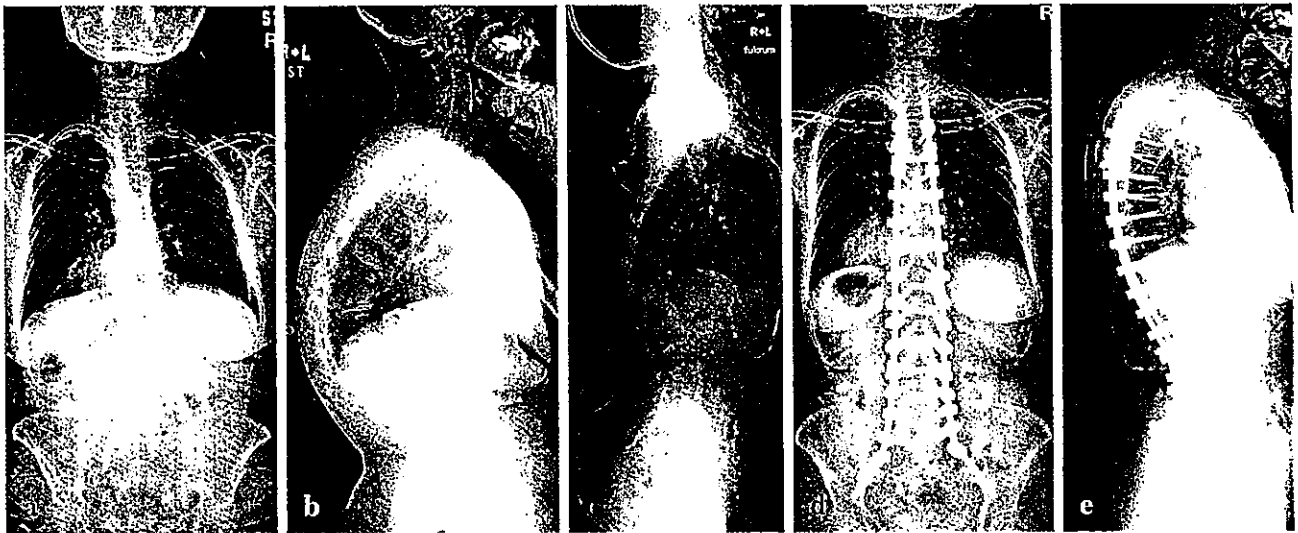


図 1 タイプ1：柔軟な後弯変形を有する冠状面バランスのよい変形  
 冠状面バランスはよく (a)；胸椎および胸腰椎に椎体変形による後弯がある (b) も比較的柔らかく、FBB により概ね良好な矢状面アライメントが得られる (c)。Ponte 骨切りと後方インストゥルメンテーションによる矯正固定のみで良好なアライメントとグローバルバランスが得られる (d, e)。

これは胸腰椎から骨盤にかけての成人脊柱変形を、カーブの種類と柔軟性から5タイプに分けて治療を行ってきた<sup>10,12)</sup>。本稿では、lateral interbody fusion (LIF) 併用による低侵襲化にも触れながら、タイプ別の治療戦略について述べる。

### 成人脊柱変形の柔軟性評価

脊柱変形に対する適切な術式選択には、正確な柔軟性評価が必須である。成人脊柱変形の術前評価では、side bending による側弯の柔軟性評価に加えて、fulcrum backward bending (FBB) 法による後弯の柔軟性評価を行う。

患者をX線透視台上に仰臥位とし、後弯の頂椎付近にウレタンフォーム製の小枕を敷いて、腰椎の最大後屈位を強制し、全脊柱側面X線像を撮像する。このFBB法の有用性を検証するための研究では、FBBで得られる腰椎前弯を仮想腰椎前弯 (virtual lumbar lordosis: VLL) とすると、VLLは骨切りを併用しないインストゥルメンテーション手術で得られるLLときわめて高い精度で一致することが明らかになった<sup>11)</sup>。そこでわれわれは、pelvic incidence (PI)-VLLをもとに術前計画を立ててきた。

### タイプ1：柔軟な後弯変形を有する冠状面バランスのよい変形

冠状面バランスがよく (C7 plumb-line distance [PD] < 3 cm)<sup>6)</sup>、後弯が柔軟な (PI-VLL < 20度)<sup>9)</sup>タイプである (図1)。このタイプの変形では、冠状面バランスが保たれているため側弯変形の解離が必要ない。また、4点フレーム上の腹臥位で概ね良好な腰椎前弯が得られるため、後方インストゥルメンテーションのみによる後方矯正固定術が適応となる。タイプ1の変形は最も侵襲が少ない手術で治療できるため、80歳以上の症例であっても治療可能である。骨粗鬆症が高度な症例においては、矯正時の椎弓根スクリュー (PS) のゆるみや椎体骨折を防ぐために、1~3椎間のPonte骨切りなどの後方要素の骨切り (Schwab Grade 1 or 2骨切り)<sup>8)</sup>を加えてもよい。

固定上端椎 (upper instrumented vertebra: UIV) は胸椎部脊柱変形の状況により決定するが、概ねT10前後とする。固定下端椎 (lower instrumented vertebra: LIV) は基本的にS1である。本症のほとんどが腰仙椎間に変性があり、高率に骨粗鬆症を合併するため、L5をLIVにすることは固定下端の破綻のリスクが高く推奨できない。



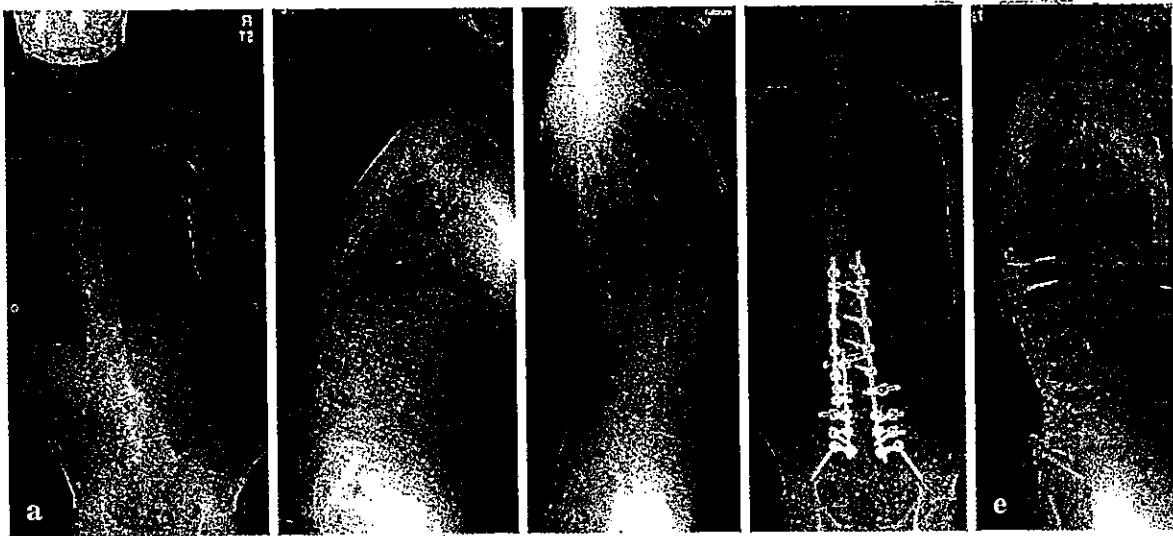


図2 タイプ2: 柔軟な後弯変形を有する冠状面バランスの悪い側弯  
 冠状面グローバルバランスが不良な硬い側弯症 (a) で、腰椎後弯がある (b) も比較的柔軟で、FBBにより腰椎前弯が得られる (c)。硬い側弯変形のある L2-4 に対して LIF と TLIF による IVR を行い、側弯は良好に矯正され、冠状面バランスが正常化している (d)。Rod de-rotation 法を加えた後方インストゥルメンテーションによる矯正で良好な腰椎前弯を獲得している (e)。

腰仙椎固定の下位アンカーは S1 PS と腸骨スクリューなどによる 4 点固定 (4-point fixation) が必須と考える。

### タイプ2: 柔軟な後弯変形を有する 冠状面バランスの悪い側弯

硬い側弯による冠状面バランスが不良で (C7 PD < 3 cm)、後弯が柔軟な (PI-VLL < 20 度) タイプである (図 2)。主として冠状面バランス改善を目的に側弯矯正を行うが、骨棘形成や骨性架橋を伴う硬い側弯症は、後方解離のみでは十分な側弯矯正はできない。硬い椎間をターゲットに Ponte 骨切りと、前方ないし後方からの徹底的な椎体間解離 (intervertebral release: IVR) を組み合わせる<sup>14)</sup>。近年、本邦でも多く施行されることになった LIF は IVR の強力な手段である。PLIF/TLIF の手技と異なり硬膜外腔の操作がないため出血量低減に有効で、低侵襲化の観点からも推奨できる<sup>5)</sup>。変形矯正のアンカーには PS を用いて、凸側の rod de-rotation 法を加える。この矯正法は腰椎の回旋を矯正しながら椎体を前方に押し込むため、腰椎側弯を前弯に変化させる。

矢状面バランスの再建からみると、タイプ2の変形において PI に適合した LL を得ることは、タイプ1 同様に困難ではなく、LIF を用いて短椎間で十分な LL を獲得することで、胸腰移行部の後弯が軽度な症例では UIV を L2 にできる症例も少なくない。

### タイプ3: 側弯が軽度な硬い後弯

胸腰椎や腰椎の後弯が硬く FBB において十分に矯正されず (PI-VLL > 20 度)、側弯が軽度 (< 30 度) なタイプである (図 3)。腰椎変性疾患や外傷に対する不適切な後方固定術後の矢状面アライメント異常に多くみられる。強力な矢状面アライメント矯正が期待できる pedicle subtraction osteotomy (PSO) の適応で、1 椎体の骨切りにより約 30 度の後弯矯正が可能である<sup>2)</sup>。われわれはいわゆる egg shell 手技でなく、ノミを用いた椎体内楔状骨切りを行うことにより正確な矯正角度を獲得するようにしている。PSO では骨切り椎の後方要素は大きく摘出されるため、上下椎間を十分量の移植骨にて橋渡しをする後側方固定 (posterolateral fusion: PLF) が必要である。

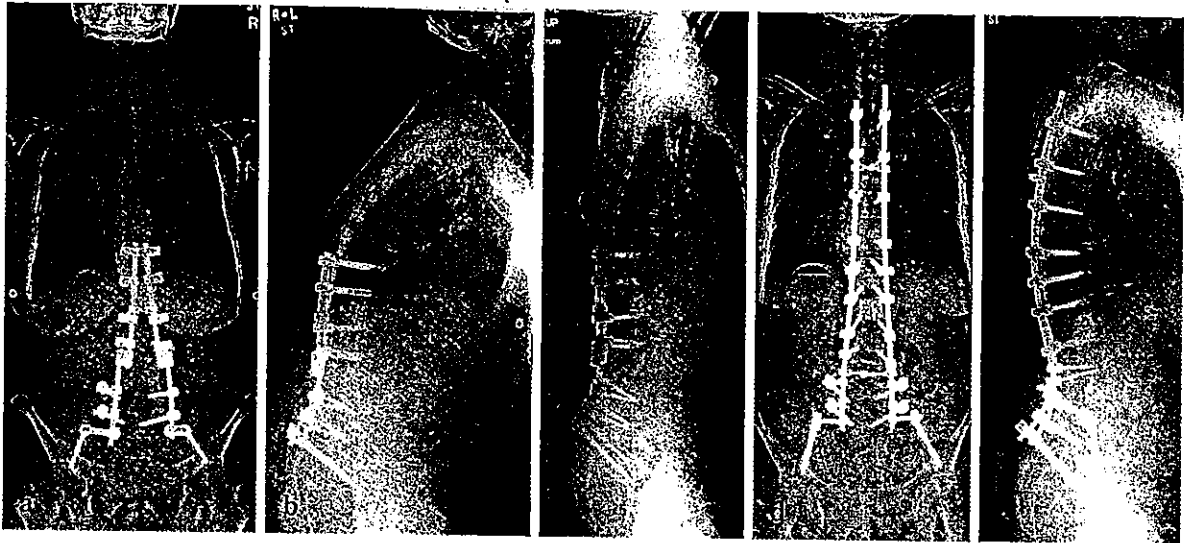


図3 タイプ3：側弯が軽度な硬い後弯

骨粗鬆症性椎体圧潰に対する固定術後の矢状面アライメント異常で冠状面変形はない (a)。腰椎は骨盤のアライメントと不適合のまま骨癒合が完成し、胸椎後弯も加わって矢状面バランスは著しく不良である (b, c)。L4のPSOにより腰椎前弯を獲得し、上位胸椎まで後方固定術を延長することで、良好な矢状面アライメントが獲得できている (d, e)。

タイプ3のうち、変形の主体が椎間板である一次性的後弯症には、PSOに代わってLIFを併用した矯正術が可能となる。変形が大きく硬い椎間で必要数のLIFを行って、側弯矯正と同時に前方を開大させさせておき、続いて後方手術の際に、その椎間でPonte骨切り(全椎間関節切除：Schwab Grade 2骨切り)<sup>9)</sup>を行って後方短縮させ十分なLLを獲得することで、矢状面アライメントを改善させる。

#### タイプ4：側弯が高度な硬い後弯

後弯が硬く (PI-VLL>20度)、側弯も高度 (>30度) なタイプである (図4)。PSOは基本的に二次元的アライメント矯正のための手技で、三次元変形矯正には向かないため、vertebral column resection (VCR) が適応となる<sup>2)</sup>。後方単独VCRや前後合併アプローチによるVCRが行われるが、いずれも脊柱3カラムを切断し矯正するので、きわめて硬い三次元的変形も強力かつ短椎間で矯正できる。前方支柱(ケージ)設置が必須であるが、後方から設置する場合は、椎間板および椎体切除後のギャップに左右から2個設置する

のがよい。前後合併VCRは、前方から大きな面積のケージを安全に設置でき、また出血量低減のメリットもある。

タイプ3同様、タイプ4においても、椎体変形が少なく椎間癒合のない症例においては、LIFが強力な手段となっている。椎体切除を行わずに必要な数の椎間でLIFを施行することで、広範囲の椎間板切除による強力な矯正と、大きな面積のケージによる矯正位保持が可能である。

#### タイプ5：下位腰椎前弯にて矢状面バランスが代償された側弯

矢状面バランスが保たれているにもかかわらず、側弯が高度 (>30度) なタイプである (図5)。特発性側弯症の遺残症例に多く、慢性腰痛、肋骨の骨盤への食い込みや、体幹の短縮による上腹部症状を呈する。前方矯正術 (anterior spinal fusion : ASF) では全周性の椎間解離と前方インストゥルメンテーションによる強力な三次元的矯正が可能であり、先行して同レベルの後方解離術を施行することで短椎間での矯正固定が可能となる<sup>13)</sup>。腰椎後側弯はあるが、下位腰椎の過前弯に



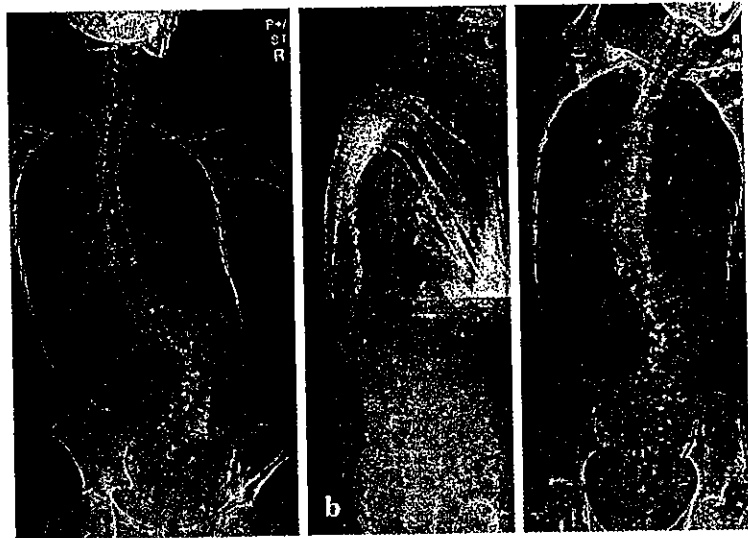


図 4 タイプ4：側弯が高度な硬い後弯  
 冠状面グローバルバランスが不良な硬い  
 側弯症 (a, c) で、矢状面アライメント  
 異常もある (b)。FBB により矢状面ア  
 ライメントが矯正されない (d)。硬い側弯  
 変形のある L1-4 に LIF を用いた IVR を  
 行って冠状面バランスを矯正し (e)、そ  
 の椎間で Ponte 骨切りを加えて後方短  
 縮させることで十分な腰椎前弯を獲得し  
 ている (f)。

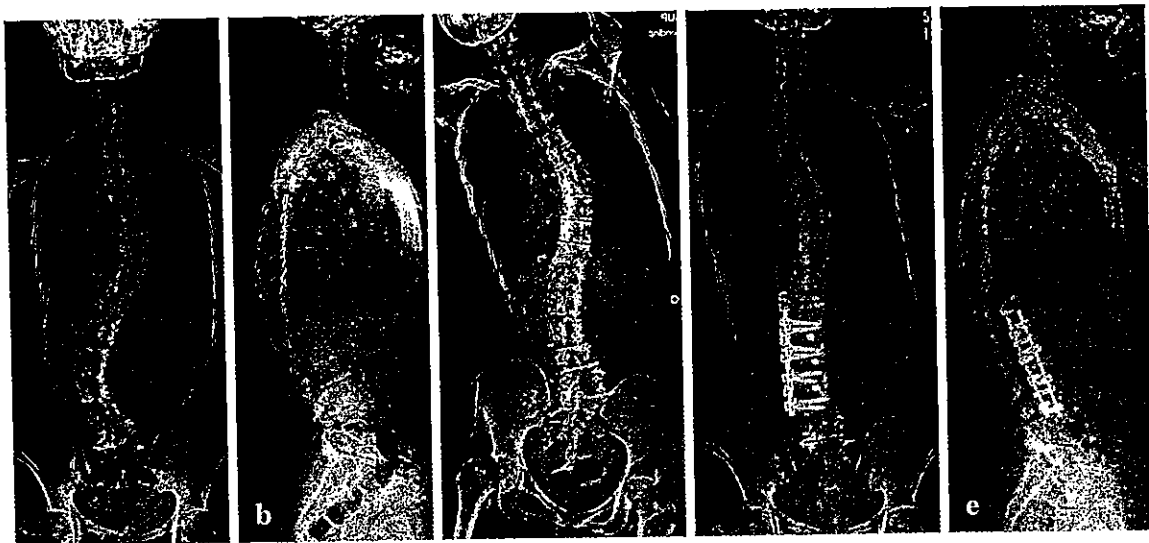
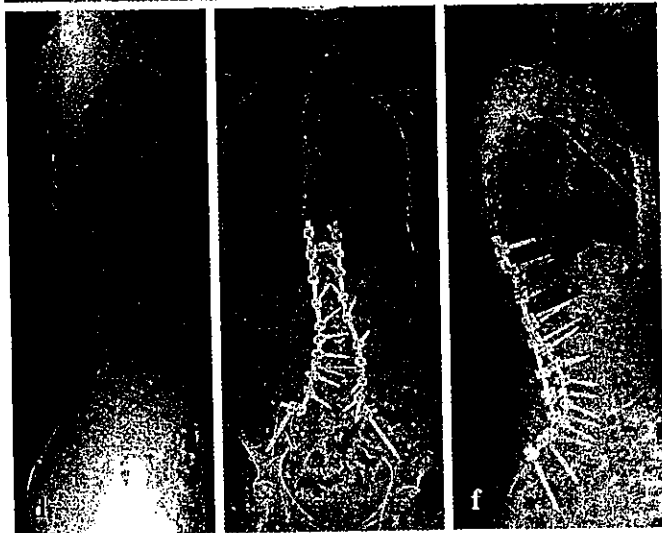


図 5 タイプ5：下位腰椎前弯にて矢状面バランスが代償された側弯  
 矢状面グローバルバランスが下位腰椎前弯にて代償されている側弯症 (a~c) で骨粗鬆症は軽度であ  
 る。前方矯正固定術により L4~S1 の 2 椎間を温存したままで良好な腰椎アライメントが獲得できて  
 いる (d, e)。術前に L4/5 椎間板は左側が bone on bone になっているが (a)、術後は L4 が水平化され  
 ている (d)。

より矢状面グローバルバランスを代償している症例では、固定下端を L3 ないし L4 に設定した ASF により良好なアライメントとバランスの矯正が期待できる。ASF は変形矯正とその維持を椎体スクリューに依存するため、適応は骨粗鬆症が軽度な症例に限られるが、成人脊柱変形の矯正術において、腰仙椎移行部に 2 椎間以上の可動椎間を温存できるのはこのタイプのみである。

## まとめ

胸腰椎から骨盤にかけての成人脊柱変形を、カーブの種類と柔軟性から 5 タイプに分けて、タイプ別の治療戦略について述べた。術前に検討すべき事項は、カーブの形、矢状面および冠状面のグローバルバランス、矢状面脊柱骨盤アライメント異常、変形の硬さ、脊柱管狭窄、骨質が挙げられる。それに加えて、患者の年齢や全身状態は必須となり、理想的なアライメント獲得のための妥協しない術式を計画する一方で、患者の全身状態がそれを許容できるかを常に考慮する必要がある。矯正手術は、広範囲な固定、3 カラムの骨切りや多椎間の椎間板解離 (IVR) の併用など、概して高侵襲になりやすい。しかし、多くの症例が比較的柔らかい変形であることを踏まえて、不必要な高侵襲手術は厳に慎むべきである。一方で、低侵襲手術にこだわるあまりに、解離が不十分な状態で、インプラント任せの矯正を行えば、スクリューのゆるみや骨折を生じ、不十分な矯正で手術を終えることとなる。変形のタイプと柔軟性を正確に評価し、柔軟な変形には過剰な解離操作や骨切りを行わない術式を選択し低侵襲性を追求すること、また硬い変形には 3 カラムの骨切りや前方法を駆使した効率的な矯正を行い、固定範囲の短縮を図ることが重要である。

## 文献

1) Bridwell KH, Lenke LG, Lewis SJ : Treatment of

- spinal stenosis and fixed sagittal imbalance. *Clin Orthop Relat Res* 384 : 35-44, 2001
- 2) Gill JB, Levin A, Burd T, et al : Corrective osteotomies in spine surgery. *J Bone Joint Surg Am* 90 : 2509-2520, 2008
- 3) Glassman SD, Berven S, Bridwell K, et al : Correlation of radiographic parameters and clinical symptoms in adult scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)* 30 : 682-688, 2005
- 4) Gupta MC : Degenerative scoliosis. Options for surgical management. *Orthop Clin North Am* 34 : 269-279, 2003
- 5) Isaacs RE, Hyde J, Goodrich JA, et al : A prospective, nonrandomized, multicenter evaluation of extreme lateral interbody fusion for the treatment of adult degenerative scoliosis : perioperative outcomes and complications. *Spine (Phila Pa 1976)* 35 (26 Suppl) : S322-330, 2010
- 6) Lowe T, Berven SH, Schwab FJ, et al : The SRS classification for adult spinal deformity : building on the King/Moe and Lenke classification systems. *Spine (Phila Pa 1976)* 31 (19 Suppl) : S119-125, 2006
- 7) Savage JW, Patel AA : Fixed sagittal plane imbalance. *Global Spine J* 4 : 287-296, 2014
- 8) Schwab F, Blondel B, Chay E, et al : The comprehensive anatomical spinal osteotomy classification. *Neurosurgery* 76 (Suppl 1) : S33-41, 2015
- 9) Schwab F, Ungar B, Blondel B, et al : Scoliosis Research Society-Schwab adult spinal deformity classification : a validation study. *Spine (Phila Pa 1976)* 37 : 1077-1082, 2012
- 10) Taneichi H : Update on pathology and surgical treatment for adult spinal deformity. *J Orthop Sci* 21 : 116-123, 2016
- 11) 種市 洋, 稲見 聡, 森平 泰, 他 : 腰椎変性後側弯症の病態別治療戦略. 整・災外 56 : 845-851, 2013
- 12) 種市 洋, 稲見 聡, 森平 泰, 他 : 脊椎矢状面バランスの破綻とその対策—矢状面バランス異常を伴う重度腰椎変性側弯症 ( $\geq 40^\circ$ ) の特徴とその中期成績. 日整会誌 89 : 475-480, 2015
- 13) 種市 洋, 稲見 聡, 野原 裕 : 特発性側弯症の矯正手術—前方 instrumentation による矯正固定. 脊椎脊髄 21 : 37-42, 2008
- 14) Tsai TH, Huang TY, Lieu AS, et al : Functional outcome analysis : instrumented posterior lumbar interbody fusion for degenerative lumbar scoliosis. *Acta Neurochir (Wien)* 153 : 547-555, 2011
- 15) Youssef JA, Orndorff DO, Patty CA, et al : Current status of adult spinal deformity. *Global Spine J* 3 : 51-62, 2013