



ТЕХНОЛОГИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ 3D-КТ-НАВИГАЦИИ В ХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ ДЕТЕЙ С ИДИОПАТИЧЕСКИМ СКОЛИОЗОМ

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

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

Цель исследования. Изучение возможностей применения системы активной оптической 3D-КТ-навигации при хирургическом лечении детей с идиопатическим сколиозом.

Материал и методы. В исследование включены 12 детей 14–17 лет с идиопатическим сколиозом грудной и грудно-поясничной локализации, с величиной сколиотической деформации от 52 до 80° (в среднем 70°). Коррекцию идиопатического сколиоза осуществляли многоопорной транспедикулярной металлоконструкцией с применением системы активной оптической 3D-КТ-навигации. На этапе навигации оценивали среднеквадратичную погрешность регистрации референтных точек по анатомическим ориентирам задних костных структур позвонков, проводили мониторинг времени регистрации и формирования костных каналов для транспедикулярных винтов.

Результаты. В 96,6 % наблюдений транспедикулярные винты были установлены на всех планируемых уровнях. В 9 (3,4 %) позвонках установка опорных элементов осложнилась переломом ножки дуги позвонка и отклонением траектории при установке винта. Неврологических, инфекционных осложнений и дестабилизации металлоконструкции не отмечалось ни у одного больного.

Заключение. Применение метода активной оптической 3D-КТ-навигации с использованием предоперационных КТ-изображений и регистрацией положения референтных точек по анатомическим ориентирам у детей при коррекции идиопатического сколиоза возможно. Использование тотальной транспедикулярной фиксации позволяет уменьшить протяженность зоны металлофиксации, получить максимальную коррекцию дуги искривления и надежную стабильность.

Ключевые слова: идиопатический сколиоз, дети, транспедикулярная фиксация, навигация, компьютерная томография.

THE 3D-CT NAVIGATION TECHNOLOGY FOR SURGICAL TREATMENT OF CHILDREN WITH IDIOPATHIC SCOLIOSIS

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

Objective. To study an applicability of active optical 3D-CT navigation system for surgical treatment of children with idiopathic scoliosis.

Material and Methods. The study included 12 children aged 14–17 years with thoracic and thoracolumbar idiopathic scoliosis. The magnitude of scoliotic deformity varied from 52° to 80° (average 70°). Correction of deformity was performed using multisegmental pedicle screw instrumentation inserted under the guidance of active optical 3D-CT navigation system. At the stage of navigation an estimation of mean-square registration error, and monitoring of time required for registration and formation of bone canals for pedicle screws were performed. **Results.** In 96.6 % of cases the pedicle screws were placed in all preplanned pedicles. In other 9 vertebrae (3.4 %) the screw placement was complicated by pedicle fracture and screw trajectory deviation. There were no cases of neurological and infection complications, and instrumentation loosening in the studied patients.

Conclusion. Active optical 3D-CT navigation using preoperative CT images and anatomical landmark registration is applicable in correction of idiopathic scoliosis in children. Multisegmental transpedicular fixation allows reducing the length of metal fixation zone, and achieving maximum curve correction and reliable stability.

Key Words: idiopathic scoliosis, children, transpedicular fixation, navigation, computed tomography.

Hir. Pozvonoc. 2012;(1):41–47.

В последнее время для коррекции деформации позвоночника при идиопатическом сколиозе чаще стали использовать металлоконструкции с транспедикулярными опорными эле-

ментами, что является предпочтительным по сравнению с классической технологией исправления деформации Cotrel – Dubousset, позволяет добиться большей коррекции, стабильной

и надежной фиксации в послеоперационном периоде, уменьшения зоны инструментализации и исключения осложнений, характерных для систем с крючковыми опорными элементами.

Кроме того, данная металлоконструкция предотвращает прогрессирующее остаточное деформирование после хирургического вмешательства. В то же время тотальная мультисегментарная транспедикулярная фиксация ассоциируется с рядом трудностей, обусловленных резко измененной анатомией позвонков, вовлеченных в сколиотическую дугу. Технические сложности, возникающие при проведении винтов, риск развития возможных осложнений (перфорации и перелома корня дуги, стеноза позвоночного канала опорными элементами, неврологических нарушений) вынуждают многих исследователей для фиксации верхнегрудного и среднегрудного отделов позвоночника использовать в качестве опорных элементов ламинарные и педикулярные крюки [6, 7, 10, 13].

Использование навигационных систем во время хирургической коррекции идиопатического сколиоза у детей является новым и перспективным методом, позволяющим обеспечить возможность установки винтов в деформированные позвонки, вовлеченные в дугу искривления, и значительно уменьшить риск осложнений в ходе операции. По данным некоторых исследователей [4, 15], проведение хирургических вмешательств на позвоночнике с применением навигационной ассистенции позволяет повысить точность установки транспедикулярных винтов в 1,3–1,7 раза.

В настоящее время в ходе операций на позвоночнике возможно использование нескольких методов навигационного контроля. Основными из них являются 2D-флюоронавигация, 3D-флюоронавигация, 3D-КТ-навигация с регистрацией положения референтных точек по анатомическим ориентирам и интраоперационная 3D-КТ-навигация [14]. 2D-флюороскопическая навигация является методом, достаточно широко используемым в ходе хирургических вмешательств при дегенеративных заболеваниях поясничного отдела позвоночника у взрослых пациентов, однако она не позволяет визуализиро-

вать стенки ножек дуг позвонков в процессе формирования костного канала и контролировать проведение винта в трехмерных координатах, что ограничивает возможности ее использования у детей с идиопатическим сколиозом. Анализ литературных данных указывает на то, что интраоперационная 3D-КТ-навигация обладает наибольшей точностью и может рассматриваться в качестве оптимального метода при проведении винтов в ходе операции [14, 16]. Однако ее использование ограничено высокой стоимостью применяемого оборудования, малой доступностью, повышенным риском контаминации операционного поля и увеличением лучевой нагрузки для пациента при многоуровневой регистрации. Использование 3D-флюороскопа в качестве навигационного контроля за проведением транспедикулярных винтов по сравнению с 3D-КТ-навигацией дает невысокое качество изображения, что влияет на точность установки винтов в тела позвонков.

Цель исследования – изучение возможностей применения системы активной оптической 3D-КТ-навигации с использованием предоперационных КТ-изображений и регистрацией положения референтных точек по анатомическим ориентирам на позвонках при хирургическом лечении детей с идиопатическим сколиозом.

Материал и методы

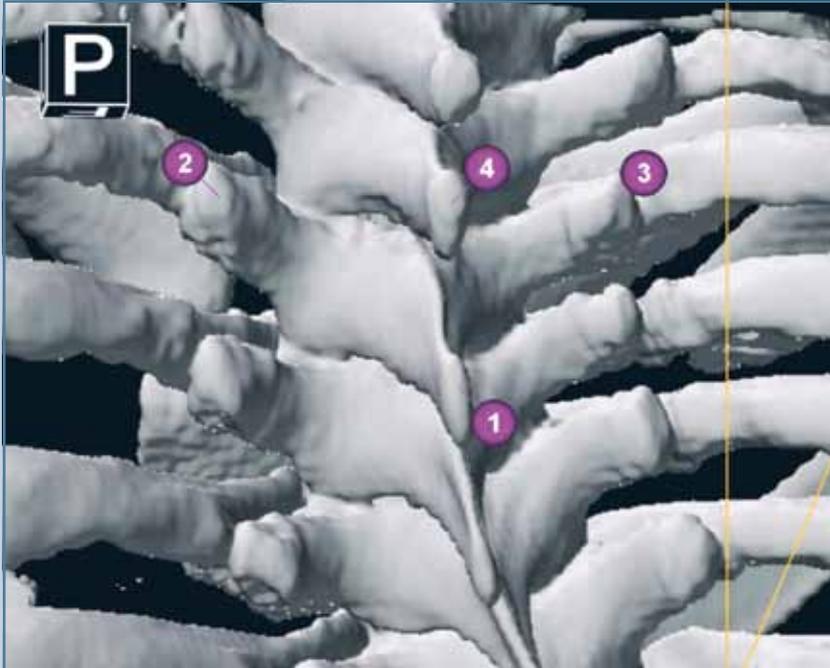
В исследование включены 12 детей (11 девочек и 1 мальчик) 14–17 лет с идиопатическим сколиозом грудной и грудопоясничной локализации. Величина основной дуги сколиотической деформации варьировала от 52 до 80° (средняя величина деформации 70°). Всем пациентам коррекцию идиопатического сколиоза осуществляли многоопорной металлоконструкцией только с транспедикулярными опорными элементами.

Выполняли стандартное предоперационное обследование, включающее МСКТ деформированного сег-

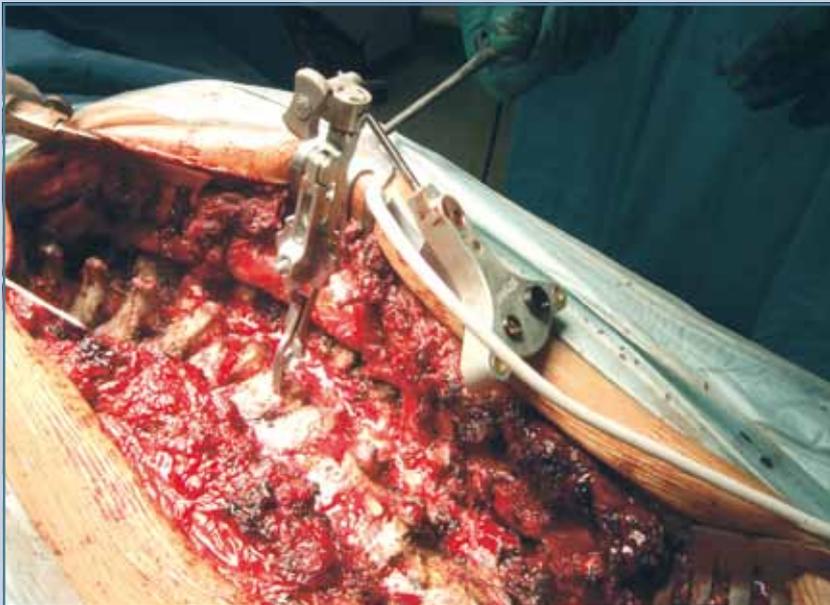
мента позвоночника в положении пациента на животе. КТ осуществляли в положении пациента лежа на животе с целью максимального приближения к положению на операционном столе. КТ-сканирование проводили от уровня Th₁ до S₁. Параметры сканирования следующие: толщина среза – 1,0 мм, размер матрицы – 512 на 512 пикселей. Полученные данные МСКТ экспортировали в систему навигации, оснащенную программным обеспечением «SpineMap 3D», выполняли обработку данных.

В качестве референтных точек в грудном отделе позвоночника использовали середину вершины остистого и поперечных отростков регистрируемого позвонка и середину вершины остистого отростка вышележащего позвонка (рис. 1). В поясничном отделе в качестве точек для регистрации выбирали середину вершины остистого отростка планируемого позвонка, середину дугоотростчатого сустава между регистрируемым и вышележащим позвонками с обеих сторон, середину вершины остистого отростка вышележащего позвонка. Фиксацию положения референтных точек на анатомических костных структурах задней колонны позвонков называли регистрацией по анатомическим ориентирам. Предоперационное планирование в грудном отделе позвоночника проводили на всех позвонках, подлежащих инструментализации.

После выполнения хирургического доступа и скелетирования задних структур позвоночника осуществляли установку навигационной системы. Следящую камеру у всех больных во время всего периода оперативного вмешательства помещали со стороны нижних конечностей пациента. Трекер пациента (нулевой трекер) устанавливали на остистый отросток на один или два позвонка ниже уровня планируемого формирования костных каналов для проведения транспедикулярных винтов (рис. 2). После этого выполняли интраоперационную регистрацию по анатомическим ориентирам. Для регистрации использовали от 3 до 4 референтных точек: в 93 %

**Рис. 1**

Предоперационное планирование референтных точек по анатомическим ориентирам

**Рис. 2**

Трекер пациента (нулевой трекер), установленный за остистый отросток в грудном отделе позвоночника

наблюдений – 4 точки, в 7 % – 3. Перед началом формирования костных каналов в телах позвонков дополнительно для контроля точности регистрации выполняли проверку путем определения положения шила на поверхности костных структур задней колонны позвонков. Если по результатам тестирования анатомических ориентиров позвонка отмечались значимые пространственные отклонения, которые могли внести искажения при навигации, проводили перерегистрацию на прилежащем позвонке. В тех случаях, когда точность регистрации оценивалась как высокая (среднеквадратичная погрешность меньше 1,0 мм), осуществляли формирование каналов для винтов на инструментируемом позвонке. Во время регистрации по анатомическим ориентирам у всех пациентов осуществляли мониторинг времени, фиксировали время, необходимое для установки нулевого трекера и валидации инструментов. После регистрации оценивали среднеквадратичную погрешность, фиксировали время формирования костного канала для транспедикулярного винта. Длительность времени регистрации учитывали от момента регистрации первой референтной точки до момента окончания верификации точности регистрации по анатомическим ориентирам. Время формирования костного канала определяли от момента установки шила в зону введения транспедикулярного винта до завершения верификации канала пугочатым зондом. После формирования костных каналов для опорных элементов конструкции тел позвонков на всех уровнях маркировали Rg-метками и осуществляли Rg-контроль в прямой и боковой проекциях. Затем проводили транспедикулярные винты, фиксировали в них стержни и осуществляли коррекцию деформации по разработанным технологиям.

Результаты

Проанализированы результаты 3D-КТ-навигации, выполненной у 12 пациентов с идиопатическим сколиозом груд-

ной и груднопоясничной локализаций. Количество позвонков, подвергнутых инструментализации, – 136, количество установленных винтов – 263. Границы зоны спондилодеза локализовались в пределах от Th₂ до L₄ позвонка. Краниальная граница инструментальной зоны стабилизации оканчивалась на Th₂ позвонке в 1 наблюдении, на Th₃ – в 2, на Th₄ – в 4, на Th₅ – в 5. Каудальная граница зоны металлофиксации оканчивалась на L₁ в 2 наблюдениях, на L₂ – в 5, на L₃ – в 3, на L₄ – в 2. Общее количество транспедикулярных винтов, проведенных в верхнегрудном отделе позвоночника, – 18, в среднегрудном – 91, в нижнегрудном – 96, в поясничном – 58. Винты начинали устанавливать в направлении от поясничного к грудному отделу позвоночника. Время установки трекера пациента (нулевого трекера) – от 35 до 82 с (в среднем 55 с). Время регистрации по анатомическим ориентирам на один позво-

нок – от 30 до 176 с (в среднем 98,6 с). Время формирования костных каналов для транспедикулярных опорных элементов по вогнутой стороне дуги искривления – от 32 до 589 с (в среднем 131,1 с), по выпуклой стороне – от 30 до 380 с (в среднем 129,5 с; табл. 1). Среднеквадратичная точность регистрации колебалась от 0,3 до 1,2 мм (в среднем 0,7 мм). Распределение по отделам было следующее: верхнегрудной – 0,5 мм (от 0,3 до 1,1 мм), среднегрудной – 0,7 мм (от 0,3 до 1,1 мм), нижнегрудной – 0,8 мм (от 0,3 до 1,2 мм), поясничной – 0,7 мм (от 0,5 до 1,1 мм).

В поясничном и нижнегрудном отделах позвоночника при формировании костных каналов для винтов с одного зарегистрированного позвонка только в 6,3 % наблюдений опорные элементы установлены в один позвонок. В основном в этих отделах костные каналы для опорных элементов формировали в несколь-

ких телах позвонков с одного зарегистрированного уровня. У 56,3 % пациентов удавалось установить винты в два позвонка, у 28,1 % – в три, у 9,4 % – в четыре с одного зарегистрированного уровня без потери точности. При создании каналов для опорных элементов металлоконструкции в среднегрудном отделе позвоночника регистрацию осуществляли в 80 % наблюдений на каждом позвонке, в 20 % с зарегистрированного позвонка формировали костные каналы на двух уровнях. В верхнегрудном отделе позвоночника для установки транспедикулярных винтов в 100 % наблюдений регистрация по анатомическим ориентирам проводилась на каждом уровне (табл. 2).

В 96,6 % наблюдений транспедикулярные винты были установлены на всех планируемых уровнях. В 9 (3,4 %) позвонках установка опорных элементов осложнилась переломом ножки дуги позвонка, что связано с ее малыми размерами (4 наблюдения), склерозом корня дуги (3 наблюдения) и отклонением траектории при установке винта (2 наблюдения). Последний вариант осложнений отмечался на начальных этапах применения навигации и объяснялся наработкой методики проведения опорных элементов конструкции.

Неврологических, инфекционных осложнений и дестабилизации металлоконструкции в раннем послеоперационном и отдаленном периодах не отмечали ни у одного больного.

Обсуждение

Пациенты с идиопатическим сколиозом, требующим хирургического лечения, представляют собой тяжелую группу больных, имеющих выраженные деформационные изменения анатомии позвоночника, сопровождающиеся нарушением размеров основания дуг и тел позвонков. Данные особенности диктуют необходимость разработки новых хирургических технологий, позволяющих более эффективно корригировать искривление позвоночника и создающих условия

Таблица 1

Время регистрации позвонка по анатомическим ориентирам (R) и время формирования костных каналов для транспедикулярных винтов (С), с

Позвонки	R		С	
	в среднем	N	левая сторона	правая сторона
Th ₂	30,0	1	71	42
Th ₃	49,0	3	106,4 (43–198)	120,6 (91–178)
Th ₄	153,3	7	118,2 (52–285)	199,8 (183–238)
Th ₅	114,9	10	94,5 (39–175)	182,9 (78–319)
Th ₆	87,2	11	153,3 (46–341)	160,5 (97–270)
Th ₇	128,6	10	146,1 (32–300)	146,3 (30–380)
Th ₈	86,3	9	153,5 (71–356)	146,0 (35–299)
Th ₉	144,5	4	137,8 (54–395)	103,3 (35–174)
Th ₁₀	81,7	6	132,1 (50–328)	112,2 (45–200)
Th ₁₁	176,3	6	92,9 (37–180)	158,6 (76–284)
Th ₁₂	71,8	6	123,9 (43–234)	157,0 (71–310)
L ₁	–	0	129,7 (90–180)	137,8 (73–184)
L ₂	83,4	7	279,0 (108–589)	88,0 (40–140)
L ₃	75,3	3	135,4 (88–165)	98,0 (36–160)
L ₄	–	0	92,4 (51–112)	89,6 (43–115)
Среднее время	98,6		131,1	129,5

N – количество регистраций, выполненных на данном уровне;

в скобках указан разброс времени формирования костных каналов для транспедикулярных винтов.

Таблица 2

Среднеквадратичная погрешность регистрации позвонков, инструментированных с одного уровня, у наблюдаемых пациентов

Позвонки	Пациенты											
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й	8-й	9-й	10-й	11-й	12-й
Th ₁	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Th ₂	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,7	—	—
Th ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,8	0,3	0,5
Th ₄	0,4	0,6	—	0,4	—	—	—	0,6	—	1,1	0,4	0,6
Th ₅	0,9	0,8	0,7	*	*	0,3	0,5	0,6	1,0	0,7	0,7	0,8
Th ₆	1,0	0,8	0,8	0,7	0,9	0,8	0,7	0,9	0,5	*	0,4	0,6
Th ₇	1,1	0,8	0,7	0,8	*	0,5	0,6	0,7	0,3	0,5	0,5	*
Th ₈	0,5	0,7	*	*	1,0	0,6	0,9	0,5	*	0,4	0,7	0,4
Th ₉	0,9	*	*	0,3	*	*	*	*	1,1	*	0,8	*
Th ₁₀	*	*	0,9	*	1,2	0,6	0,9	*	*	0,9	*	0,7
Th ₁₁	0,6	0,4	*	0,9	*	*	*	0,8	0,9	*	0,6	*
Th ₁₂	*	*	0,7	*	1,2	0,7	1,0	*	*	0,8	*	1,0
L ₁	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
L ₂	*	0,7	0,5	*	0,9	0,8	*	0,6	1,1	—	1,0	—
L ₃	0,8	*	*	0,6	—	—	0,5	—	—	—	—	—
L ₄	*	—	—	*	—	—	—	—	—	—	—	—
L ₅	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

«—» — данный позвонок не входил в зону инструментализации;

«*» — на данном уровне регистрация не проводилась.

для надежной и стабильной фиксации позвоночника после оперативного вмешательства.

Этим требованиям отвечают технологии с использованием металлоконструкций с транспедикулярными опорными элементами. В свою очередь, эта методика требует повышенной точности хирургической техники, связанной с установкой винтов, с применением надежного способа контроля действий оператора. Вместе с тем установка винтовых конструкций, особенно в грудном отделе позвоночника, у пациентов со сколиотическими деформациями существенно затруднена в связи с уменьшением диаметра дуг позвонков, значительными деформационными изменениями анатомии позвоночника, склеротическими процессами в ножках позвонков, в первую очередь на высоте дуги искривления. В этих условиях введение транспедикулярных винтов сопряжено с существенными техническими сложностями и ассоциируется со значительным риском отклонения истинной и запланированной траекторий введе-

ния опорных элементов металлоконструкции, что, в свою очередь, может привести к тяжелым нежелательным последствиям – повреждению спинного мозга и корешков, к нестабильности спинальной системы.

В настоящее время базовым методом для установки транспедикулярных винтовых систем является использование флюороскопического контроля. Данная технология нашла широкое применение вследствие относительной простоты и доступности. Вместе с тем накопленный опыт применения данной методики указывает на ряд существенных недостатков, характерных для проведения винтов под ЭОП-контролем. В первую очередь, это высокая лучевая нагрузка на пациентов и персонал. Кроме того, контроль за проведением винтов осуществляется только в одной планарной проекции, что значительно снижает точность и безопасность процедуры. По данным Belmont et al. [2], Amiot et al. [1], Nottmeier et al. [11], значимые отклонения в траектории винтов при 2D-флюороскопии могут

достигать 7–54 %, а частота связанных с этим неврологических осложнений – 5–7 %.

Перспективным направлением совершенствования хирургической техники введения транспедикулярных винтов является дополнительное использование оптических навигационных систем. Одним из наиболее простых методов навигационной ассистенции может служить 2D-флюоронавигация. Ее принципиальным достоинством является значительное (в 10–12 раз) снижение лучевой нагрузки [3], что особенно важно при выполнении хирургических вмешательств у детей и подростков, а также возможность одновременного контроля за проведением винтов в нескольких проекциях, обеспечивающая условия для повышения точности хирургических манипуляций. Принципиальным недостатком 2D-флюоронавигации является двухмерный характер получаемой информации, что существенно снижает возможности пред- и интраоперационного планирования траектории введения транспедикулярных опорных элемен-

тов конструкции, невозможность контроля за их проведением в аксиальной и коронарной проекциях.

В последнее время наиболее широкую популярность в клинической практике получили методы 3D-навигации, которые обеспечивают более благоприятные условия для планирования и проведения транспедикулярных винтов. Согласно метанализу, выполненному Tian, Xu [15] в 2011 г., методы 3D-навигации обладают достоверными преимуществами с точки зрения точности проведения транспедикулярных опорных элементов конструкции перед установкой винтов под 2D-флюороскопическим контролем. Выполненный авторами ретроспективный анализ литературы позволил проанализировать результаты проведения винтов в ножки дуг 7533 поясничных и грудных позвонков. При этом точность установки винтов с 3D-навигационной ассистенцией достигала 96,7 % и достоверно превышала возможности стандартных методов введения под 2D-флюороскопическим контролем [15].

Преимущества использования 3D-навигации наиболее очевидны при выполнении вмешательств на грудном отделе позвоночника. Amiот et al. [1] убедительно продемонстрировали более высокую точность 3D-навигации по сравнению с операциями, выполненными под флюороскопическим контролем. Навигационная ассистенция обеспечила возможности для точной установки винтов в 95 % наблюдений, в то время как при использовании флюороскопического контроля эта цифра оказалась существенно ниже – 85 % [1]. Анализ результатов хирургического вмешательства у 100 пациентов с заболеваниями позвоночника, выполненный Laine et al. [9], указывает на то, что проведение 3D-навигационной ассистенции позволяет снизить процент перфорации ножек с 13,4 до 4,6 %, а по данным Kotani et al. [8] – с 11 до 1,8 %.

Одним из наиболее привлекательных способов 3D-навигации является 3D-флюоронавигация, которая основана на совместном использовании

3D-ЭОП и сопряженной с ними стандартной оптической навигационной системы. Принципиальным преимуществом этой технологии, в отличие от обычной 2D-флюоронавигации, является возможность получения трехмерных интраоперационных изображений позвоночника с последующим контролем за проведением винтов в аксиальной, коронарной и поперечной проекциях. К существенным недостаткам 3D-флюоронавигации относятся невысокое качество получаемых интраоперационных изображений, особенно у больных с остеопорозом, большой массой тела и/или выраженными нарушениями анатомии позвоночника [5]. Кроме того, небольшой диаметр детектора требует многократного сбора информации, особенно при установке больших по протяженности конструкций. У больных со сколиотической деформацией это приводит к увеличению времени операции и значительной лучевой нагрузке, которая сопоставима с нагрузками, получаемыми при введении винтов под флюороскопическим контролем. Следует отметить, что конструктивные особенности 3D-ЭОПов существенно затрудняют, а во многих случаях не позволяют проводить сбор информации в режиме 3D у пациентов с большой массой тела и выраженными (сколиоз и кифоз более 90°) деформациями позвоночника [12].

По этой причине в качестве своеобразного золотого стандарта 3D-ассистированной навигации может рассматриваться 3D-навигация на основе данных интраоперационного КТ-исследования. При этом хирург получает информацию, имеющую целый ряд существенных преимуществ: изображения высокого (диагностического) качества; возможность автоматической, без участия оператора, регистрации; чрезвычайно высокую точность процедуры, основанную на использовании изображений, полученных непосредственно на операционном столе. Кроме того, 3D-КТ-навигация отличается от 3D-флюоронавигации меньшей лучевой нагрузкой, отсутствием

серьезных технических ограничений, снижением времени, затрачиваемого на сбор информации. Вместе с тем высокая стоимость, ограниченная доступность, жесткие требования к конструктивным особенностям операционных существенно ограничивают возможность широкого использования интраоперационной 3D-КТ-навигации.

В качестве ее эффективной альтернативы может рассматриваться 3D-КТ-навигация на основе данных предоперационной КТ позвоночника. Однако различия в положении пациента на операционном столе и столе диагностического томографа рассматриваются как потенциальный источник значительных погрешностей и, вследствие этого, низкой точности навигационной ассистенции. Применение 3D-навигации на основе предоперационной КТ диктует необходимость обязательной регистрации по анатомическим ориентирам, что может существенно увеличить время операции. Полученные нами данные доказали неправомочность вышеперечисленных предположений. Установка нулевого трекера занимала в среднем не более 55 с. Среднее время, затраченное на регистрацию по 4 анатомическим ориентирам на одном позвонке, – 98,6 с. При этом регистрация на одном позвонке в нижнегрудном и поясничном отделах позвоночника обеспечила условия для точного введения винтов на трех уровнях в 28,1 % случаев, на двух – в 56,3 %.

Обнадеживающе выглядят полученные данные о точности анатомической регистрации на основе предоперационной КТ (среднеквадратичной погрешности), которая при вмешательствах на грудном отделе позвоночника составила 0,3–1,1 мм (в среднем 0,5 мм), на поясничном – 0,5–1,1 мм (в среднем 0,7 мм). Вместе с тем навигационная ассистенция на основе предоперационной КТ обладает рядом принципиальных достоинств: создает условия для оптимального снижения лучевой нагрузки, в отличие от интраоперационного КТ-исследования, не увеличивает

риска инфекционных осложнений, связанных с контаминацией операционного поля, отличается чрезвычайно высокой экономичностью по сравнению со всеми остальными видами 3D-навигации.

Заключение

Полученные данные свидетельствуют о возможности применения и высокой точности метода активной оптической 3D-КТ-навигации с использованием предоперацион-

ных КТ-изображений и регистрации по анатомическим ориентирам у детей с целью коррекции идиопатического сколиоза. Высокая точность регистрации позволяет установить по два транспедикулярных опорных элемента в тело каждого позвонка, входящего в дугу деформации. Такой вариант предоперационного планирования и расположения опорных элементов на протяжении искривления позволяет использовать современные хирургические технологии коррекции идиопатического сколи-

оза, дающие возможность уменьшения протяженности зоны металлофиксации, получения значительной коррекции дуги искривления и стабильной фиксации на протяжении периода наблюдения. Используемый в нашей работе метод оптической 3D-КТ-навигации представляет собой эффективную альтернативу интраоперационной 3D-КТ-навигации, обеспечивает сопоставимую с ним высокую точность регистрации и связан с меньшими экономическими затратами.

Литература

1. **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.
2. **Belmont PJ, Klemme WR, Dhawan A, et al.** In vivo accuracy of thoracic pedicle screws. *Spine*. 2001;26:2340–2346.
3. **Gebhard FT, Kraus MD, Schneider E, et al.** Does computer-assisted spine surgery reduce intraoperative radiation doses? *Spine*. 2006;31:2024–2028.
4. **Ishikawa Y, Kanemura T, Yoshida G, et al.** Clinical accuracy of three-dimensional fluoroscopy-based computer-assisted cervical pedicle screw placement: a retrospective comparative study of conventional versus computer-assisted cervical pedicle screw placement. *J Neurosurg Spine*. 2010;13:606–611.
5. **Jarvers JS, Katscher S, Franck A, et al.** 3D-based navigation in posterior stabilisations of the cervical and thoracic spine: problems and benefits. Results of 451 screws. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2011;37:109–119.
6. **Karatoprak O, Unay K, Tezer M, et al.** Mirzanli C. Comparative analysis of pedicle screw versus hybrid instrumentation in adolescent idiopathic scoliosis surgery. *Int Orthop*. 2008;32:523–528.
7. **Kim YJ, Lenke IG, Kim J, et al.** Comparative analysis of pedicle screw versus hybrid instrumentation in posterior spinal fusion of adolescent idiopathic scoliosis. *Spine*. 2006;31:291–298.
8. **Kotani Y, Abumi K, Oto M, et al.** Improved accuracy of computer-assisted cervical pedicle screw insertion. *J Neurosurg*. 2003;99:257–263.
9. **Laine T, Lund T, Ylikoski M, et al.** Accuracy of pedicle screw insertion with and without computer assistance: a randomised controlled clinical study in 100 consecutive patients. *Eur Spine J*. 2000;9:235–240.
10. **Liljenqvist U, Lepsien U, Hackenberg L, et al.** Comparative analysis of pedicle screw and hook instrumentation in posterior correction and fusion of idiopathic thoracic scoliosis. *Eur Spine J*. 2002;11:336–343.
11. **Nottmeier EW, Seemer W, Young PM.** Placement of thoracolumbar pedicle screws using three-dimensional image guidance: experience in a large patient cohort. *J Neurosurg Spine*. 2009;10:33–39.
12. **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.
13. **Suk SI, Kim WJ, Kim JH, et al.** Restoration of thoracic kyphosis in the hypokyphotic spine: a comparison between multiple-hook and segmental pedicle screw fixation in adolescent idiopathic scoliosis. *J Spinal Disord*. 1999;12:489–495.
14. **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.
15. **Tian NF, Xu HZ.** Image-guided pedicle screw insertion accuracy: a meta-analysis. *Int Orthop*. 2009;33:895–903.
16. **Tormenti MJ, Kostov DB, Gardner PA, et al.** Intraoperative computed tomography image-guided navigation for posterior thoracolumbar spinal instrumentation in spinal deformity surgery. *Neurosurg Focus*. 2010;28:E11.

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 31.10.2011

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.