



РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ МАЛЬПОЗИЦИИ ВИНТОВ ПОСЛЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ КОРРЕКЦИИ ДЕФОРМАЦИЙ ГРУДНОГО И ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛОВ ПОЗВОНОЧНИКА

А.В. Губин, С.О. Рябых, А.В. Бурыцев

Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г.А. Илизарова, Курган

Цель исследования. Анализ количества мальпозиций винтов после инструментальной коррекции деформаций грудного и поясничного отделов позвоночника.

Материал и методы. Ретроспективный анализ данных 73 пациентов 3–58 лет с деформациями грудного и поясничного отделов позвоночника. Величина деформации по Cobb составляла 20–134° (средняя величина $61^\circ \pm 4^\circ$). В процессе коррекции деформации позвоночника установлено 1065 транспедикулярных винтов методом freehand. В послеоперационном периоде выполняли КТ-контроль положения винтов с целью выявления мальпозиций. Оценку мальпозиций осуществляли по следующей шкале: А – нет мальпозиции, В – мальпозиция до 2 мм, С – 2–4 мм, D – более 4 мм.

Результаты. Имплантирование 628 (59,0 %) транспедикулярных винтов выполнено корректно, у 437 (41 %) – выявлено смещение траектории. У 263 (24,0 %) винтов величина мальпозиции не превышала 2 мм, у 112 (10,5 %) – достигала 4 мм и определялась как пороговая величина зоны безопасности, у 62 (5,8 %) – превышала 4 мм и расценивалась как потенциально опасная с точки зрения первичного или отсроченного повреждения нервных структур и сосудов.

Заключение. Транспедикулярная фиксация является методом выбора при операционной коррекции деформаций. Ее применение сопряжено с риском возникновения нейрососудистых осложнений. Наиболее доступная и распространенная методика введения винтов freehand является достаточно безопасной, однако требует от хирурга соответствующего мастерства.

Ключевые слова: транспедикулярная фиксация, мальпозиция винтов, деформация позвоночника.

RETROSPECTIVE ANALYSIS OF SCREW MALPOSITION FOLLOWING INSTRUMENTED CORRECTION OF THORACIC AND LUMBAR SPINE DEFORMITIES

A.V. Gubin, S.O. Ryabykh, A.V. Burtsev

Objective. To analyze cases of screw malposition following instrumented correction of deformity of the thoracic and lumbar spine.

Material and Methods. Retrospective analysis of 73 patients aged 3 to 58 years with thoracic and lumbar spine deformities was performed. Deformity magnitude measured 20° to 134° by Cobb angle (mean value was $61^\circ \pm 4^\circ$). A total of 1065 screws were inserted using free-hand method for the spine deformity correction. Malposition cases were detected by postoperative CT control of screw placement. Screw malposition was graded according to the following system: A – no malposition, B – malposition less than 2 mm, C – malposition between 2 and 4 mm, and D – malposition more than 4 mm.

Results. Insertion of 628 (59.0 %) transpedicular screws was performed correctly, and trajectories of 437 (41.0 %) screws were displaced. Malposition of 263 screws (24.0 %) was less than 2 mm, in 112 screws (10.5 %) it reached a safety limit of 4 mm, and in 62 screws (5.8 %) it exceeded 4 mm and was considered as dangerous with the potential for primary or delayed injury of neural structures and vessels.

Conclusion. Transpedicular fixation is a method of choice for surgical correction of spine deformity. Its application is associated with a risk of neurovascular complications. The most common and available free-hand screw insertion technique is safe enough, though requires appropriate surgical skill.

Key Words: transpedicular fixation, screw malposition, spine deformity.

Для цитирования: Губин А.В., Рябых С.О., Бурыцев А.В. Ретроспективный анализ мальпозиции винтов после инструментальной коррекции деформаций грудного и поясничного отделов позвоночника // Хирургия позвоночника. 2015. Т. 12. № 1. С. 8–13.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2015.1.8-13>.

Please cite this paper as: Gubin AV, Ryabykh SO, Burtsev AV. Retrospective analysis of screw malposition following instrumented correction of thoracic and lumbar spine deformities. Hir. Pozvonoc. 2015;12(1):8–13. In Russian.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2015.1.8-13>.

В настоящее время оперативная коррекция большинства деформаций позвоночника осуществляется из дорсального доступа с применением многоопорных систем фиксации. Наиболее надежными являются транспедикулярные системы, требующие точной установки винтов в тела позвонков через корни дужек. Транспедикулярная фиксация позволяет выполнять трехплоскостную коррекцию деформаций с фиксацией трех колонн позвоночника, сохраняя максимальное количество позвоночно-двигательных сегментов [1, 6, 7, 11, 14, 15, 25, 30]. Несмотря на очевидные преимущества транспедикулярной фиксации, ее широкое распространение ограничено риском неврологических и сосудистых осложнений из-за мальпозиции винтов [7, 14, 36, 40, 43, 46].

Цель исследования – анализ количества мальпозиций винтов после инструментальной коррекции деформаций грудного и поясничного отделов позвоночника.

Материал и методы

Проведен ретроспективный анализ данных 73 пациентов в возрасте от 3 до 58 лет с деформациями грудного и поясничного отделов позвоночника. Идиопатический сколиоз диагностирован у 46 (63,0 %) из них, врожденный сколиоз – у 13 (17,8 %), системные деформации – у 6 (8,2 %), нейромышечный сколиоз – у 5 (6,9 %), болезнь Шейерманна – у 3 (4,1 %). Величина деформации по Cobb составляла 20–134° (в среднем 61° ± 4°). В зависи-

ости от величины деформации пациентов разделили на три группы:

1) деформация от 20 до 40° – 25 (34 %) пациентов;

2) деформация от 41° до 90° – 40 (55 %) пациентов;

3) деформация более 90° – 8 (11 %) пациентов.

Подобное разделение обусловлено следующими причинами: 40° – порог биомеханической компенсации, при преодолении которого неуклонно происходит прогрессирование деформации [47]; 90° – величина перехода тяжелой деформации в крайне тяжелую, при которой существенно возрастают риски интраоперационных (в том числе и мальпозиций) и послеоперационных осложнений [18].

В процессе коррекции деформации позвоночника у 73 пациентов установили 1065 транспедикулярных винтов. Всем пациентам введение транспедикулярных винтов осуществляли методом freehand (свободная рука) по Lenke [7, 27]. В послеоперационном периоде всем больным, вне зависимости от жалоб, выполняли МСКТ-контроль положения винтов с целью выявления мальпозиций. Оценка мальпозиций осуществляли по следующей шкале: А – нет мальпозиции, В – мальпозиция до 2 мм, С – 2–4 мм, D – более 4 мм [14, 29].

Результаты и их обсуждение

Имплантирование 628 (59,0 %) транспедикулярных винтов выполнено корректно, 437 (41,0 %) – со смещением траектории. Следует отметить, что при установке 263 (24,7 %) винтов величина

на мальпозиции не превышала 2 мм, 112 (10,5 %) – достигала 4 мм и определялась как пороговая величина зоны безопасности по Amiot и Vaccaro [3, 7]. Величина мальпозиции 62 (5,8 %) винтов превышала 4 мм и расценивалась как потенциально опасная с точки зрения первичного или отсроченного повреждения невральных структур и сосудов [2, 7, 14, 46] (табл.). Наибольшее количество мальпозиций отмечали в грудном отделе позвоночника – 334 (76,4 %) винта, в поясничном – 103 (23,6 %) винта.

При определении зависимости количества мальпозиций от величины деформации выявлено, что распределение количества корректно введенных винтов (тип А) существенно не отличалось в трех выделенных группах (от 20° до 40°; от 41° до 90°; более 90°). При этом величина несущественных мальпозиций (тип В) в группе 1 составляла 25,5 %, в группе 2 – 25,3 %, в группе 3 – 19,9 %, что свидетельствовало об их снижении у пациентов с тяжелыми деформациями. В то же время соотношение более значимых (тип С) и недопустимых (тип D) мальпозиций возрастало с увеличением угла деформации (с 8,6 до 13,2 % для типа С, с 4,7 до 6,6 % – для типа D) (рис.; табл.).

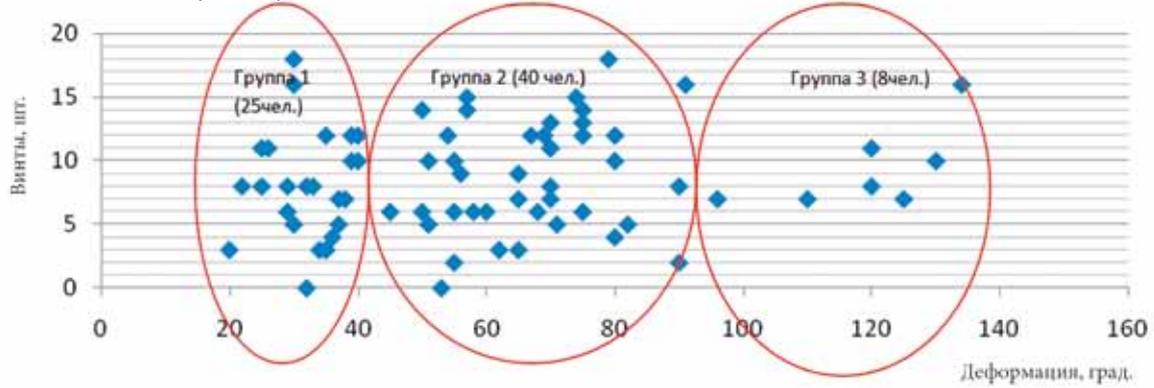
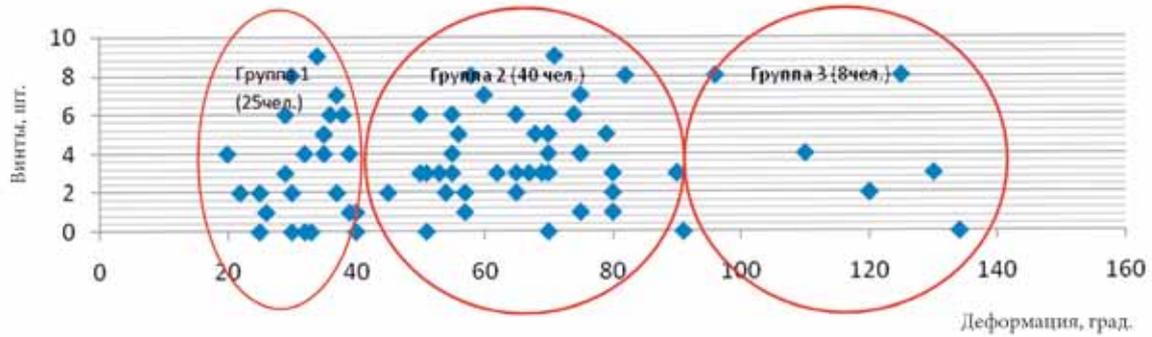
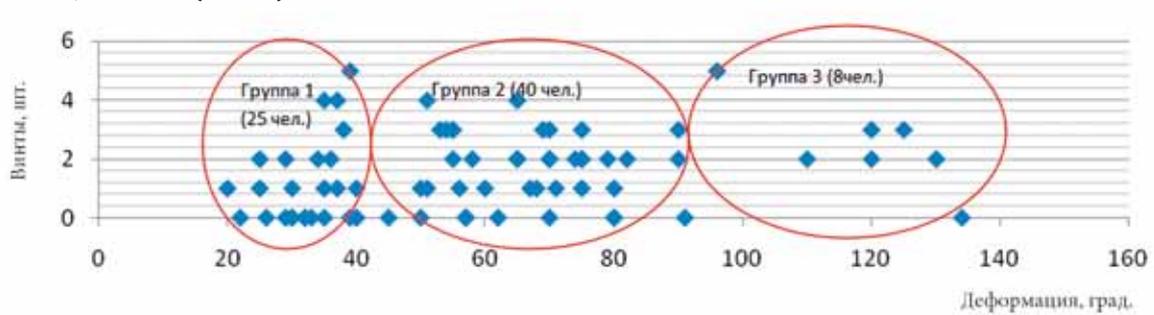
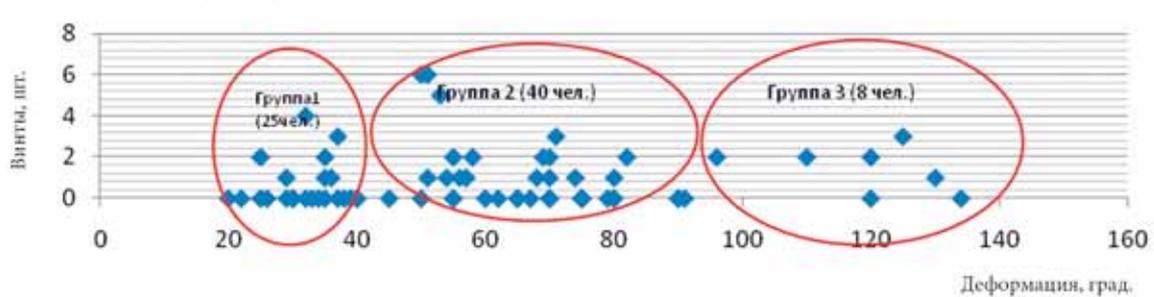
Статистически доказанной корреляции между возрастными особенностями, этиологией деформаций, опытом хирурга и величиной мальпозиций не найдено. Неврологических осложнений, обусловленных мальпозицией винтов, не было.

По многочисленным литературным данным, величина мальпози-

Таблица

Соотношение типа мальпозиции винтов и величины деформаций по Cobb, n (%)

Тип мальпозиции	Деформация 20–40°	Деформация 40–90°	Деформация более 90°	Всего винтов
	25 чел.	40 чел.	8 чел.	
А	199 (61,2)	347 (57,5)	82 (60,3)	628 (59,0)
В	83 (25,5)	153 (25,3)	27 (19,9)	263 (24,7)
С	28 (8,6)	66 (10,9)	18 (13,2)	112 (10,5)
Д	15 (4,7)	38 (6,3)	9 (6,6)	62 (5,8)
Всего винтов	325	604	136	1065

Мальпозиции типа А (n = 628)**Мальпозиции типа В (n = 263)****Мальпозиции типа С (n = 112)****Мальпозиции типа D (n = 62)****Рис.**

Соотношение количества мальпозиций винтов и величины деформации

ций винтов в грудном и поясничном отделах при коррекции деформаций позвоночника составляет от 1 до 58 % в случаях использования методики freehand [2–10, 12, 15–17, 20, 21, 24, 25, 29, 30, 33, 35, 39, 41, 42, 44]. При этом у детей до 10 лет величина некорректно установленных винтов не превышает 1 % [16]. По сообщению Kuklo et al. [22], при коррекции сколиотических деформаций более 90° 96,3 % винтов, установленных методом freehand, имели корректное положение. По другим данным [29], количество мальпозиций в грудном отделе достигает 31,6 %, в поясничном – 10,6 %. До 48,0 % мальпозиций в грудном отделе приходится на уровень Th₁–Th₆, что обусловлено меньшим диаметром ножек позвонков [6]. Около 56 % некорректно установленных винтов располагается на вогнутой стороне деформации [2], что можно объяснить структурной дисплазией дужек и апикальной торсией. При этом у 81–86 % винтов мальпозиция не достигает 2 мм [3, 29], у 68 % – не превышает 4 мм [44].

По литературным данным, медиальная мальпозиция до 4 мм не приводит к неврологическим повреждениям, так как соответствует так называемой зоне безопасности (safe zone). Это правило наиболее применимо для грудного отдела, где 2 мм приходится на эпидуральное пространство, 2 мм – на субарахноидальное. Поэтому не возникает непосредственной компрессии спинного мозга [2, 7]. Существуют данные, что интраканальная мальпозиция в грудном отделе с перекрытием канала до 50 % в ряде случаев не сопровождается неврологическими повреждениями. Однако подобное положение винта признается недопустимым и требует перепроведения [2, 26]. При этом менее чем в 7 % случаев возникают неврологические осложнения [2, 10]. Уровень реопераций из-за некорректного положения винтов при введении методом свободной руки достигает 7 % [3]. Установка винтов при ревизионных операциях сопряжена с более высоким риском мальпозиций. Применение

ЭМГ в качестве контроля при введении винтов признано ненадежным, так как обладает низкой чувствительностью, особенно на уровне Th₂–Th₉ [8, 31]. Однако использование детальной визуализации задних структур и точек имплантации в сочетании с методом freehand под ЭМГ-контролем повышает точность установки винтов до 98 % [19]. Достаточно надежным способом формирования корректного транспедикулярного канала является развертка «PediGuard» (ECD), принцип действия которой основан на импедансометрии, что существенно снижает риск опасных мальпозиций [28].

Опыт и мастерство хирурга являются наиболее важными переменными для количества мальпозиций [7]. Так, у молодого хирурга уровень мальпозиций при коррекции деформаций может достигать 50 %, а у опытного не превышает 29 %. При этом количество опасных мальпозиций существенно выше у молодого хирурга, чем у врача с опытом работы 5 лет и более [12, 30]. Для уменьшения величины мальпозиций требуется опыт введения не менее 60 винтов, при условии, что молодой хирург хорошо владеет методикой введения винтов в позвонки с нормальной анатомией [30]. По другим данным, необходимо установить 80 транспедикулярных винтов, чтобы существенно минимизировать риск мальпозиций [13]. Некоторые авторы рекомендуют проводить с молодыми хирургами занятия по введению винтов на трупах, отмечая, что после четырех занятий уровень мальпозиций сокращается до величины, сопоставимой с той, которая бывает у опытных врачей [5]. Наибольшую осторожность следует проявлять при введении винтов в грудном отделе позвоночника. В затруднительных случаях следует прибегать к мини-ламинотомии с целью лучшей визуализации ножек позвонков или к проведению через поперечный отросток [9].

Наиболее уязвимыми зонами для повреждения винтами в грудном отделе является вогнутая сторона деформации [7]. Проанализировав анатомическое строение ножек позвонков в грудном отделе у 53 пациентов со сколиозом, авторы разделили их на четыре типа, в зависимости от костного канала ножки позвонка. При типе А (61 %) ножка имеет большой канал из губчатой кости, при типе В (29 %) – ножка с малым губчатым каналом, при типе С (7 %) – кортикальный канал, при типе D (3 %) – нет канала. На выпуклой стороне деформации типы А и В обнаружены в 98,2 % случаев, на вогнутой – в 81,5 % [45].

Точность введения винтов повышается при использовании для предоперационного планирования МСКТ с 3D-моделированием, что позволяет более точно спланировать точки введения винтов. Ее использование при груднопоясничных деформациях 42–78° повышает точность введения винтов до 94,1 % против 84,5 % без использования МСКТ с 3D [34]. Навигационная система позволяет избежать мальпозиций даже при ротации до 20° [38]. По сравнению с обычными методиками, применение навигационных систем позволяет снизить величину мальпозиций. При этом использование КТ-навигации предпочтительнее флюоронавигации [37], уровень мальпозиций типов В и С достигает не более 5 %, без необходимости повторных оперативных вмешательств [3]. Применение КТ-навигации повышает точность введения винтов у детей до 96,4 %, у взрослых – до 98,2 % [23]. Выявлено, что при использовании навигации 95,2 % винтов (из 37 337 установленных) расположены корректно, без использования навигации – 90,3 % [20]. По другим данным, величина корректно установленных винтов с применением навигационного оборудования составляет 74,0 %, при методе freehand всего 42,0 %. Уровень опасных мальпозиций с использованием навигатора 3,0 %, без навигатора – 9,0 %. Риск возникновения потенциально опасных мальпозиций в 3,8 раза выше при использовании методики freehand, а медиальных – в 7,6 раза [39]. По другим данным,

основанным на анализе 5992 винтов, применение навигации не показало статистически значимой выгоды с точки зрения профилактики нейрососудистых осложнений. Величина некорректно установленных с навигатором винтов достигает 39,8 % [42]. Интраоперационное использование дуги «O-arm» увеличивает точность введения винтов до 97,5 %, при этом в 2,5 % отмечалась мальпозиция, в 1,8 % она требовала повторного оперативного вмешательства [41]. Кроме того, метод обладает высоким коэффициентом внутриэкспертного и межэкспертного соглашения [32].

Заключение

Транспедикулярная фиксация является методом выбора оперативной коррекции деформаций. Однако ее применение сопряжено с риском возникновения нейрососудистых осложнений. Наиболее доступная и распространенная методика введения винтов freehand является достаточно безопасной, однако требует от хирурга соответствующего мастерства. Появление навигационного оборудования существенным образом не повлияло на уменьшение количества мальпозиций при деформациях, большинство из которых являются несущественными. Интраоперационное

использование «O-arm» не может гарантировать 100 % уверенности в корректности установки винтов. Авторы данной публикации придерживаются мнения об эффективности и безопасности применения методики freehand для установки винтов в грудном и поясничном отделах при различных видах многоплоскостных деформаций. Однако ее пропаганда не является конкретной целью данной публикации. При этом мы убеждены, что транспедикулярная коррекция и стабилизация являются методом выбора при лечении деформаций позвоночника, так как позволяют успешно выполнять многоплоскостную коррекцию.

Литература/References

1. **Рябых С.О., Савин Д.М., Медведева С.Н. и др.** Опыт лечения нейрогенных деформаций позвоночника // Гений ортопедии. 2013. № 1. С. 87–92. [Riabykh SO, Savin DM, Medvedeva SN, et al. The experience in treatment of the spine neurogenic deformities. Genij Ortopedii. 2013;(1):87–92. In Russian].
2. **Abul-Kasim K, Ohlin A, Strombeck A, et al.** Radiological and clinical outcome of screw placement in adolescent idiopathic scoliosis: evaluation with low-dose computed tomography. *Eur Spine J.* 2010;19:96–104. doi: 10.1007/s00586-009-1203-6.
3. **Amiot LP, Lang K, Putzier M, et al.** Comparative results between conventional and computer-assisted pedicle screw installation in the thoracic, lumbar, and sacral spine. *Spine.* 2000;25:606–614.
4. **Belmont PJ Jr, Klemme WR, Dhawan A, et al.** In vivo accuracy of thoracic pedicle screws. *Spine.* 2001;26:2340–2346.
5. **Bergeson RK, Schwend RM, DeLucia T, et al.** How accurately do novice surgeons place thoracic pedicle screws with the free-hand technique? *Spine.* 2008;33:E501–E507. doi: 10.1097/BRS.0b013e31817b61af.
6. **Chan CY, Kwan MK, Saw LB.** Safety of thoracic pedicle screw application using the funnel technique in Asians: a cadaveric evaluation. *Eur Spine J.* 2010;19:78–84. doi: 10.1007/s00586-009-1157-8.
7. *Complications of Pediatric and Adult Spinal Surgery*, ed. by Vaccaro AR, Regan JJ, Crawford AH, et al. N. Y., 2004.
8. **De Blas G, Barrios C, Regidor I, et al.** Safe pedicle screw placement in thoracic scoliotic curves using t-EMG: stimulation threshold variability at concavity and convexity in apex segments. *Spine.* 2012;37:E387–E395. doi: 10.1097/BRS.0b013e31823b077b.
9. **Di Silvestre M, Parisini P, Lolli F, et al.** Complications of thoracic pedicle screws in scoliosis treatment. *Spine.* 2007;32:1655–1661.
10. **Erkan S, Hsu B, Wu C, et al.** Alignment of pedicle screws with pilot holes: can tapping improve screw trajectory in thoracic spines? *Eur Spine J.* 2010;19:71–77. doi: 10.1007/s00586-009-1063-0.
11. **Gaines RW Jr.** The use of pedicle-screw internal fixation for the operative treatment of spinal disorders. *J Bone Joint Surg Am.* 2000;82:1458–1476.
12. **Gang C, Haibo L, Fancal L, et al.** Learning curve of thoracic pedicle screw placement using the free-hand technique in scoliosis: how many screws needed for an apprentice? *Eur Spine J.* 2012;21:1151–1156. doi: 10.1007/s00586-011-2065-2.
13. **Gonzalvo A, Fitt G, Liew S, et al.** The learning curve of pedicle screw placement: how many screws are enough? *Spine.* 2009;34:E761–E765. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181b2f928.
14. **Haid RW Jr, Subach BR, Rodts GE Jr, eds.** *Advances in Spinal Stabilization.* Prog Neurol Surg. Basel, Karger, 2003.
15. **Halm H, Niemeyer T, Link T, et al.** Segmental pedicle screw instrumentation in idiopathic thoracolumbar and lumbar scoliosis. *Eur Spine J.* 2000;9:191–197.
16. **Harimaya K, Lenke LG, Son-Hing JP, et al.** Safety and accuracy of pedicle screws and constructs placed in infantile and juvenile patients. *Spine.* 2011;36:1645–1651. doi: 10.1097/BRS.0b013e318225b8f9.
17. **Hicks JM, Singla A, Shen FH, et al.** Complications of pedicle screw fixation in scoliosis surgery: a systematic review. *Spine.* 2010;35:E465–E470. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181d1021a.
18. **James JJ.** Idiopathic scoliosis; the prognosis, diagnosis, and operative indications related to curve patterns and the age at onset. *J Bone Joint Surg Br.* 1954;36:36–49.
19. **Kim YW, Lenke LG, Kim YJ, et al.** Free-hand pedicle screw placement during revision spinal surgery: analysis of 552 screws. *Spine.* 2008;33:1141–1148. doi: 10.1097/BRS.0b013e31816f28a1.
20. **Kosmopoulos V, Schizas C.** Pedicle screw placement accuracy: a meta-analysis. *Spine.* 2007;32:E111–E120.
21. **Kotani Y, Abumi K, Ito M, et al.** Accuracy analysis of pedicle screw placement in posterior scoliosis surgery: comparison between conventional fluoroscopic and computer-assisted technique. *Spine.* 2007;32:1543–1550.
22. **Kuklo TR, Lenke LG, O'Brien MF, et al.** Accuracy and efficacy of thoracic pedicle screws in curves more than 90 degrees. *Spine.* 2005;30:222–226.
23. **Larson AN, Santos ER, Polly DW Jr, et al.** Pediatric pedicle screw placement using intraoperative computed tomography and 3-dimensional image-guided navigation. *Spine.* 2012;37:E188–E194. doi: 10.1097/BRS.0b013e31822a2e0a.
24. **Lehman RA Jr, Lenke LG, Keeler KA, et al.** Computed tomography evaluation of pedicle screws placed in the pediatric deformed spine over an 8-year period. *Spine.* 2007;32:2679–2684.
25. **Li G, Lv G, Passias P, et al.** Complications associated with thoracic pedicle screws in spinal deformity. *Eur Spine J.* 2010;19:1576–1584. doi: 10.1007/s00586-010-1316-y.
26. **Mac-Thiong JM, Parent S, Poitras B, et al.** Neurological outcome and management of pedicle screws

- misplaced totally within the spinal canal. *Spine*. 2013; 38:229–237. doi: 10.1097/BRS.0b013e31826980a9.
27. **O'Brien MF, Lenke LG, Mardjetko S, et al.** Pedicle morphology in thoracic adolescent idiopathic scoliosis: is pedicle fixation an anatomically viable technique? *Spine*. 2000;25:2285–2293.
 28. **Ovadia D, Korn A, Fishkin M, et al.** The contribution of an electronic conductivity device to the safety of pedicle screw insertion in scoliosis surgery. *Spine*. 2011;36: E1314–E1321. doi: 10.1097/BRS.0b013e31822a82ec.
 29. **Rampersaud YR, Pik JH, Salonen D, et al.** Clinical accuracy of fluoroscopic computer-assisted pedicle screw fixation: a CT analysis. *Spine*. 2005;30: E183–E190.
 30. **Samdani AF, Ranade A, Sciubba DM, et al.** Accuracy of free-hand placement of thoracic pedicle screws in adolescent idiopathic scoliosis: how much of a difference does surgeon experience make? *Eur Spine J*. 2010;19:91–95. doi: 10.1007/s00586-009-1183-6.
 31. **Samdani AF, Tantorski M, Cahill PJ, et al.** Triggered electromyography for placement of thoracic pedicle screws: is it reliable? *Eur Spine J*. 2011;20:869–874. doi: 10.1007/s00586-010-1653-x.
 32. **Santos ER, Ledonio CG, Castro CA, et al.** The accuracy of intraoperative O-arm images for the assessment of pedicle screw position. *Spine*. 2012;37: E119–E125. doi: 10.1097/BRS.0b013e3182257cae.
 33. **Schulze CJ, Munzinger E, Weber U, et al.** Clinical relevance of accuracy of pedicle screw placement. A computed tomographic-supported analysis. *Spine*. 1998;23:2215–2221.
 34. **Su P, Zhang W, Peng Y, et al.** Use of computed tomographic reconstruction to establish the ideal entry point for pedicle screws in idiopathic scoliosis. *Eur Spine J*. 2012;21:23–30. doi: 10.1007/s00586-011-1962-8.
 35. **Suk SI, Kim JH, Kim SS, et al.** Pedicle screw instrumentation in adolescent idiopathic scoliosis (AIS). *Eur Spine J*. 2012;21:13–22. doi: 10.1007/s00586-011-1986-0.
 36. **The Adult and Pediatric Spine, ed.** by Frymoyer JW, Wiesel SW., 3rd ed. Philadelphia, 2004.
 37. **Tian NF, Huang QS, Zhou P, et al.** Pedicle screw insertion accuracy with different assisted methods: a systematic review and meta-analysis of comparative studies. *Eur Spine J*. 2011;20:846–859. doi: 10.1007/s00586-010-1577-5.
 38. **Tian W, Lang Z.** Placement of pedicle screws using three-dimensional fluoroscopy-based navigation in lumbar vertebrae with axial rotation. *Eur Spine J*. 2010;19:1928–1935. doi: 10.1007/s00586-010-1564-x.
 39. **Ughwanogho E, Patel NM, Baldwin KD, et al.** Computed tomography-guided navigation of thoracic pedicle screws for adolescent idiopathic scoliosis results in more accurate placement and less screw removal. *Spine*. 2012;37: E473–E478. doi: 10.1097/BRS.0b013e318238bbd9.
 40. **Upendra BN, Meena D, Chowdhury B, et al.** Outcome-based classification for assessment of thoracic pedicular screw placement. *Spine*. 2008;33:384–390. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181646ba1.
 41. **Van de Kelft E, Costa F, Van der Planken D, et al.** A prospective multicenter registry on the accuracy of pedicle screw placement in the thoracic, lumbar, and sacral levels with the use of the O-arm imaging system and StealthStation Navigation. *Spine*. 2012;37: E1580–E1587. doi: 10.1097/BRS.0b013e318271b1fa.
 42. **Verma R, Krishan S, Haendlmayer K, et al.** Functional outcome of computer-assisted spinal pedicle screw placement: a systematic review and meta-analysis of 23 studies including 5,992 pedicle screws. *Eur Spine J*. 2010;19:370–375. doi: 10.1007/s00586-009-1258-4.
 43. **Wagner MR, Flores JB, Sanpera I, et al.** Aortic abutment after direct vertebral rotation: plowing of pedicle screws. *Spine*. 2011;36:243–247. doi: 10.1097/BRS.0b013e31820107d0.
 44. **Wang VY, Chin CT, Lu DC, et al.** Free-hand thoracic pedicle screws placed by neurosurgery residents: a CT analysis. *Eur Spine J*. 2010;19:821–827. doi: 10.1007/s00586-010-1293-1.
 45. **Watanabe K, Lenke LG, Matsumoto M, et al.** A novel pedicle channel classification describing osseous anatomy: how many thoracic scoliotic pedicles have cancellous channels? *Spine*. 2010;35:1836–1842. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181d3cfde.
 46. **Watanabe K, Yamazaki A, Hirano T, et al.** Descending aortic injury by a thoracic pedicle screw during posterior reconstructive surgery: a case report. *Spine*. 2010;35: E1064–E1068. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181ed29c1.
 47. **White AA, Panjabi MM.** *Clinical Biomechanics of the Spine*. 2nd ed. Philadelphia, 1990.

Адрес для переписки:

Губин Александр Вадимович
640014, Курган, ул. М. Ульяновой, 6,
ФНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова»,
Alexander@gubin.spb.ru

Address correspondence to:

Gubin Aleksandr Vadimovich
Russian Ilizarov Scientific Center for
Restorative Traumatology and Orthopaedics,
M. Ulyanovoj str., 6,
Kurgan 640014, Russia,
Alexander@gubin.spb.ru

Статья поступила в редакцию 13.12.2013

Александр Вадимович Губин, д-р мед. наук; Сергей Олегович Рябых, д-р мед. наук; Александр Владимирович Бурцев, канд. мед. наук, Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г.А. Илизарова, Курган.
Aleksandr Vadimovich Gubin, MD, DMSc; Sergey Olegovich Ryabikh, MD, DMSc; Aleksandr Vladimirovich Burtsev, MD, PhD, Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan.