

ВРЕМЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРИМЕНЕНИЯ 3D-КТ НАВИГАЦИИ ПРИ ХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ ДЕТЕЙ С ИДИОПАТИЧЕСКИМ СКОЛИОЗОМ

Кокушин Д.Н.¹, Виссарионов С.В.¹, Баиндурашвили А.Г.¹, Хусаинов Н.О.¹,
Белянчиков С.М.¹

¹ФГБУ «НМИЦ детской травматологии и ортопедии имени Г.И. Турнера» Минздрава России, Санкт-Петербург, e-mail: tuner01@mail.ru

Проведен анализ результатов лечения 70 пациентов в возрасте от 14 до 18 лет с идиопатическим сколиозом 3-й и 4-й степени грудной, грудопоясничной и поясничной локализации с применением системы активной оптической 3D-КТ навигации. Осуществлена оценка времени, необходимого для закрепления трекера для задания системы нулевых координат, в целях выполнения процедуры сбора референтных точек, расположенных на анатомических ориентирах позвонков. Также был проведен анализ времени, затраченного на проведение сбора точек с дорзальной поверхности позвонка, и времени, необходимого для создания траектории ходов, предназначенных для выполнения имплантации транспедикулярных винтов в структурально деформированные и торсионно измененные позвонки, для создания стабильной зоны фиксации позвоночника посредством инструментального спондилодеза. В ходе работы установлено, что время, необходимое для закрепления трекера, предназначенного для задания системы нулевых координат, составило в среднем 32 секунды. Среднее значение времени, затрачиваемого на проведение интраоперационной регистрации со сбором трех референтных точек, расположенных на анатомических ориентирах регистрируемого позвонка, составило менее 25 секунд. Среднее значение времени интраоперационной регистрации, необходимого для выполнения процедуры сбора неспецифических точек, расположенных на поверхности задних костных структур позвонка, составило менее 90 секунд для каждого регистрируемого позвонка. Время, затраченное на создание траектории ходов, предназначенных для выполнения имплантации транспедикулярных винтов, в среднем составило 40 секунд. Среднее значение показателя времени, затраченного в целом на проведение интраоперационного этапа навигации для одного хирургического вмешательства, составило 1440,3 секунды (24 минуты). Таким образом, использование навигационного оборудования в ходе хирургического вмешательства у детей с идиопатическим сколиозом не увеличивает общее время операции, при этом обеспечивает точность и корректность установки опорных элементов спинальной системы с учетом сложных, измененных в пространстве взаимоотношений элементов костных структур деформированных позвонков.

Ключевые слова: идиопатический сколиоз, транспедикулярная фиксация, 3D-КТ навигация, хронометрия, дети.

TEMPORARY INDICATORS OF 3D-CT NAVIGATION APPLICATION IN THE SURGICAL TREATMENT OF CHILDREN WITH IDIOPATHIC SCOLIOSIS

Kokushin D.N.¹, Vissarionov S.V.¹, Baindurashvili A.G.¹, Husainov N.O.¹,
Belyanichkov S.M.¹

¹FGBO «H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery» of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint-Petersburg, e-mail: tuner01@mail.ru

The results of treatment of 70 patients aged 14 to 18 years with idiopathic scoliosis of the 3rd and 4th degrees of thoracic, thoracolumbar and lumbar localization using the active optical 3D-CT navigation system were analyzed. The time required for fixing the tracker for setting the zero coordinate system, for performing the procedure for collecting reference points located on the anatomical landmarks of the vertebrae was estimated. We also analyzed the time spent on collecting points from the dorsal surface of the vertebra, and the time required to create a trajectory of moves intended for implantation of transpedicular screws in structurally deformed and torsion-altered vertebrae, to create a stable zone of fixation of the spine through instrumental fusion. During the work, it was found that the time required to fix the tracker intended for setting the zero coordinate system was an average of 32 seconds. The average time spent on intraoperative registration with the collection of three reference points located on the anatomical landmarks of the registered vertebra was less than 25 seconds. The average intraoperative registration time required to perform the procedure for collecting non-specific points located on the surface of the posterior bone structures of the vertebra was less than 90 seconds for each registered vertebra. The time spent on creating the trajectory of moves intended for performing the implantation of transpedicular screws was on average 40 seconds. The average value of the time spent on the whole intraoperative navigation stage for one surgical intervention was 1440.3 seconds (24 minutes). Thus, the

use of navigation equipment during surgery in children with idiopathic scoliosis does not increase the total operation time, while ensuring the accuracy and correctness of the installation of support elements of the spinal system, taking into account the complex relationships of elements of the bone structures of deformed vertebrae changed in space.

Keywords: idiopathic scoliosis, transpedicular fixation, 3D-CT navigation, chronometry, children.

Идиопатический сколиоз является самой распространенной формой искривления позвоночного столба. Частота встречаемости пациентов с данным вариантом деформации, по данным различных авторов, составляет от 2% до 11%. Эффективным способом лечения тяжелых форм идиопатического сколиоза является хирургический. В настоящее время при хирургическом лечении детей с идиопатическим сколиозом для осуществления коррекции деформации позвоночника все чаще стали применять транспедикулярную металлоконструкцию [1, 2]. Преимущества использования последней обусловлены достижением значительной величиной исправления всех компонентов искривления в трех плоскостях, достижением истинного деротационного эффекта апикального позвонка, уменьшением протяженности спинальной системы и обеспечением стабильности полученной коррекции деформации в отдаленном периоде наблюдения [3-5]. Однако установка транспедикулярной металлоконструкции в ходе оперативного лечения детей с идиопатическим сколиозом, как правило, сопровождается техническими сложностями, обусловленными выраженным изменением анатомии и размеров дорсальных и вентральных структур позвонка, их отклонением от нормального положения в пространстве в структуре поражения позвоночника сколиотической болезнью. Эта проблема может приводить к некорректному расположению опорных элементов спинальной системы и, как результат, к возникновению осложнений в ходе хирургического вмешательства [6].

С учетом этих моментов безопасность проведения хирургической коррекции деформации позвоночника детям с идиопатическим сколиозом остается актуальной и до конца не решенной задачей. В последнее время стали появляться новые технические средства для возможности осуществления корректной имплантации винтов дорсальной спинальной системы в ходе операции с целью уменьшения рисков и возможных осложнений, связанных с мальпозицией транспедикулярных элементов. Некоторые исследователи для коррекции сколиотической деформации идиопатического генеза прибегают к использованию в процессе вмешательства компьютерного томографа. Другие хирурги с целью обеспечения безопасности и достижения корректности установки транспедикулярных винтов предпочитают проводить операции, используя в качестве ассистенции роботизированную технику. Некоторые авторы утверждают, что применение навигационной установки позволяет добиться эффективной коррекции искривления позвоночного столба при идиопатическом сколиозе с минимальным риском развития осложнений [7, 8]. На основании

полученных в результате проведенных исследований данных можно заключить, что система активной навигационной ассистенции, основанная на использовании dataset сканов позвоночника компьютерной томографии, выполненной перед хирургическим вмешательством детям с идиопатическим сколиозом, является перспективным подходом, позволяющим добиться высокой степени корректности введения винтовых опорных элементов в структурально измененные и сильно деформированные позвонки для установки в них стержней, создающих зону стабильного спондилодеза на основе металлоимпланта. Кроме того, такой подход имеет преимущество по сравнению с методом «свободной руки» и флюороскопической ассистенции, значительно уменьшая потенциальный риск развития возможных осложнений, ассоциированных с различными видами мальпозиции транспедикулярных опорных элементов [9, 10]. Однако ряд исследователей придерживаются точки зрения, что использование данной навигационной станции для установки транспедикулярных винтов имеет достаточно низкую точность, в ряде случаев приводя к некорректному созданию траектории ходов, предназначенных для выполнения имплантации винтов, и их мальпозиции. Возникновение значительной погрешности при использовании данной методики объясняют разницей между пространственными взаимоотношениями позвонков, возникающей в результате изменения соотношений между структурами позвоночно-двигательных сегментов на операционном столе в ходе хирургического вмешательства, обусловленного специфической укладкой и мобилизацией позвоночника, и результатами обследования при проведении КТ исследования. Для устранения указанных выше отрицательных моментов в ходе хирургического вмешательства при использовании оптической навигации на основе предоперационной компьютерной томографии необходимо проводить регистрацию по референтным точкам, а также по дорзальной поверхности позвонков, входящих в зону инструментального спондилодеза. Однако такой методологический подход может существенно увеличить длительность хирургического вмешательства.

Таким образом, аспект потенциального удлинения времени оперативного вмешательства в целях коррекции подросткового идиопатического сколиоза при использовании данного вида навигационного оборудования на сегодняшний момент является важным и актуальным вопросом современной вертебрологии.

Цель исследования: оценить временные показатели применения системы активной оптической 3D-КТ навигации, используемой для оперативной коррекции сколиотической деформации при подростковом идиопатическом сколиозе различной локализации.

Материалы и методы исследования. Исследование основано на анализе данных результатов 70 операций, выполненных 70 подросткам в возрасте от 14 до 18 лет с

деформацией позвоночника 3–4-й степени (классификация В.Д. Чаклина) на фоне идиопатического сколиоза. Распределение по типам локализации сколиотической дуги деформации позвоночника было следующим: грудная дуга – 45 детей, груднопоясничная дуга – 15, поясничная дуга – 10 пациентов.

Всем пациентам обследование и хирургическое лечение осуществлены в отделении патологии позвоночника и нейрохирургии ФГБУ «НМИЦ детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера» Министерства здравоохранения Российской Федерации в период с 2011 по 2016 гг. Изучены протоколы интраоперационного этапа работы с навигационной установкой и проанализировано время, затрачиваемое на использование навигационного оборудования и навигационных инструментов, основанных на применении программного обеспечения «SpineMap 3D» в ходе хирургического вмешательства у пациентов с подростковым идиопатическим сколиозом. В ходе исследования проведена оценка времени, необходимого для закрепления трекера в целях задания системы нулевых координат. Оценивали время интраоперационной регистрации, необходимое для выполнения процедуры сбора референтных точек, расположенных на анатомических ориентирах позвонков. Также был проведен анализ времени, затраченного на проведение сбора точек с дорзальной поверхности позвонка, и времени, необходимого для создания траектории ходов, предназначенных для выполнения имплантации транспедикулярных винтов в структурально деформированные и торсионно измененные позвонки, для создания стабильной зоны фиксации позвоночника посредством инструментального спондилодеза.

Время установки трекера оценивали от момента закрепления зажима на остистом отростке до его соединения с блоком активных инфракрасных излучателей и оценки их корректного функционирования камерой навигационной установки. Время, затрачиваемое на проведение интраоперационной регистрации по выбранным референтным точкам, необходимым для специфической регистрации, оценивали от момента активации блока активных инфракрасных излучателей и процедуры сбора точек до момента обчета навигационной станцией полученной погрешности на регистрируемом позвонке.

Время, затрачиваемое на проведение интраоперационной регистрации по дорзальной поверхности одного отдельного позвонка, представляющей собой процедуру неспецифической регистрации, оценивали от момента активации блока активных инфракрасных излучателей навигационного инструмента и процедуры сбора точек до момента обчета навигационной станцией полученной погрешности на регистрируемом позвонке.

Временные характеристики, нужные для формирования каналов под транспедикулярные винты в костных структурах позвонков, оценивали от момента

активации блока активных инфракрасных излучателей навигационного инструмента (шила и пробойника) до момента верификации костным щупом стенок сформированного канала для винта.

Все пациенты оперированы одной хирургической бригадой. Данные исследования обрабатывались в программе Statistika 7 с использованием методов описательной статистики и проверкой на нормальность распределения посредством визуального анализа гистограмм.

Результаты исследования и их обсуждение. На основании результатов проведенного исследования время, необходимое для закрепления трекера для задания системы нулевых координат, составило в среднем 32 секунды (min – 23 секунд, max – 68 секунд). Корректность проведения данного этапа работы в ходе хирургического вмешательства определяла в дальнейшем точность и отсутствие ошибок при проведении регистрации по референтным точкам и регистрации по дорзальной поверхности позвонка. Эти манипуляции обеспечивали достижение минимальной погрешности при создании траектории ходов, предназначенных для выполнения имплантации винтов в структурально измененных и деформированных позвонках для опорных элементов металлоконструкции. В ходе проведенной работы определены данные временных характеристик при регистрации по референтным точкам (RegRefPoint) и по дорзальной поверхности (RegSurface) костных структур позвонков, входящих в зону инструментального спондилодеза (таблица 1).

Таблица 1

Временные характеристики при регистрации по референтным точкам и по дорзальной поверхности позвонка, в секундах

Позвонок		RegRefPoint	RegSurface
Th	3	M=21,6 (15–32)	84,5 (69–110)
	4	20,4 (4–65)	69,6 (52–98)
	5	18,4 (5–77)	58,7 (19–91)
	6	24,7 (7–95)	51,0 (28–84)
	7	23,8 (4–54)	67,8 (41–88)
	8	19,3 (8–51)	67,4 (40–143)
	9	18,7 (4–44)	58,5 (20–122)
	10	17,3 (6–99)	70,8 (50–155)

	11	21,6 (4,0–48)	64,0 (54–98)
	12	24,8 (8–78)	51,5 (36–68)
L	1	19,1 (4–48)	64,0 (48–102)
	2	18,4 (6–46)	52,1 (60–122)
	3	22,1 (10–51)	58,4 (42–78)
	4	23,4 (6–48)	64,9 (50–99)

Распределение полученных значений при проведении визуального гистограммного анализа данных в представленной таблице 1 при логарифмировании имело форму, характерную для нормального вида показателей (критерий Колмогорова–Смирнова и Лиллиефорса не отвергает гипотезу на уровне значимости: $p > 0,1$). С основой на данных проведенного анализа описательных статистик значения полученных результатов представлены в виде среднего и интервала размаха выборки, с параметрами максимума и минимума.

Минимальное время интраоперационной регистрации, необходимое для выполнения процедуры сбора референтных точек, расположенных на анатомических ориентирах позвонков в грудном и поясничном отделах позвоночника, составило 4 секунды, максимальное – 99 секунд. Среднее значение данного показателя для одного регистрируемого позвонка составило от 17,3 до 24,8 секунды. У 20 пациентов (28,5%) регистрация по референтным точкам позволяла получить минимальную погрешность, обеспечивающую достаточно точное сопряжение контуров виртуального 3D-позвонка с кортикалом регистрируемого позвонка, что дало возможность сразу осуществить создание траектории ходов, предназначенных для выполнения имплантации транспедикулярных винтов в структурально деформированные и торсионно измененные позвонки. В этом случае процедуру интраоперационной регистрации по дорзальной поверхности одного отдельного позвонка со сбором дополнительных точек в количестве не менее 30 не проводили. В тех случаях, когда среднеквадратичная погрешность интраоперационной регистрации при сборе трех референтных точек, расположенных на анатомических ориентирах позвонка, превышала 0,7 мм, прибегали к проведению дополнительной регистрации по дорзальной поверхности позвонка с целью снижения значения погрешности и повышения точности сопряжения контуров виртуального позвонка с кортикалом регистрируемого позвонка.

Минимальное время интраоперационной регистрации, необходимое для выполнения процедуры сбора неспецифических точек, расположенных на поверхности задних костных

структур позвонка, в грудном и поясничном отделах составило 19 секунд, максимальное – 155 секунд. Среднее значение данного показателя для одного регистрируемого позвонка составило от 51,0 до 84,5 секунды. Дополнение интраоперационной регистрации процедурой сбора точек с дорсальных поверхностей костных структур позвонка после выполнения процедуры специфической регистрации по референтным точкам давало возможность повысить точность в работе навигационной станции и уменьшить среднеквадратичную погрешность, обеспечивая тем самым необходимые условия для правильного и корректного формирования траекторий в костных структурах позвонков для транспедикулярных опорных элементов дорсальной спинальной системы.

Таким образом, на основании проведенного анализа выявлено, что в среднем значение времени, затрачиваемого на проведение интраоперационной регистрации со сбором трех референтных точек, расположенных на анатомических ориентирах регистрируемого позвонка, составило менее 25 секунд. Среднее значение времени интраоперационной регистрации, необходимое для выполнения процедуры сбора неспецифических точек, расположенных на поверхности задних костных структур позвонка, составило менее 90 секунд для каждого регистрируемого позвонка.

Результаты полученных хронометрических параметров создания траектории ходов под транспедикулярные винты при помощи навигационного инструмента в костных структурах позвонков, входящих в зону инструментального спондилодеза с левой (tS) и с правой (tD) сторон относительно линии остистых отростков позвоночника, представлены в таблице 2.

Таблица 2

Время, затраченное на создание траектории ходов, предназначенных для выполнения имплантации транспедикулярных винтов

Позвонок		tS	tD
Th	3	30,1 (16–74)	35,3 (18–67)
	4	38,5 (14–65)	67,8 (19–73)
	5	47,4 (15–55)	39,4 (24–59)
	6	48,6 (17–70)	56,1 (21–68)
	7	34,5 (14–52)	39,5 (25–49)
	8	58,4 (24–84)	51,5 (18–63)

	9	45,3 (16–72)	41,4 (13–54)
	10	39,4 (14–59)	42,5 (12–69)
	11	44,8 (12–61)	51,2 (19–62)
	12	54,1 (24–86)	57,9 (17–91)
L	1	58,9 (15–182)	51,9 (24–178)
	2	51,6 (21–79)	53,7 (18–75)
	3	47,9 (15–64)	44,4 (17–68)
	4	34,9 (12–63)	41,2 (18–67)

Минимальное значение времени, затраченного на создание траектории ходов, предназначенных для выполнения имплантации транспедикулярных винтов в грудном и поясничном отделах позвоночника, составило 12 секунд, максимальное – 182 секунды. Среднее значение данного параметра для одного уровня установки винтов составило от 30,1 до 58,9 секунды. С правой стороны диапазон хронометрических показателей составил от 12 до 178 секунд, среднее значение – от 35,3 до 67,8 секунды. Проведенный сравнительный анализ показателей времени, затраченного на формирование траекторий в костных структурах позвонка для транспедикулярных винтов в зависимости от уровня инструментируемого позвонка и стороны установки опорного элемента металлоконструкции, значимых различий для нижнегрудного отдела и поясничного отделов позвоночника в ходе исследования не показал. В то же время отмечена разница для верхнегрудного и среднегрудного отделов позвоночника. Так, на уровне третьего и четвертого грудных позвонков большие затраты времени на прохождение шилом корня дуги отмечались с правой стороны, в среднегрудном отделе (пятый и шестой грудной позвонки) соотношение было обратным – большее количество времени затрачивалось на формирование каналов с левой стороны относительно остистых отростков. Такое распределение хронометрических показателей объяснимо анатомо-антропометрическими особенностями костных структур позвонков при идиопатическом сколиозе, а именно размерами корней дуг с выпуклой и вогнутой стороны сколиотической дуги. Однако суммарно для грудного и поясничного отделов позвоночника данные различия во времени нивелировались. Таким образом, время, затраченное на создание траекторий в костных структурах позвонков для транспедикулярных опорных элементов спинальной системы с каждой стороны

относительно срединной плоскости, проходящей через линию остистых отростков, было сопоставимым независимо от вогнутой или выпуклой стороны искривления позвоночника.

При проведении анализа данных литературы, посвященной вопросам использования транспедикулярной фиксации позвоночника, корректности установки винтов, величины коррекции деформации, в частности при подростковом идиопатическом сколиозе, на основании статистически подтвержденного сравнительного анализа авторы указывают, что применение винтовой фиксации обеспечивает значительно лучшую коррекцию деформации позвоночника, сохранение ее в корональной и сагиттальной плоскостях, более высокую удовлетворенность пациентов результатами по опроснику SRS-22, чем использование крюковых конструкций [5]. Однако проведенный другими авторами ретроспективный анализ данных 73 пациентов в возрасте от 3 до 58 лет с деформациями грудного и поясничного отделов позвоночника величиной от 20° до 134° (средняя величина $61^\circ \pm 4^\circ$) по Cobb показал, что из 1065 транспедикулярных винтов, установленных методом «свободной руки», 62 винта (5,8%) имели мальпозицию величиной более 4 мм, что представляет потенциальную опасность с точки зрения первичного или отсроченного повреждения невралных структур и сосудов [6]. Данные проведенного исследования использования навигационной системы с применением предоперационной компьютерной томографии в процессе вмешательства на поясничном отделе позвоночника у 112 больных (52 больных – спондилолистез, 31 – дегенеративный стеноз, 29 – повреждение позвоночника) показали, что компьютерная навигация позволяет устанавливать транспедикулярные винты с высокой точностью, однако установка 6 винтов занимала 30 минут [7]. Анализ результатов хирургической коррекции идиопатического сколиоза грудной локализации, в том числе и тяжелых форм, с использованием системы активной оптической 3D-КТ навигации показал, что применение многоопорных транспедикулярных металлоконструкций позволяет увеличить величину коррекции деформации, выполнить истинную деротацию тел позвонков на вершине искривления, обеспечить высокую корректность установки транспедикулярных винтов и сохранить достигнутый результат в послеоперационном периоде [8, 9]. Также данные настоящего исследования подтверждаются результатами работы, в которой проведен сравнительный анализ хирургического лечения 62 пациентов с подростковым идиопатическим сколиозом при использовании системы активной оптической 3D-КТ навигации и метода «свободной руки». Для интраоперационной регистрации применяли анатомические ориентиры позвонков предоперационной компьютерной томографии позвоночника. Навигация позволила получить статистически достоверно более точную установку винтов в позвонки по сравнению с методом «свободной руки» (мальпозиция 1,6%

против 5,1%, $p < 0,0001$) с незначительным увеличением времени формирования канала для транспедикулярных винтов [10].

Заключение. В результате проведенного исследования определены хронометрические параметры использования навигационного оборудования в ходе хирургического вмешательства из расчета на один позвонок. В ходе работы установлено, что время, необходимое для закрепления трекера, предназначенного для задания системы нулевых координат, составило в среднем 32 секунды. Среднее значение времени, затрачиваемого на проведение интраоперационной регистрации со сбором трех референтных точек, расположенных на анатомических ориентирах регистрируемого позвонка, составило менее 25 секунд. Среднее значение времени интраоперационной регистрации, необходимое для выполнения процедуры сбора неспецифических точек, расположенных на поверхности задних костных структур позвонка, составило менее 90 секунд для каждого регистрируемого позвонка. Время, затраченное на создание траектории ходов, предназначенных для выполнения имплантации транспедикулярных винтов, в среднем составило 40 секунд. Среднее значение показателя времени, затраченного в целом на проведение интраоперационного этапа навигации для одного хирургического вмешательства, составило 1440,3 секунды (24 минуты). Таким образом, использование навигационного оборудования в ходе хирургического вмешательства у детей с идиопатическим сколиозом не увеличивает общее время операции, при этом обеспечивает точность и корректность установки опорных элементов спинальной системы с учетом сложных, измененных в пространстве взаимоотношений элементов костных структур деформированных позвонков.

Список литературы

1. Васюра А.С., Новиков В.В., Михайловский М.В., Долотин Д.Н., Суздалов В.А., Сорокин А.Н., Удалова И.Г. Хирургическое лечение сколиоза с применением метода транспедикулярной фиксации // Хирургия позвоночника. 2011. № 2. С. 27–34.
2. Ветрилэ С.Т., Кулешов А.А., Швец В.В., Кисель А.А., Ветрилэ М.С., Гусейнов В.Г. Концепция оперативного лечения различных форм сколиоза с использованием современных технологий // Хирургия позвоночника. 2009. № 4. С. 21–30.
3. Кулешов А.А., Лисянский И.Н., Ветрилэ М.С., Гаврюшенко Н.С., Фомин Л.В. Сравнительное экспериментальное исследование крючковой и транспедикулярной систем фиксации, применяемых при хирургическом лечении деформаций позвоночника // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2012. № 3. С. 20-24.

4. Михайловский М.В., Фомичев Н.Г. Хирургия деформаций позвоночника – Новосибирск: Redactio, 2011. 592 с.
5. Yilmaz G., Borkhuu B., Dhawale A.A., Oto M., Littleton A.G., Mason D.E., Gabos P.G., Shah S.A. Comparative analysis of hook, hybrid, and pedicle screw instrumentation in the posterior treatment of adolescent idiopathic scoliosis. *J. Pediatr. Orthop.* 2012. Vol. 32. No 5. P. 490–499.
6. Губин А.В., Рябых С.О., Бурцев А.В. Ретроспективный анализ мальпозиции винтов после инструментальной коррекции деформаций грудного и поясничного отделов позвоночника // Хирургия позвоночника. 2015. Т. 12. № 1. С. 8-13.
7. Белецкий А.В., Мазуренко А.Н., Макаревич С.В., Зарецкий С.В., Петренко А.М., Воронович И.Р., Юрченко С.М. Установка транспедикулярных винтов в поясничном отделе позвоночника с применением компьютерной навигации // Ортопедия, травматология и протезирование. 2010. № 3. С. 89-95.
8. Виссарионов С.В., Дроздецкий А.П., Кокушин Д.Н., Белянчиков С.М. Коррекция идиопатического сколиоза у детей под контролем 3D-КТ-навигации // Хирургия позвоночника. 2012. № 2. С. 30-36.
9. Виссарионов С.В., Кокушин Д.Н., Белянчиков С.М., Мурашко В.В., Картавенко К.А., Надиров Н.Н. Хирургическое лечение детей с идиопатическим сколиозом типа Lenke I с применением тотальной транспедикулярной фиксации // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2014. Т. 2. № 2. С. 3-8.
10. Vissarionov S., Schroeder J.E., Novikov S.N., Kokyshin D., Belanchikov S., Kaplan L. The utility of 3-dimensional-navigation in the surgical treatment of children with idiopathic scoliosis. *Spine Deformity.* 2014. Vol. 2. No 4. P. 270-275.