



# КОРРЕКЦИЯ ИДИОПАТИЧЕСКОГО СКОЛИОЗА У ДЕТЕЙ ПОД КОНТРОЛЕМ 3D-КТ-НАВИГАЦИИ

С.В. Виссарионов, А.П. Дроздецкий, Д.Н. Кокушин, С.М. Белянчиков

Научно-исследовательский детский ортопедический институт им. Г.И. Турнера, Санкт-Петербург

**Цель исследования.** Анализ результатов хирургической коррекции идиопатического сколиоза грудной локализации у детей с применением системы активной оптической 3D-КТ-навигации и предоперационных КТ-изображений с регистрацией по анатомическим ориентирам.

**Материал и методы.** Прооперированы 18 пациентов 15–17 лет (14 девочек и 4 мальчика) с идиопатическим сколиозом грудной локализации. Величина основной дуги искривления варьировала от 55 до 90° по Cobb. Операцию выполняли из дорсального доступа на фоне гало-тибиального вытяжения с использованием многоопорной металлоконструкции с транспедикулярными опорными элементами. Каналы для опорных элементов конструкции формировали под контролем 3D-компьютерной навигации согласно предоперационному планированию.

**Результаты.** Протяженность фиксации при грудном типе деформации варьировала от Th<sub>2</sub> до L<sub>4</sub> (от 10 до 13 позвонков). Количество транспедикулярных опорных элементов на одного пациента — от 19 до 26 (в среднем по 24 винта). Установлено 429 винтов 18 пациентам: 305 — в грудном, 124 — в поясничном отделе позвоночника. Послеоперационная коррекция деформации во фронтальной плоскости 92–99 %, деротационная коррекция апикального позвонка 72–94 %.

**Заключение.** Интраоперационная оптическая 3D-КТ-навигация с обработкой предоперационных КТ-изображений и регистрацией по анатомическим ориентирам обеспечивает корректность и правильность установки транспедикулярных винтов, что позволяет использовать данный вид корригирующих конструкций даже при тяжелых деформациях в грудном отделе позвоночника.

**Ключевые слова:** 3D-компьютерная навигация, сколиоз, дети, хирургическое лечение.

CORRECTION OF IDIOPATHIC SCOLIOSIS UNDER 3D-CT NAVIGATION IN CHILDREN

S.V. Vissarionov, A.P. Drozdetsky, D.N. Kokushin, S.M. Belyanчиков

**Objective.** To analyze results of surgical correction of thoracic idiopathic scoliosis in children using the system of active optical 3D-CT navigation and preoperative CT images with anatomical landmark-based registration.

**Material and Methods.** Eighteen patients aged 15 to 17 years (14 girls and 4 boys) with thoracic idiopathic scoliosis were operated on. The Cobb angle of the primary curvature ranged from 55 to 90 degrees. The surgery was performed through a posterior approach with simultaneous halo-tibial traction using multi-anchoring metal device with pedicle screws. Canals for screw insertion were formed under 3D-CT navigation control in accordance with preoperative planning.

**Results.** The extension of fixation for thoracic type of deformity varied between 10 and 13 vertebrae (from T2 to L4). The number of pedicle screws per patient ranged from 19 to 26 (average 24 screws). Thus, 429 screws were placed in 18 patients: 305 in thoracic spine and 124 in the lumbar spine. Postoperative correction of the coronal plane deformity ranged from 92 % to 99 %, and derotational correction of the apical vertebra — from 72 % to 94 %.

**Conclusion.** Intraoperative optical 3D-CT navigation with the processing of preoperative CT images and registration based on anatomical landmarks ensures the accuracy of pedicle screws placement, which allows using this type of correction devices even for severe thoracic deformities.

**Key Words.** 3D-computer navigation, scoliosis, children, surgical treatment.

Hir. Pozvonoc. 2012;(2):30–36.

Основной задачей хирургического лечения детей с идиопатическим сколиозом является восстановление или улучшение баланса туловища путем коррекции имеющейся деформации позвоночника и надежной стабилизации достигнутого результата

при помощи многоопорной металлоконструкции. Наиболее эффективными спинальными системами, используемыми при исправлении деформации позвоночника у детей, считаются имплантаты с транспедикулярными опорными элементами, спо-

собными оказывать корригирующее воздействие на все три колонны позвоночного столба и обеспечивать стабильную фиксацию на протяжении длительного периода после хирургического вмешательства [2, 3, 5, 6]. Сама процедура проведения и установки

транспедикулярных винтов, особенно в верхнегрудном и среднегрудном отделах позвоночника, достаточно сложна и сопряжена с риском развития различных осложнений [2, 4, 7]. Особенно следует отметить технические трудности введения транспедикулярных опорных элементов в тела позвонков при сколиотической деформации в результате многоплоскостных изменений анатомии позвоночника [5–7, 11, 12].

Использование навигационных систем при лечении пациентов с патологией позвоночника [3, 8] облегчает процедуру и обеспечивает точность проведения транспедикулярных винтов в тела позвонков. Применение 3D-навигации, согласно данным разных авторов [9–11], позволяет добиться максимально точной установки транспедикулярных винтов, что особенно актуально при оперативной коррекции тяжелых сколиотических и кифосколиотических деформаций.

Цель исследования – анализ результатов хирургической коррекции идиопатического сколиоза грудной локализации у детей с применением системы активной оптической 3D-КТ-навигации и предоперационных КТ-изображений с регистрацией по анатомическим ориентирам [1].

### Материал и методы

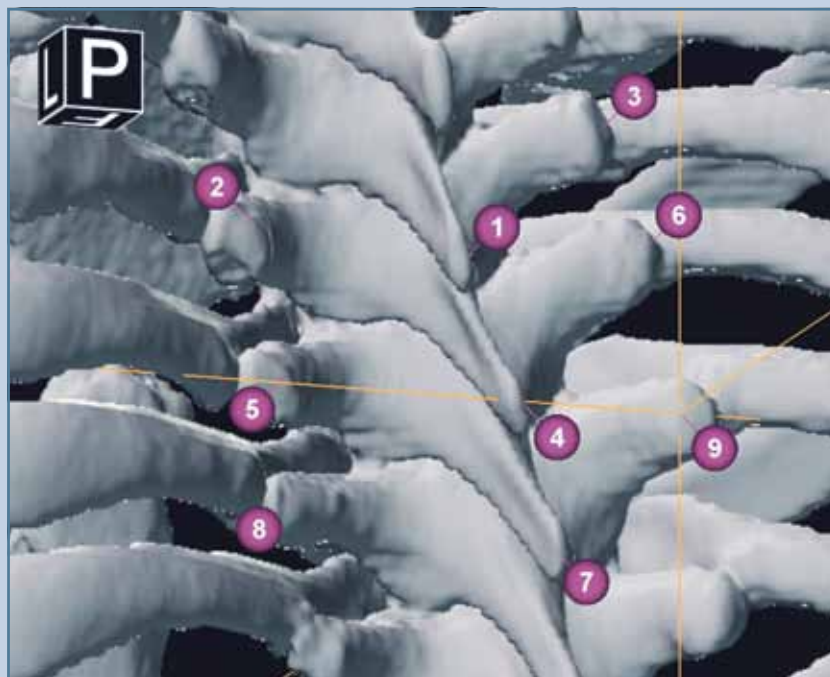
Под наблюдением находились 18 пациентов 15–17 лет (14 девушек и 4 юноши) с идиопатическим сколиозом грудной локализации (с правосторонним типом деформации). Величина основной дуги искривления варьировала от 55 до 90° по Cobb.

Всем пациентам выполняли стандартное предоперационное обследование. Рентгенографию позвоночника осуществляли в переднезадней и боковой проекциях в положении пациента стоя и лежа. Для определения функциональной мобильности деформированного отдела и планирования протяженности зоны инструментальной фиксации позвоночника выполняли функциональные спондилограммы с наклоном вправо и влево.

МРТ позвоночника и спинного мозга осуществляли для оценки состояния позвоночного канала, спинного мозга и его элементов, взаимоотношения интраканальных и паравертебральных мягкотканых структур. Состояние костных структур и анатомических изменений позвонков оценивали по КТ. С целью максимального приближения положения на операционном столе КТ выполняли в положении пациента лежа на животе. КТ-сканы делали на уровне от Th<sub>1</sub> до S<sub>1</sub> позвонка с толщиной среза 1 мм. Данные КТ импортировали при помощи носителя в планирующую систему навигации, оснащенную программным обеспечением «SpineMap 3D». После этого проводили планирование референтных точек (для регистрации по анатомическим ориентирам) и предоперационное планирование оптимальной траектории транспедикулярных опорных элементов на протяжении зоны фиксации (рис. 1). Измеряли верти-

кальный и горизонтальный размеры ножек дуг позвонков, углы ротации позвонков на вершине деформации, определяли размеры винтов и углы их конвергенции при проведении для каждого инструментируемого позвонка (рис. 2).

Операцию выполняли из дорсального доступа на фоне гало-тибиального вытяжения с использованием многоопорной металлоконструкции с транспедикулярными опорными элементами. При планировании в качестве референтных точек в грудном отделе позвоночника использовали остистый и поперечные отростки регистрируемого позвонка и остистый отросток вышележащего позвонка. В поясничном отделе в качестве точек для регистрации выбирали остистый отросток планируемого позвонка, середину дугоотростчатого сустава между регистрируемым и вышележащим позвонками с обеих сторон, остистый отросток вышележащего



**Рис. 1**

Планирование референтных точек для регистрации по анатомическим ориентирам

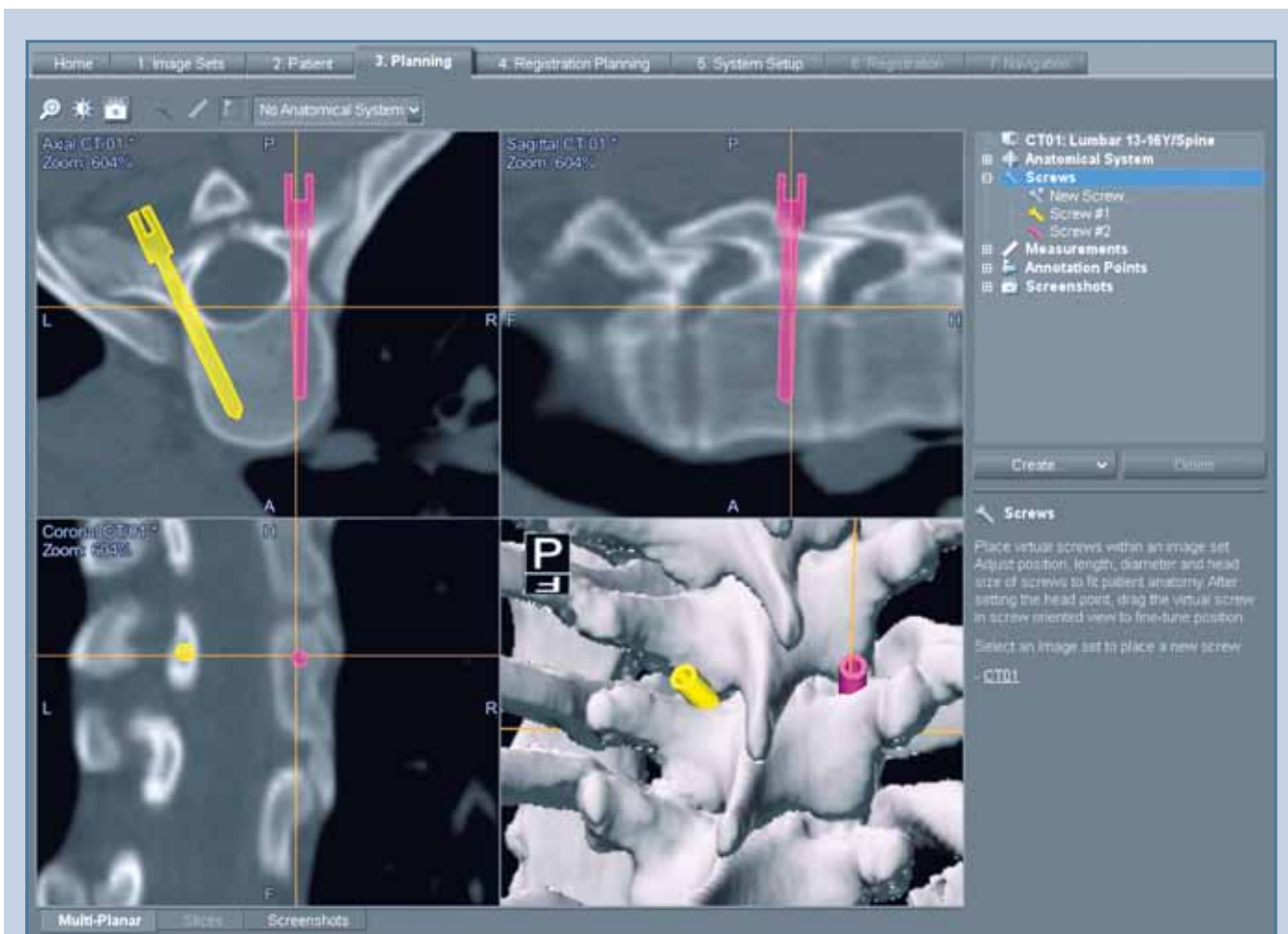


Рис. 2

Предоперационное планирование оптимальной траектории транспедикулярных опорных элементов и их размеров на протяжении зоны фиксации

позвонок. Предоперационное планирование в грудном отделе позвоночника проводили на всех позвонках, подлежащих инструментации. Среднеквадратичная погрешность при регистрации варьировала от 0,8 до 1,4 мм для поясничного и нижнегрудного отделов позвоночника. При работе на вершине сколиотической дуги деформации и в верхнегрудном отделе добивались минимальной погрешности путем регистрации референтных точек на каждом позвонке и дополнительной регистрации по поверхности задних костных опорных структур. При таком варианте среднеквадратичная погрешность варьи-

ровала от 0,3 до 0,5 мм. Обязательно перед формированием костных каналов для транспедикулярных винтов на каждом позвонке проверяли точность регистрации по различным анатомическим ориентирам (остистым и поперечным отросткам, предполагаемым точкам введения винтов, суставным щелям межпозвоночных суставов). Каналы для опорных элементов конструкции формировали под контролем 3D-компьютерной навигации согласно предоперационному планированию.

После создания костных каналов в телах позвонков устанавливали рентгеноконтрастные метки и выполняли рентгенограммы позвоночника в пря-

мой и боковой проекциях с целью дополнительного контроля. В тела позвонков на протяжении дуги деформации устанавливали по два транспедикулярных винта и осуществляли гало-тибиальное вытяжение. С вогнутой стороны деформации в опорные элементы металлоконструкции укладывали стержень, изогнутый по физиологическому сагиттальному профилю позвоночника. На вершину деформации в грудном отделе на выпуклой и вогнутой сторонах деформации с опорой на транспедикулярные винты устанавливали систему VCM для выполнения истинного деротационного маневра позвонков.

Одновременно осуществляли поворот стержня на 90° и истинный деротационный маневр в грудном отделе при помощи системы VCM в противоположную сторону. После этой манипуляции выполняли сегментарную коррекцию деформации с учетом дистракции по вогнутой стороне. Затем укладывали стержень, изогнутый по физиологическим изгибам позвоночника, с противоположной стороны и осуществляли сегментарную компрессию. Завершали оперативное вмешательство стабилизацией металлоконструкции в сочетании с задним спондилодезом аутокостью из резецированных остистых, поперечных и суставных отростков вдоль

спинального имплантата. В послеоперационном периоде осуществляли контрольную рентгенографию и КТ позвоночника для оценки точности и правильности установки транспедикулярных винтов, коррекции угла сколиотической деформации и величины ротации позвонков на вершине искривления.

По рентгеновским снимкам оценивали величину коррекции основной дуги деформации и сагиттальный профиль позвоночника. На серии КТ-сканов определяли величину деротации позвонков на вершине дуги искривления, положение винтов в ножках дуг и телах позвонков, целостность медиальной и латераль-

ной кортикальной пластинки ножки дуги позвонка и переднебокового контура тела позвонка. Критериями корректного введения винта являлось его положение в ножке дуги с сохранением целостности латеральной и медиальной кортикальной пластинки и переднего контура тела позвонка (рис. 3). Длительность наблюдения за пациентами 1,5 года.

## Результаты

Протяженность фиксации при грудном типе деформации варьировала от Th<sub>2</sub> до L<sub>4</sub> (от 10 до 13 позвонков). Количество транспедикулярных опорных элементов на одного пациента –

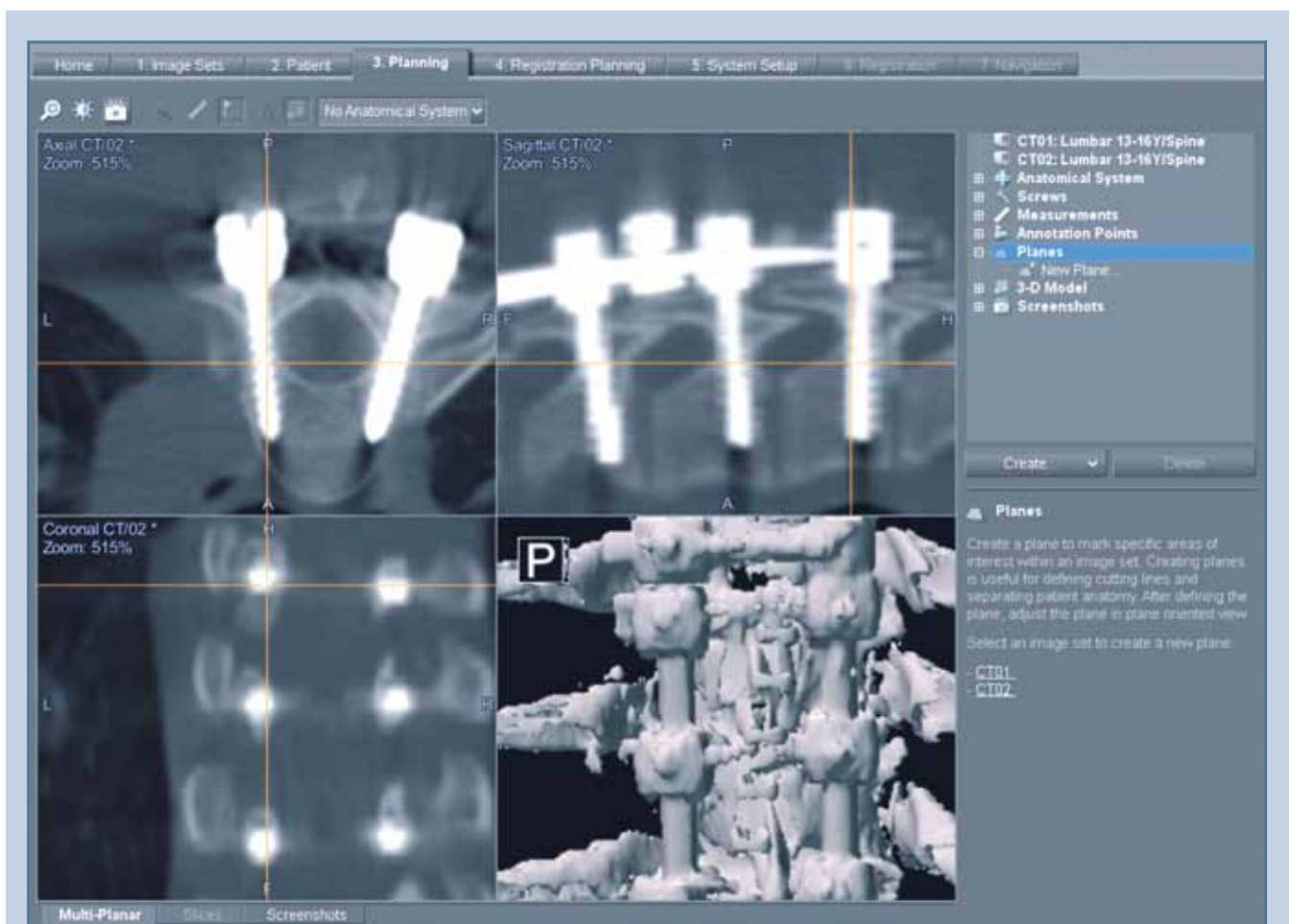


Рис. 3

Контроль положения винтов в ножках дуг и телах позвонков на сериях послеоперационных КТ-сканов

от 19 до 26 (в среднем по 24 винта). Таким образом, 18 пациентам установлено 429 винтов: 305 – в грудном, 124 – в поясничном отделах позвоночника. Послеоперационная коррекция деформации во фронтальной плоскости варьировала в пределах 92–99 %, деротационная коррекция апикального позвонка 72–94 % (табл.). У всех пациентов полностью восстановлен или значительно улучшен фронтальный и сагиттальный баланс туловища, отмечена надежная и стабильная фиксация. Дестабилизации металлоконструкции не наблюдали. Потери коррекции не было ни у одного пациента на протяжении всего периода наблюдения (рис. 4).

У 8 пациентов в верхнегрудном и среднегрудном отделах позвоночника не удалось установить 18 (5,9 %) транспедикулярных опорных элементов. Причины этого – отработка технологии проведения винтов в условиях навигации на начальных этапах, малые размеры и склероз ножек дуг позвонков в верхнегрудном отделе и по вогнутой стороне на вершине

дуги деформации. У 4 из этих пациентов при невозможности провести винты на верхнегрудном (Th<sub>4</sub>) уровне установили ламинарные крюки. У других 4 больных опорные элементы по вогнутой стороне вершины деформации не устанавливали. Отмечены высокая точность проведения и корректная установка транспедикулярных винтов, по данным контрольной КТ, в 100,0 % наблюдений в поясничном и нижнегрудном отделах позвоночника, в 94,1 % – в верхне- и среднегрудном отделах.

Нарушений целостности медиальной кортикальной пластинки и выхода винта в позвоночный канал и за пределы тела позвонка не наблюдали. Ни у одного пациента после проведенного хирургического вмешательства не было неврологических осложнений и дестабилизации металлоконструкции.

### Обсуждение

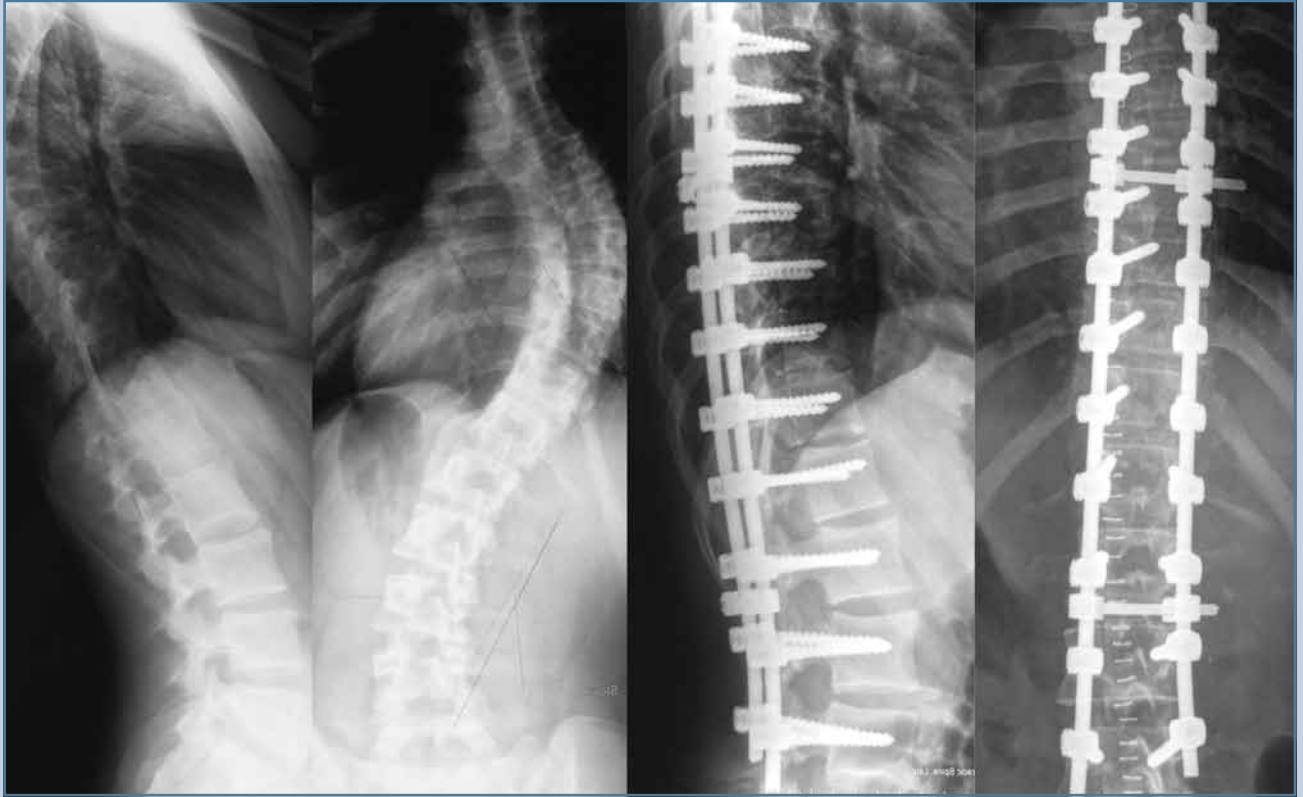
Транспедикулярная стабилизация является биомеханически выгодным

методом фиксации позвоночника, однако некорректное введение винтов потенциально опасно и может приводить к серьезным осложнениям со стороны спинного мозга и его корешков, висцеральным и сосудистым повреждениям [2, 4]. На современном этапе развития вертебральной хирургии только опытным хирургам удается достаточно точно провести транспедикулярные винты в поясничном и недеформированном грудном отделах позвоночника. Однако при искривлении позвоночника, особенно при идиопатическом сколиозе, сложность и опасность транспедикулярной коррекции и фиксации остаются актуальной проблемой [10]. Особенно сложно проводить транспедикулярные опорные элементы в грудном отделе позвоночника, где ножки дуг узкие, значительно изменена их анатомия в результате ротации позвонков и существует опасность повреждения нейроваскулярных структур [13]. При сколиотической деформации позвоночника размер и пространственная ориентация ножек дуг значительно варьируют между разными позвонками и отличаются на одних и тех же позвонках с вогнутой и выпуклой сторон деформации [5, 6, 11]. Liljenqvist et al. [5] при проведении транспедикулярных винтов у 33 пациентов с грудным идиопатическим сколиозом наблюдали разрушение ножек дуг позвонков в 25 % наблюдений. Наши исследования показали возможность использования оптической 3D-КТ-навигации при хирургическом лечении детей с идиопатическим сколиозом. Благодаря высокой эффективности навигационной ассистенции удалось корректно установить транспедикулярные винты на всем протяжении сколиотической дуги искривления. Использование металлоконструкции с транспедикулярными опорными элементами в сочетании с инструментарием VCM позволило применить современную хирургическую технологию коррекции сколиотической деформации

Таблица

Результаты хирургической коррекции деформации позвоночника у пациентов с идиопатическим сколиозом грудной локализации, град.

Пациент	Угол сколиотической деформации по Cobb		Коррекция сколиотической деформации
	до операции	после операции	
1-й	52	4	48
2-й	56	6	50
3-й	62	2	60
4-й	64	2	62
5-й	67	3	64
6-й	59	1	58
7-й	62	1	61
8-й	76	5	71
9-й	75	4	71
10-й	70	2	68
11-й	78	6	72
12-й	66	1	65
13-й	82	6	76
14-й	85	7	78
15-й	89	7	82
16-й	92	9	83
17-й	90	6	84
18-й	87	5	82

**Рис. 4**

Рентгенограммы пациентки К., 16 лет, с идиопатическим правосторонним грудным сколиозом IV ст. до и после хирургического лечения

и добиться истинного деротационного эффекта на вершине грудной дуги искривления. Невозможность установки винтов в каждое тело позвонка, в основном по причине анатомических изменений ножек дуг позвонков, не повлияла на выполнение корригирующих манипуляций по запланированной методике и окончательный результат хирургического лечения детей с идиопатическим сколиозом. Данная хирургическая технология и транспедикулярные спинальные системы обеспечили значительную коррекцию основной дуги искривления в ходе оперативного вмешательства, сокращение протяженности инструментальной фиксации и надежную стабилизацию в отдаленном периоде наблюдения.

### Заключение

Интраоперационная оптическая 3D-компьютерная навигация с обработкой предоперационных КТ-изображений и регистрацией по анатомическим ориентирам обеспечивает корректность и правильность установки транспедикулярных винтов, что позволяет использовать данный вид корригирующих конструкций даже при тяжелых деформациях в грудном отделе позвоночника. Использование металлоконструкции с транспедикулярными опорными элементами на всем протяжении дуги искривления в грудном отделе позвоночника позволяет применить новый тактический подход, отличающийся от классической методики, к опе-

ративному лечению детей с идиопатическим сколиозом. Прежде всего, при данном хирургическом вмешательстве осуществляется истинная деротация тел позвонков на вершине деформации в грудном отделе при помощи системы VCM. Применение спинальной системы с транспедикулярными опорными элементами позволяет увеличить возможность исправления сколиотического и кифотического компонентов дуги искривления, уменьшить протяженность металлофиксации, равномерно распределить корригирующие усилия в ходе хирургического вмешательства и последующую нагрузку на все элементы металлоконструкции с сохранением достигнутого результата в послеоперационном периоде.

## Литература

1. **Виссарионов С.В., Кокушин Д.Н., Дроздец-кий А.П. и др.** Технология использования 3D-КТ-навигации в хирургическом лечении детей с идиопатическим сколиозом // Хирургия позвоночника. 2012. № 1. С. 41–47.
2. **Boss N, Webb JK.** Pedicle screw fixation in spinal disorders: a European view. *Eur Spine J.* 1997;6:2–18.
3. **Fuster S, Vega A, Barrios G, et al.** [Accuracy of pedicle screw insertion in the thoracolumbar spine using image-guided navigation]. *Neurocirugia (Astur).* 2010; 2:306–311. Spanish.
4. **Gaines RW.** The use of pedicle-screw internal fixation for the operative treatment of spinal disorders. *J Bone Joint Surg Am.* 2000;82:1458–1476.
5. **Liljenqvist UR, Halm HF, Link TM.** Pedicle screw instrumentation of the thoracic spine in idiopathic scoliosis. *Spine.* 1997;22:2239–2245.
6. **Lonner BS, Auerbach JD, Estreicher MB, et al.** Thoracic pedicle screw instrumentation: the learning curve and evolution in technique in the treatment of adolescent idiopathic scoliosis. *Spine.* 2009; 34:2158–2164.
7. **Modi H, Suh SW, Hong JY, et al.** Accuracy of thoracic pedicle screw using ideal pedicle entry point in severe scoliosis. *Clin Orthop Relat Res.* 2010;468: 1830–1837.
8. **Rajan VV, Kamath V, Shetty AP, et al.** Iso-C3D navigation assisted pedicle screw placement in deformities of the cervical and thoracic spine. *Indian J Orthop.* 2010;44:163–168.
9. **Rampersaud YR, Lee KS.** Fluoroscopic computer-assisted pedicle screw placement through a mature fusion mass: an assessment of 24 consecutive cases with independent analysis of computed tomography and clinical data. *Spine.* 2007;32:217–222.
10. **Richter M, Cakir B, Schmidt R.** Cervical pedicle screws: conventional versus computer-assisted placement of cannulated screws. *Spine.* 2005;30:2280–2287.
11. **Takahashi J, Hirabayashi H, Hashidate H, et al.** Accuracy of multilevel registration in image-guided pedicle screw insertion for adolescent idiopathic scoliosis. *Spine.* 2010;35:347–352.
12. **Tanaka M, Nakanishi K, Sugimoto Y, et al.** Computer navigation-assisted spinal fusion with segmental pedicle screw instrumentation for scoliosis with Rett syndrome: a case report. *Acta Med Okayama.* 2009;63: 373–377.
13. **Vaccaro AR, Rizzolo SJ, Allardyce TJ, et al.** Placement of pedicle screws in the thoracic spine: Part I: Morphometric analysis of the thoracic vertebrae. *J Bone Joint Surg Am.* 1995;77:1193–1199.

## References

1. Vissarionov SV, Kokushin DN, Drozdetsky AP, et al. [The 3D-CT Navigation Technology for Surgical Treatment of Children with Idiopathic Scoliosis]. *Hir Pozvono- noc.* 2012;(1):41–47. In Russian.
2. Boss N, Webb JK. Pedicle screw fixation in spinal disorders: a European view. *Eur Spine J.* 1997;6:2–18.
3. Fuster S, Vega A, Barrios G, et al. [Accuracy of pedicle screw insertion in the thoracolumbar spine using image-guided navigation]. *Neurocirugia (Astur).* 2010; 2:306–311. Spanish.
4. Gaines RW. The use of pedicle-screw internal fixation for the operative treatment of spinal disorders. *J Bone Joint Surg Am.* 2000;82:1458–1476.
5. Liljenqvist UR, Halm HF, Link TM. Pedicle screw instrumentation of the thoracic spine in idiopathic scoliosis. *Spine.* 1997;22:2239–2245.
6. Lonner BS, Auerbach JD, Estreicher MB, et al. Thoracic pedicle screw instrumentation: the learning curve and evolution in technique in the treatment of adolescent idiopathic scoliosis. *Spine.* 2009;34:2158–2164.
7. Modi H, Suh SW, Hong JY, et al. Accuracy of thoracic pedicle screw using ideal pedicle entry point in severe scoliosis. *Clin Orthop Relat Res.* 2010;468:1830–1837.
8. Rajan VV, Kamath V, Shetty AP, et al. Iso-C3D navigation assisted pedicle screw placement in deformities of the cervical and thoracic spine. *Indian J Orthop.* 2010; 44:163–168.
9. Rampersaud YR, Lee KS. Fluoroscopic computer-assisted pedicle screw placement through a mature fusion mass: an assessment of 24 consecutive cases with independent analysis of computed tomography and clinical data. *Spine.* 2007;32:217–222.
10. Richter M, Cakir B, Schmidt R. Cervical pedicle screws: conventional versus computer-assisted placement of cannulated screws. *Spine.* 2005;30:2280–2287.

**Адрес для переписки:**  
 Виссарионов Сергей Валентинович  
 196603, Санкт-Петербург, Пушкин,  
 ул. Парковая, 64–68,  
 НИДОИ им. Г.И. Турнера,  
 turner01@mail.ru

*Статья поступила в редакцию 05.10.2011*

*С.В. Виссарионов, д-р мед. наук; А.П. Дроздецкий, канд. мед. наук; Д.Н. Кокушин, науч. сотрудник; С.М. Белянчиков, травматолог-ортопед, Научно-исследовательский детский ортопедический институт им. Г.И. Турнера, Санкт-Петербург.*  
*S.V. Vissarionov, MD, DMedSci; A.P. Drozdetsky, MD, PhD; D.N. Kokushin, MD; S.M. Belyanchikov, MD, The Turner Scientific and Research Institute for Children's Orthopaedics, St. Petersburg.*