

ANÁLISE INTRA E INTEROBSERVADOR DE POSICIONAMENTO DE PARAFUSOS PEDICULARES EM CORREÇÃO DE ESCOLIOSE

INTRA- AND INTEROBSERVER ANALYSIS OF PEDICLE SCREW PLACEMENT IN SCOLIOSIS CORRECTION

ANÁLISIS INTRA E INTEROBSERVADOR DE POSICIONAMIENTO DE TORNILLOS PEDICULARES EN CORRECCIÓN DE ESCOLIOSIS

CAÍQUE JAUHAR DE CASTRO,¹ LUIS EDUARDO CARELLI TEIXEIRA DA SILVA,^{1,2,3} LUIZ EDUARDO ALMEIDA,^{1,2} ALDERICO GIRÃO CAMPOS DE BARROS,¹ ROBSON TEIXEIRA VITAL,^{1,3}
MÁRCIA MARIA RODRIGUES JARDIM,³ GIULIANA VASCONCELOS DE SOUZA FONSECA⁴

1. Instituto Nacional de Traumatologia e Ortopedia (INTO), Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
2. Instituto da Coluna Vertebral do Rio de Janeiro (INCOL), Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
3. Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Neurologia (PPGNEURO- UNIRIO), Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
4. Instituto de Pesquisas Biomédicas do Hospital Naval Marçílio Dias (IPB HNMD), Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

RESUMO

Objetivo: Estabelecer a concordância estatística interobservadores e intraobservadores do posicionamento de parafusos pediculares torácicos em cirurgia de escoliose, com intervalo de quatro semanas entre as duas análises. **Métodos:** Com 55 pacientes, que avalia as concordâncias intra e interobservador da posição dos parafusos (segundo a classificação de Abul-Kasim), utilizando o coeficiente de Kappa. **Resultados:** A concordância intraobservador variou entre 0,516 e 0,889 (“moderada” a “quase perfeita”) de coeficiente Kappa, entre análises com intervalo de quatro semanas. A concordância interobservador variou entre 0,379 e 0,633 (“razoável” a “forte”). **Conclusões:** A concordância intraobservador foi sempre maior que a interobservador. Nenhum coeficiente de concordância foi classificado como “insuficiente” ou “fraco”. **Nível de Evidência III; Estudo retrospectivo.**

Descritores: Escoliose; Parafusos Pediculares; Deformidade da Coluna.

ABSTRACT

Objective: To establish the statistical interobserver and intraobserver concordance of thoracic pedicle screw placement in scoliosis surgery, with a 4-week interval between the two analyses. **Methods:** Of 55 patients that evaluated the intra- and interobserver concordances of the screw positions (according to the Abul-Kasim classification) using the Kappa coefficient. **Results:** The intraobserver concordance ranged from a Kappa coefficient of 0.516 to 0.889 (“moderate” to “almost perfect”) between the two analyses performed four weeks apart. Interobserver concordance ranged from 0.379 to 0.633 (“reasonable” to “strong”). **Conclusion:** The intraobserver concordance was always greater than the interobserver concordance. No concordance coefficient was classified as “insignificant” or “weak”. **Level of Evidence III; Retrospective study.**

Keywords: Scoliosis; Pedicle Screws; Spine Deformity.

RESUMEN

Objetivo: Establecer la concordancia estadística interobservadores e intraobservadores del posicionamiento de tornillos pediculares torácicos en cirugía de escoliosis, con intervalo de cuatro semanas entre los dos análisis. **Métodos:** Estudio de cohorte retrospectivo (nivel con 55 pacientes, que evalúa las concordancias intra e interobservador de la posición de los tornillos (según la clasificación de Abul-Kasim), usando el coeficiente de Kappa. **Resultados:** La concordancia intraobservador varió entre 0,516 y 0,889 (“moderada” a “casi perfecta”), de coeficiente Kappa, entre análisis con intervalo por 4 semanas. La concordancia interobservador varió entre 0,379 y 0,633 (“razonable” a “fuerte”). **Conclusiones:** La concordancia intraobservador fue siempre mayor que la interobservador. Ningún coeficiente de concordancia fue clasificado como “insuficiente” o “débil”. **Nivel de Evidencia III; Estudio retrospectivo.**

Descriptores: Escoliosis; Tornillos Pediculares; Deformidad de la Columna.

INTRODUÇÃO

As deformidades da coluna vertebral são definidas como alterações no eixo dos planos coronal ou das curvaturas fisiológicas que compõem o alinhamento sagital. Dentro desse grupo de doenças, destaca-se epidemiologicamente o grupo das escolioses, com etiologia variada, e com tratamento inicialmente conservador,

que não raro evolui para a necessidade de intervenção cirúrgica.¹⁻³

Muitos procedimentos cirúrgicos já foram descritos desde a metade do século XX, desde as artrodeses sem instrumentação com colete gessado de Risser,⁴ evoluindo às hastes de Harrington em 1962,⁵ uso de amarras sublaminares por Luque⁶ e Allen-Ferguson⁷ e de ganchos, até a mais recente utilização de parafusos pediculares.

Estudo realizado no Instituto Nacional de Traumatologia e Ortopedia - RJ, Brasil.

Correspondência: Caique Jauhar de Castro. Rua Professor Gastão Bahiana, 429, apto 307, Lagoa, Rio de Janeiro, Brasil. caiquejdecastro@gmail.com



<http://dx.doi.org/10.1590/S1808-185120201903224255>

Inicialmente descritos por Roy-Camille,⁸ e conectados a placas para doenças estritamente lombares, tais parafusos tiveram sua utilização aprimorada e voltada para correção de escoliose por autores como Suk.⁹

O uso dos parafusos pediculares para o tratamento cirúrgico de deformidades da coluna vertebral vem há anos sendo considerado o padrão-ouro, quando comparados aos antigos métodos de fixação, como amarras e ganchos. Seu potencial de correção tridimensional, de manutenção da correção e de poupar níveis de artrose fizeram seu uso tornar-se popular.^{10,11}

Com esse advento, a segurança da inserção passou a ser uma das preocupações primordiais e muitos estudos detalhados foram publicados, confirmando a segurança, primeiramente em vértebras lombares, e mais tarde em vértebras torácicas de pacientes com deformidades escolióticas.¹⁰⁻¹³

Algumas séries mostram risco de mau-posicionamento de implantes na coluna torácica de pacientes com escoliose entre 1,5 até mesmo 43%,^{14,15} no entanto com pequeno índice de repercussão neurológica, entre 0 a 0,9%.¹⁶⁻²⁰

Para averiguação de posicionamento dos implantes, utilizamos controle tomográfico pós-operatório em cortes axiais que permitam empregar a descrição de Abul-Kasim²¹ (Figura 1) para avaliar a relação parafuso-pedículo, permitindo classificá-los tanto em posição considerada "normal", quanto em mau-posicionamento, "lateral" ou "medial" aos limites corticais dos pedículos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Esse estudo de coorte retrospectivo e observacional, em 55 pacientes submetidos a tratamento cirúrgico de escoliose, em duas instituições (mas com mesma equipe de cirurgiões), utilizando parafusos pediculares, por via de acesso posterior, entre 2016 e 2019.

No total, 47 pacientes tinham o diagnóstico de escoliose idiopática, quatro de escoliose congênita, um de neuromuscular e três com escoliose sindrômica. A idade variou entre 10 e 50 anos, sendo 11 pacientes masculinos e 44 do sexo feminino. Curvas variaram de 41 a 120 graus na medição pelo método de Cobb.

Uma amostra de 810 parafusos, inseridos com técnica "free-hand"

ou com auxílio de intensificador de imagem, em um total de 55 pacientes, foi alcançada para que houvesse um valor estatístico significativo e que correspondesse o mais fidedignamente possível a realidade.

A mesma equipe de cirurgiões foi responsável por todas as inserções dos parafusos, bem como as manobras de correção das curvas.

As cirurgias foram realizadas pelo acesso longitudinal posterior, e subsequente descolamento muscular subperiosteal dos níveis necessários para a correção. A instrumentação pedicular foi realizada sob a técnica "free-hand" ou auxiliada por radioscopia, quando necessário. O diâmetro dos parafusos pediculares de titânio variaram entre 4.0 e 6.5mm.

A avaliação do posicionamento desses implantes utilizou-se de tomografias pós-operatórias, e foi feita por três ortopedistas com treinamento de, no mínimo, dois anos em cirurgias de deformidade de coluna vertebral. A classificação de Abul-Kasim foi tomada como referência para estabelecer tanto o posicionamento ideal quanto para graduar os erros de implantação. Todos os parafusos foram analisados pelos três observadores em duas ocasiões separadas por quatro semanas.

A análise posicional dos parafusos em relação aos pedículos foi realizada com a classificação de "NORMAL"(N), "PERFURAÇÃO MEDIAL GRAU I" (M1), "PERFURAÇÃO MEDIAL GRAU II" (M2), PERFURAÇÃO LATERAL GRAU I" (L1) E "PERFURAÇÃO LATERAL GRAU II" (L2), pelos três cirurgiões observadores, conforme a descrição de Abul-Kasim.²¹ (Figura 1) As tomografias analisadas para essa classificação, se encontravam no arquivo digital dos prontuários dos pacientes e são feitas de rotina em todo pós-operatório de correção de escoliose, como uma forma de "standart of care",²² mediante o fato de que não somente a inserção errática pode acontecer, mas também o deslocamento no tempo cirúrgico da derrotação (para correção da escoliose), que pode levar ao fenômeno de "plowing" com concomitante lesão de uma das paredes corticais do pedículo.^{23,24} Os pedículos torácicos foram identificados no plano axial em seu istmo, as imagens foram separadas e organizadas em uma apresentação de power point para a melhor avaliação dos observadores.

Os resultados foram analisados estatisticamente com o grau de concordância avaliado pelos métodos kappa com pesos quadráticos (Fleiss-Cohen).²⁵⁻²⁹ Este coeficiente é estipulado para descrever a concordância entre dois ou mais observadores quando se realiza uma avaliação nominal ou ordinal de uma mesma amostra. Por este método, valores menores que zero são tidos como insignificantes; de zero a 0,2 como fracos; de 0,21 a 0,4 como razoáveis; de 0,4 a 0,6 como moderados; 0,6 a 0,8 como fortes e acima de 0,8 como quase perfeitos, conforme Tabela 1.

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa do serviço responsável (INTO), com o número CAAE 70885517.4.00005273 e incluído na Plataforma Brasil. Foi dispensado o uso de Termo de Consentimento Livre e Esclarecido aos pacientes, mediante o uso de informações já contidas no arquivo digital do Instituto, sendo substituído pelo Termo de Responsabilidade e ética do examinador.

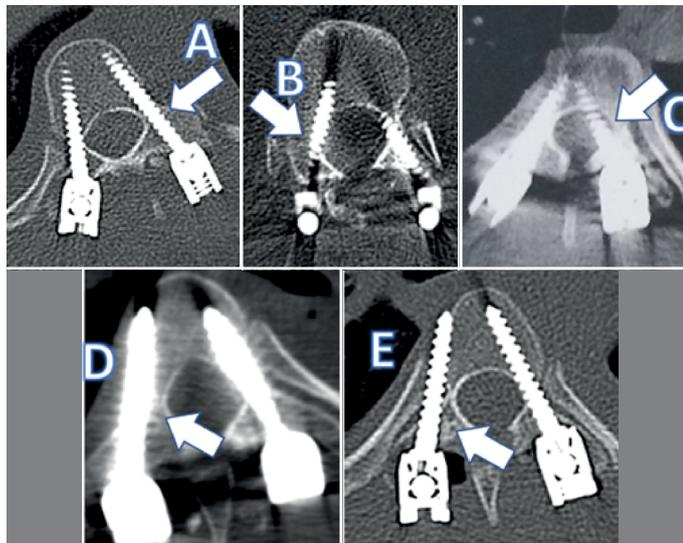


Figura 1. Classificação de Abul-Kasim: A) Posicionamento correto do parafuso pedicular. Na visão axial permanece confinado às paredes do pedículo e na reconstrução sagital não perfura a placa terminal superior e não perfura o forame intervertebral. B) Perfuração cortical medial do pedículo Grau I, com mais de 1/2 do parafuso medial a cortical medial do pedículo. C) Perfuração cortical medial do pedículo Grau II, com parafuso totalmente medial a cortical medial do pedículo. D) Perfuração cortical lateral do pedículo Grau I, com mais de 1/2 do parafuso lateral a cortical lateral do pedículo. E) Perfuração cortical lateral do pedículo Grau II, com parafuso totalmente lateral a cortical lateral do pedículo.

Tabela 1. Interpretação do coeficiente de concordância Cohen's kappa.

Valor de Kappa	Interpretação
Menor que zero	Insignificante (poor)
Entre 0 e 0,2	Fraca (slight)
Entre 0,21 e 0,4	Razoável (fair)
Entre 0,41 e 0,6	Moderada (moderate)
Entre 0,61 e 0,8	Forte (substantial)
Entre 0,81 e 1	Quase perfeita (almost perfect)

RESULTADOS

As Tabelas 2 e 3 fornecem a frequência (n) e o percentual (%) das classificações de Abul-Kasim da colocação dos parafusos nos pedículos, côncavos e convexos, respectivamente, das duas avaliações, dos três observadores. Alguns observadores classificaram como "inconclusiva" a imagem, as quais foram desconsideradas da análise.

As Tabelas 4 e 5 fornecem a concordância observada (em %), estatística Kappa e o nível descritivo (p-valor) para cada par de

Tabela 2. Classificações de Abul-Kasim da colocação dos parafusos nos pedículos convexos.

Avaliação	Primeira						Segunda					
	1		2		3		1		2		3	
Observador	n	%	n	%	n	%	N	%	N	%	n	%
L2	11	2,8	12	3,1	13	3,3	13	3,3	22	5,6	8	2,0
L1	19	4,9	15	3,8	15	3,8	17	4,3	15	3,8	20	5,1
Normal	332	85,6	312	79,8	329	83,3	329	84,1	305	78,2	335	85,7
M1	23	5,9	38	9,7	30	7,6	23	5,9	38	9,7	27	6,9
M2	3	0,8	14	3,6	8	2,0	9	2,3	10	2,6	1	0,3

M1: M1: Abul-Kasim grade I medial perforation; M2: grade II medial perforation; L1: grade I lateral perforation; grade II lateral perforation.

Tabela 3. Classificações de Abul-Kasim da colocação dos parafusos nos pedículos convexos.

Avaliação	Primeira						Segunda					
	1		2		3		1		2		3	
Observador	n	%	n	%	n	%	N	%	N	%	N	%
L2	15	3,6	29	7,0	14	3,4	16	3,8	18	4,3	11	2,7
L1	20	4,8	20	4,8	17	4,1	18	4,3	28	6,7	16	3,9
Normal	337	80,8	329	79,5	360	86,7	361	86,4	332	79,4	364	89,0
M1	36	8,6	26	6,3	20	4,8	20	4,8	38	9,1	15	3,7
M2	9	2,2	10	2,4	4	1,0	3	0,7	2	0,5	3	0,7

M1: Abul-Kasim grade I medial perforation; M2: grade II medial perforation; L1: grade I lateral perforation; grade II lateral perforation.

Tabela 4. Análise Intraobservador da colocação dos parafusos nos pedículos pela classificação de Abul-Kasim.

Avaliação	Observador	Pedículo	N	Concordância observada (%)	Coefficiente de Kappa	p-valor
Primeira avaliação x Segunda avaliação	1	Côncavo	382	89,5	0,611	<0,0001
		Convexo	411	85,6	0,516	<0,0001
	2	Côncavo	379	85,0	0,591	<0,0001
		Convexo	402	86,6	0,627	<0,0001
	3	Côncavo	390	93,8	0,777	<0,0001
		Convexo	409	97,6	0,889	<0,0001

Tabela 5. Análise Interobservador da colocação dos parafusos nos pedículos pela classificação de Abul-Kasim.

Avaliação	Observador	Pedículo	N	Concordância observada (%)	Coefficiente de Kappa	p-valor
Primeira avaliação	Obs1 x Obs2	Côncavo	379	84,7	0,512	<0,0001
			378	86,2	0,506	<0,0001
			380	86,3	0,578	<0,0001
	Obs1 x Obs3	Côncavo	403	83,6	0,535	<0,0001
			403	83,4	0,434	<0,0001
			403	84,1	0,465	<0,0001
Segunda avaliação	Obs1 x Obs2	Côncavo	386	87,8	0,633	<0,0001
			376	87,2	0,517	<0,0001
			377	83,0	0,466	<0,0001
	Obs1 x Obs3	Côncavo	413	87,9	0,607	<0,0001
			397	85,6	0,379	<0,0001
			400	82,0	0,382	<0,0001

comparação, intra e interobservador, respectivamente. A concordância observada corresponde ao percentual (%) de respostas idênticas no total de imagens avaliadas. Por exemplo, no total de 379 pedículos, segundo a classificação de Abul-Kasim, os observadores 1 concordou em 84,7% dos casos com o observador 2.

A análise intraobservador evidenciou que não houve concordância absoluta dos pesquisadores em relação a primeira e a segunda avaliação.

O primeiro avaliador apresentou concordância forte (entre 0,61 e 0,8) e moderada (entre 0,41 e 0,6), para pedículos côncavos e convexos, respectivamente. A concordância do segundo avaliador foi classificada como moderada (entre 0,41 e 0,6) para pedículos côncavos e forte (entre 0,61 e 0,8) para convexos. O terceiro

avaliador apresentou a maior concordância, classificada como forte (entre 0,61 e 0,8) para pedículos côncavos e quase perfeita (entre 0,81 e 1) para convexos.

A análise interobservador evidenciou que não houve concordância absoluta entre os pesquisadores, em relação a classificação de Abul-Kasim. O kappa interobservador variou de 0,379 a 0,633, com combinações razoáveis, moderadas e fortes.

Na primeira avaliação, todos os observadores foram moderadamente concordantes tanto para pedículos côncavos quanto para convexos. Na segunda avaliação, os mais concordantes foram os observadores 1 e 2, apresentando forte concordância (0,633 para côncavos e 0,607 para convexos). Na segunda avaliação, o observador 3 foi moderadamente concordante para pedículos côncavos e razoavelmente concordante para convexos, sendo estas as menores concordâncias observadas.

DISCUSSÃO

A segurança da inserção dos parafusos em cirurgias de correção de escoliose sempre foi uma das maiores preocupações dos cirurgiões pelas potenciais e graves complicações que sua inserção inadvertida pode ocasionar. Estudos inicialmente em níveis lombares e mais tarde em níveis torácicos mostraram segurança no uso desses implantes.¹⁰⁻¹²

A instrumentação transpedicular na coluna torácica é tecnicamente mais difícil do que nos níveis lombares devido ao estreitamento dos pedículos e à avaliação fluoroscópica intraoperatória menos acurada.¹³

Existem várias técnicas de inserção dos parafusos pediculares na coluna torácica, podendo ser realizada pela técnica "free-hand", com auxílio de fluoroscopia ou navegação.¹⁴

Pedículos torácicos possuem diâmetro menor e pacientes com escoliose estão mais propensos a alterações anatômicas da morfologia pedicular, o que torna o risco de perfuração cortical e de mau-posicionamento do implante, o que pode variar entre 1,5-43% em algumas séries.^{14,15} Apesar disso, os índices de complicação neurológica variam entre 0-0,9%.¹⁶⁻²⁰

A morfologia anatômica dos pedículos analisada de forma pré-operatória por radiografias e tomografia computadorizada e intra-operatória por fluoroscopia pode ser utilizada para prever a facilidade e segurança da instrumentação transpedicular.^{5,6}

Em relação a inserção de parafuso pedicular, existe o temor de dano neurológico quando ocorre violação da cortical medial do pedículo. Contudo, violações pequenas geralmente são assintomáticas, estando na "zona segura" em até 2mm, como descrevem Kim e Lenke. Uma "zona provavelmente segura" é definida entre 2-4mm e "zona de segurança questionável" entre 4-8mm.¹⁴

Quando se trata do posicionamento errático com perfuração lateral, existem riscos mais raros, que variam desde pequenas lacerações pleurais até casos com consequências devastadoras, como lesões vasculares graves.³⁰

Existem ainda classificação históricas, como a de Xu,³¹ que descrevia graduação de erros de inserção de parafusos pediculares monoaxiais em colunas torácicas de cadáveres, classificando mediante exposição direta. Outros autores mais recentemente classificaram as posições dos implantes relacionando diretamente com complicações neurológicas e vasculares.³² Em casos de fratura vertebral em região torácica, com necessidade de instrumentação cirúrgica, Zdichavsky et al descreveram posicionamento de parafusos não somente em relação aos pedículos, mas também aqueles que faziam um trajeto "outside-in", conseguindo alguma fixação diretamente no corpo vertebral.³³

Para averiguação de posicionamento dos implantes, utilizamos controle tomográfico pós-operatório em cortes axiais que permitam empregar a classificação de Abul-Kasim (Figura 1) para avaliar a relação parafuso-pedículo.

Esta classificação foi escolhida por sua praticidade de não utilizar medições em milimetragem, mas somente a relação do eixo central do pedículo e de toda sua espessura em comparação da

posição das paredes corticais medial e lateral do pedículo. Para o posicionamento “CORRETO”, o parafuso deve estar totalmente inserido nos limites das paredes do pedículo ou menos de ½ da sua espessura ter violado uma das corticais; quando mais de ½ da espessura do parafuso viola a cortical medial ou lateral, respectivamente, classificamos como “PERFURAÇÃO MEDIAL GRAU I” (M1) e “PERFURAÇÃO LATERAL GRAU I” (L1); quando toda a espessura do parafuso viola a cortical medial ou lateral, respectivamente, classificamos como “PERFURAÇÃO MEDIAL GRAU II” (M2) e “PERFURAÇÃO LATERAL GRAU II” (L2).²¹

A classificação de Abul-Kasim ainda aborda perfurações anteriores do corpo vertebral e perfurações no plano sagital (perfurações pediculares inferiores e superiores). As primeiras não foram levadas em consideração neste artigo por representar muita das vezes a escolha do cirurgião em uma fixação bicortical, avançando poucos passos de rosca além da cortical anterior, e portanto não representando erro de técnica (além disso, nenhuma complicação foi averiguada tampouco revisão de parafusos por motivo dessas perfurações em questão); as segundas não foram mensuradas por menor risco clínico para o paciente e por ter na própria descrição do artigo original, uma menor concordância interobservadores.

A taxa de mau-posicionamento é descrita com números percentuais com grande diferença mediante diferentes estudos clássicos,

com variações que partem de 1,5% até mesmo 43%.^{14,15} Essa taxa avaliada pelos observadores deste trabalho variou entre 21,8% e 11%, valores dentro da média de trabalhos mais atuais, que mostram números mais concordantes, dentro de uma escala de variação que parte de 11,1% a 13,7%.³⁴⁻³⁶

CONCLUSÃO

A taxa de mau-posicionamento em todas as avaliações se mostrou compatível com estudos atuais que avaliaram, como neste estudo, tomografias de controle pós-operatórias para tal definição.

Esse estudo mostrou diferenças entre a concordância intra e interobservador na avaliação posicional dos implantes pediculares. A concordância intra-observador chegou a atingir coeficiente Kappa 0,88 (“quase perfeito”) em um dos avaliadores, mas na grande maioria das comparações interobservadores, mostrou-se entre 0,4 a 0,8, ou seja, classificados entre moderada a forte. O pior nível de concordância entre observadores apresentou coeficiente Kappa 0,379, classificado como razoável. Não houve nenhum resultado (nem intra nem interobservador) considerado “insignificante” ou “fraco”.

Todos os autores declaram não haver nenhum potencial conflito de interesses referente a este artigo.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES: Cada autor contribuiu individual e significativamente para o desenvolvimento deste artigo. CJC: redação, análise de dados, revisão e realização das cirurgias; LECTS: cirurgias, análise dos dados e redação; LEA: análise estatística, cirurgias e revisão; AGCB: realização de cirurgias e revisão; RTV: redação, revisão e conceito intelectual; MMRJ: redação, conceito intelectual; GVSF: análise estatística, revisão.

REFERÊNCIAS

- Aldebeyan S, Sinno H, Makhdom A, Ouellet JA, Saran N. The Impact of Living With Scoliosis: A Utility Outcome Score Assessment. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2017;42(2):E93-7.
- Yoshihara H. Surgical Treatment of Lenke Type 5 Adolescent Idiopathic Scoliosis: A Systematic Review. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2019;44(13):E788-99.
- Agabegi SS, Kazemi N, Sturm PF, Mehlman CT. Natural history of adolescent idiopathic scoliosis in skeletally mature patients: a critical review. *J Am Acad Orthop Surg*. 2015;23(12):714-23.
- Risser JC. Scoliosis treated by cast correction and spine fusion. *Clin Orthop Relat Res*. 1976;(116):86-94.
- Harrington PR. Treatment of scoliosis: correction and internal fixation by spine instrumentation. *J Bone Joint Surg Am*. 1962;44-A:591-610.
- Luque ER. Segmental spinal instrumentation for correction of scoliosis. *Clin Orthop Relat Res*. 1982;(163):192-8.
- Allen BL, Ferguson RL. The Galveston experience with L-rod instrumentation for adolescent idiopathic scoliosis. *Clin Orthop Relat Res*. 1988;(229):59-69.
- Roy-Camille B, Saillant G, Mazel C. Internal fixation of the lumbar spine with pedicle screw plating. *Clin Orthop Relat Res*. 1986;(203):7-17.
- 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;20(12):1399-405.
- Hamill CL, Lenke LG, Bridwell KH, Chapman MP, Blanke K, Baldus C. The use of pedicle screw fixation to improve correction in the lumbar spine of patients with idiopathic scoliosis. Is it warranted? *Spine (Phila Pa 1976)*. 1996;21(10):1241-9.
- Liljenqvist UR, Halm HF, Link TM. Pedicle screw instrumentation of the thoracic spine in idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1997;22(19):2239-45.
- Brown CA, Lenke LG, Bridwell KH, Geideman WM, Hasan SA, Blanke K. Complications of pediatric thoracolumbar and lumbar pedicle screws. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1998;23(14):1566-71.
- Holland NR. Neurophysiological Assessment of Thoracic and Cervical Pedicle Screw Integrity. *J Clin Neurophysiol*. 2012;29(6):489-92.
- Kim YJ, Lenke LG, Bridwell KH, Cho YS, Riew KD. Free hand pedicle screw placement in the thoracic spine: is it safe? *Spine (Phila Pa 1976)*. 2004;29(3):333-42.
- Belmont PJ, Klemme WR, Robinson M, Polly DH Jr. Accuracy of thoracic pedicle screws in patients with and without coronal plane spinal deformities. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2002;27(14):1558-66.
- Liljenqvist UR, Link TM, Halm HF. Morphometric analysis of thoracic and lumbar vertebrae in idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2000;25:1247-1253. PMID: 10806501.
- Brown CA, Lenke LG, Bridwell KH, Geideman WM, Hasan SA, Blanke K. Complications of pediatric thoraco-lumbar and lumbar pedicle screws. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1998;23(14):1566-71.
- Esses SI, Sachs BL, Dreyzin V. Complications associated with the technique of pedicle screw fixation: a selected survey of ABS members. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1993;18(15):2231-8.
- Lonstein JE, Denis F, Perra JH, Pinto MR, Smith MD, Winter RB. Complications associated with pedicle screws. *J Bone Joint Surg Am*. 1999;81(11):1519-28.
- Suk SI, Kim WJ, Lee SM, Kim JH, Chung ER. Thoracic pedicle screw fixation in spinal deformities: are they really safe? *Spine (Phila Pa 1976)*. 2001;26(18):2049-57.
- Abul-Kasim K, Strömbeck A, Ohlin A, Maly P, Sundgren PC. Reliability of low-radiation dose CT in the assessment of screw placement after posterior scoliosis surgery, evaluated with a new grading system. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2009;34(9):941-8.
- Samdani AF, Tantorski M, Cahill PJ, Ranade A, Koch S, Clements DH, et al. Triggered electromyography for placement of thoracic pedicle screws: is it reliable? *Eur Spine J*. 2011;20(6):869-74.
- Wagner MR, Flores JB, Sanpera I, Herrera-Sot J. Aortic Abutment After Direct Vertebral Rotation. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2011;36(3):243-7.
- Essig DA, Miller CP, Xiao M, Ivancic P, Jegede K, Badrinath R, et al. Biomechanical comparison of endplate forces generated by uniaxial screws and monoaxial pedicle screws. *Orthopedics*. 2012;35(10):e1528-32.
- Sim J, Wright CC. The kappa statistic in reliability studies: use, interpretation, and sample size requirements. *Phys Ther*. 2005;85(3):257-68.
- Barros FS, Perez JMG, Zandonade E, Salles-Cunha SX, Monedero JL, Hilel ABS, et al. Evaluation of pelvic varicose veins using color Doppler ultrasound: comparison of results obtained with ultrasound of the lower limbs, transvaginal ultrasound, and phlebography. *J Vasc Bras*. 2010;9(2):15-23.
- Fleiss JL, Cohen J. The equivalence of weighted kappa and the intraclass correlation coefficient as measures of reliability. *Educ Psychol Meas*. 1973;33(3):613-9.
- Commenges D, Jacqmin H. The intraclass correlation coefficient: distribution-free definition and test. *Biometrics*. 1994;50(2):517-26.
- Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*. 1977;33(1):159-74.
- Claiborne P, Mallios A, Taubman K. Endovascular repair of thoracic aortic injury after spinal instrumentation. *Journal of Vascular Surgery Cases*. 2015;1(4):264-7.
- Xu R, Ebraheim NA, Ou Y, Yeasting RA. Anatomic considerations of pedicle screw placement in the thoracic spine. Roy-Camille technique versus open-lamina technique. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1998;23(9):1065-8.
- Upendra BN, Meena D, Chowdhury B, Ahmad A, Jayaswal A. Outcome-Based Classification for Assessment of Thoracic Pedicular Screw Placement. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2008;33(4):384-90.
- Zdichavsky M, Blauth M, Knop C, Lotz J, Krettek C, Bastian L. Accuracy of Pedicle Screw Placement in Thoracic Spine Fractures. *Eur J Trauma*. 2004;30:241-7.
- Wang B, Lu G, Chen R, Kang Y, Li J, Chen F, et al. Accuracy of free-handed thoracic pedicle screw placement in severe idiopathic scoliosis via CT scan. *Zhong Nan Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban*. 2009;34(3):226-9.
- Min HK, Na S, Jang J. Accuracy of thoracic pedicle screw placement using freehand technique and triggered EMG in adolescent idiopathic scoliosis: Is it different between concave and convex side? *J Orthop Surg (Hong Kong)*. 2018;26(2):1-6.
- Kwan MK, Chiu C, Chan C, Zamani R, Hansen-Algenstaedt N. The use of fluoroscopic guided percutaneous pedicle screws in the upper thoracic spine (T1-T6): Is it safe? *J Orthop Surg (Hong Kong)*. 2017;25(2):1-8.