

На правах рукописи

КОКУШИН

Дмитрий Николаевич

**ПРИНЦИПЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ АКТИВНОЙ
ОПТИЧЕСКОЙ 3D-КТ НАВИГАЦИИ ПРИ ХИРУРГИЧЕСКОМ
ЛЕЧЕНИИ ДЕТЕЙ С ИДИОПАТИЧЕСКИМ СКОЛИОЗОМ**

14.01.15-травматология и ортопедия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Санкт-Петербург – 2016

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Научно-исследовательский детский ортопедический институт имени Г.И. Турнера» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Научный руководитель:

доктор медицинских наук **Виссарионов Сергей Валентинович**

Официальные оппоненты:

Губин Александр Вадимович – доктор медицинских наук ФГБУ «Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» имени академика Г.А. Илизарова» Минздрава России, директор

Кулешов Александр Алексеевич – доктор медицинских наук, ФГБУ «Центральный научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии имени Н.Н. Приорова» Минздрава России, группа вертебрологии руководитель

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Минздрава России

Защита состоится 20 декабря 2016г. в ____ часов на заседании объединенного диссертационного совета Д 999.037.02 в ФГБУ «Российский орден Трудового Красного знамени научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии имени Р.Р. Вредена» Министерства здравоохранения Российской Федерации (195427, Санкт-Петербург, ул. Академика Байкова, дом 8).

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБУ «РНИИТО им. Р.Р.Вредена» Минздрава России и на сайте <http://dissovet.rniito.ru/>

Автореферат разослан « » _____ 2016 г.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 999.037.02

кандидат медицинских наук



Денисов А.О.

ВВЕДЕНИЕ

Хирургическое лечение детей с идиопатическим сколиозом остается актуальной и важной проблемой до настоящего времени. В последние годы для коррекции деформации позвоночника при идиопатическом сколиозе стали использовать металлоконструкции с транспедикулярными опорными элементами. Применение данного варианта спинальных систем для коррекции искривления позвоночного столба при идиопатическом сколиозе является более предпочтительным по сравнению с гибридными и ламинарными конструкциями (Васюра А.С. с соавт., 2012; Yilmaz G. Et al., 2012). Преимущества эффективности транспедикулярных систем обусловлены достижением значительной величиной коррекции имеющейся деформации во всех трех плоскостях, уменьшения протяженности инструментализации, сохранением достигнутого результата лечения в отдаленном послеоперационном периоде (Кулешов А.А. с соавт., 2012; Губин А.В. с соавт., 2015; Yu B., Zhang J.G. et al., 2009). Однако, проведение транспедикулярных винтов у пациентов с идиопатическим сколиозом сопряжено с рядом трудностей, обусловленных выраженными анатомическими изменениями позвонков в результате сколиотического процесса. Риск возникновения и развития таких осложнений как перфорация и перелом корня дуги, стеноз позвоночного канала опорными элементами, неврологические нарушения, повреждение магистральных сосудов и органов средостения, при установке транспедикулярных опорных элементов, вынуждает многих хирургов использовать для фиксации верхнегрудного и среднегрудного отделов позвоночника ламинарные и педикулярные крюки (Suk S.I. et al., 1999; Liljenqvist U. et al., 2002; Kim Y.J. et al., 2006; Karatoprak O. et al., 2008; Hicks J.M. et al., 2010).

Использование навигационных систем во время хирургической коррекции идиопатического сколиоза у детей является новым и перспективным методом, позволяющим существенно увеличить

возможность установки винтов в деформированные позвонки, вовлеченные в дугу искривления, и значительно уменьшить риск осложнений в ходе операции (Виссарионов С.В., 2014). По данным ряда исследователей проведение хирургических вмешательств на позвоночнике при различных его заболеваниях (дегенеративные поражения, переломы, опухоли позвоночника, идиопатический сколиоз и др.) с применением навигационной ассистенции позволяет повысить точность установки транспедикулярных винтов в 1,3-1,7 раза (Ishikawa Y. et al., 2010; Tian Nai-Feng, Xu Hua-Zi, 2011).

В настоящее время в ходе хирургического вмешательства у пациентов с патологией позвоночника используется нескольких видов навигационного контроля. Основными из них являются 2D-флюоронавигация, 3D-флюоронавигация, 3D-КТ-навигация с регистрацией по анатомическим ориентирам и интраоперационная 3D-КТ- навигация (Gebhard F.T. et al., 2006; Jarvers J.S. et al., 2011; Tian Nai-Feng, Huang Qi-Shan et al., 2011). Анализ литературных данных указывает на то, что интраоперационная 3D-КТ навигация обладает наибольшей точностью и может рассматриваться в качестве оптимального метода при установке транспедикулярных винтов в ходе оперативного вмешательства (Tormenti M.J. et al., 2010; Tian Nai-Feng, Huang Qi-Shan et al., 2011). Однако ее использование ограничено высокой стоимостью применяемого оборудования, малой доступностью, повышенным риском контаминации операционного поля и увеличением лучевой нагрузки для пациента при многоуровневой регистрации.

Данные по использованию системы оптической 3D-КТ навигации при хирургическом лечении детей с идиопатическим сколиозом в настоящее время в отечественной литературе отсутствуют. Аспекты применения данного вида навигации у детей не определены и не изучены.

Таким образом, проблема на сегодняшний день актуальна, требует разработки и решения.

Цель исследования: разработать и обосновать методику применения системы активной оптической 3D-КТ навигации в хирургическом лечении детей с идиопатическим сколиозом.

Задачи исследования

1. Оценить особенности анатомо-антропометрического строения и пространственного взаимоотношения костных структур позвоночника у детей с идиопатическим сколиозом в программе Spine Map 3D навигационной станции.

2. Определить анатомические ориентиры и количество референтных точек для регистрации в грудном и поясничном отделе позвоночника в ходе операции у детей с идиопатическим сколиозом.

3. Определить возможное количество позвонков, в которых могут быть сформированы костные каналы для транспедикулярных опорных элементов, с одного уровня регистрации в грудном и поясничном отделе позвоночника.

4. Оценить временные характеристики использования системы активной оптической 3D-КТ навигации в ходе хирургического вмешательства при идиопатическом сколиозе у детей.

5. Провести сравнительный анализ корректности, правильности и стабильности установки транспедикулярных винтов в позвонки у детей с идиопатическим сколиозом методом «free-hand» и с применением системы активной оптической 3D-КТ навигации.

6. Разработать алгоритм использования 3D-КТ навигации при коррекции деформации позвоночника у детей с идиопатическим сколиозом.

Научная новизна исследования

1. Разработан новый метод измерения пространственных взаимоотношений позвонков у детей с идиопатическим сколиозом: «Способ измерения ротации тел позвонков у детей с идиопатическим сколиозом» (патент РФ №2587035 от 19.05.2016).

2. Установлена неизвестная ранее закономерность: «Закономерность изменения анатомо-антропометрических показателей корней дуг позвонков у детей с правосторонним идиопатическим сколиозом грудной локализации» (свидетельство №490 на открытие от 18.03.2016, выдано Российской Академией естественных наук и Международной академией авторов научных открытий и изобретений).

3. Впервые изучены особенности анатомо-антропометрического строения костных структур позвонков у детей с идиопатическим сколиозом в программе Spine Map 3D навигационной станции.

4. Обоснована новая рациональная последовательность этапов регистрации анатомических ориентиров для используемой программы в грудном и поясничном отделах позвоночника.

5. Впервые проведен сравнительный анализ корректности и стабильности установки транспедикулярных винтов в тела позвонков у детей с идиопатическим сколиозом методом «free-hand» и с применением системы оптической 3D-КТ навигации на основе балльной градации по шкале Gertzbein.

6. В результате проведенных исследований разработан новый методологический подход к использованию системы активной оптической 3D-КТ навигации при хирургическом лечении детей с идиопатическим сколиозом.

Практическая значимость исследования

1. Оценка анатомо-антропометрических особенностей строения костных структур позвонков у детей с идиопатическим сколиозом в навигационной станции позволяет провести рациональное предоперационное планирование возможности и корректности установки транспедикулярных винтов на протяжении сколиотической дуги деформации.

2. Определен оптимальный набор референтных точек, используемых при регистрации по анатомическим ориентирам, в грудном и поясничном отделах позвоночника у детей с идиопатическим сколиозом.

3. Проведение интраоперационной регистрации по анатомическим ориентирам и поверхности костных структур задней опорной колонны позвонков уменьшает величину среднеквадратичной погрешности ошибки.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Оценка анатомо-антропометрических особенностей позвонков в навигационной станции у детей с идиопатическим сколиозом является определяющим моментом проведения и корректной установки транспедикулярных винтов металлоконструкции.

2. Предложенное количество и последовательность референтных точек при регистрации по анатомическим ориентирам в грудном и поясничном отделе позвоночника у детей с идиопатическим сколиозом позволяет получить минимальную среднеквадратичную погрешность ошибки для корректной установки транспедикулярного винта.

3. Наличие точности совпадения контуров дорсальных костных структур позвонка у пациента с идиопатическим сколиозом в ходе операции с контурами его виртуальной 3D-модели в навигационной станции является обязательным условием перед началом процедуры формирования костных каналов для транспедикулярных винтов.

Апробация и реализация результатов работы.

Основные результаты исследования доложены на XVI конгрессе педиатров с международным участием «Актуальные проблемы педиатрии» (Москва, 2012); научно-практической конференции, посвященной 180-летию Детской городской клинической больницы №5 им.Н.Ф.Филатова «Современные технологии диагностики и лечения детей и подростков»,

(Санкт-Петербург 2014); на VI съезде хирургов-вертебрологов России Межрегиональной общественной организации «Ассоциация хирургов-вертебрологов» «Вертебрология в России: перспективы, проблемы и пути решения» (Краснодар, 2015); научно-практической конференции с международным участием для травматологов-ортопедов и нейрохирургов «Деформации позвоночника – динамика на протяжении всей жизни» (Санкт-Петербург, 2015); на конференции «Spinal Surgery in Private Clinic: Challenges and Innovations» (Хельсинки, Финляндия, 2015).

По теме диссертации опубликовано 17 работ, в том числе 5 статей в журналах, входящих в перечень ВАК, получен один патент РФ на изобретение, свидетельство РАЕН на открытие.

Результаты исследования внедрены в клиническую работу отделения патологии позвоночника и нейрохирургии ФГБУ «НИДОИ им. Г.И. Турнера» Минздрава России. Материалы диссертационного исследования используются при чтении лекций и проведении семинаров для специалистов, проходящих усовершенствование по программе дополнительного профессионального образования на кафедре детской травматологии и ортопедии ГБОУ ВПО «СЗГМУ им. И.И. Мечникова» Минздрава России и на базе ФГБУ «НИДОИ им. Г.И. Турнера» Минздрава России.

Объем и структура диссертации

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка литературы. Материал изложен на 209 страницах машинописного текста, иллюстрирован 33 таблицами и 66 рисунками. Библиографический указатель включает 172 источника литературы, в том числе 35 отечественных и 137 зарубежных.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, освещена его научная новизна и практическая

значимость, изложены основные положения, вынесенные на защиту, представлены сведения о реализации и апробации работы, объеме и структуре диссертации.

В первой главе представлен анализ отечественных и зарубежных публикаций, посвященных изучению методов хирургического лечения детей с идиопатическим сколиозом. Проведен обзор эволюции дорсальных спинальных систем в хирургии деформаций позвоночника при идиопатическом сколиозе. Выполнен критический анализ современных методов установки транспедикулярных винтов и возможных осложнений, связанных с данным видом фиксации. Освещено современное состояние данных литературы, описывающих анатомо-антропометрические особенности строения костных структур позвонков при идиопатическом сколиозе. Выявлено, что аспекты использования систем оптической 3D-КТ навигации в хирургическом лечении детей с идиопатическим сколиозом в литературе в настоящее время до конца не раскрыты.

Подобная ситуация в современной медицине определила цель и задачи диссертационной работы.

Вторая глава посвящена представлению клинического материала и использованных методов исследования. Работа основана на анализе результатов обследования 96 пациентов: 18 (18,8%) пациентов мужского пола и 78 (81,3%) больных женского пола в возрасте от 14 до 18 лет с идиопатическим сколиозом 3 и 4 степени грудной, грудопоясничной и поясничной локализации. Исследование проведено в отделении патологии позвоночника и нейрохирургии ФГБУ «НИДОИ им. Г.И. Турнера» Минздрава России в период с 2011 по 2015 год.

Основную группу составили 66 пациентов с идиопатическим сколиозом 3-4 степени. В данной группе установку транспедикулярных опорных элементов (ТПФ) выполняли с помощью системы активной оптической 3D-КТ навигации. В контрольную группу вошло 30 детей с идиопатическим сколиозом аналогичной локализации, которым установку транспедикулярных винтов осуществляли методом «свободной руки».

В основной группе наблюдения у 11 (17%) пациентов диагностирована 3 степень и у 55 (83%) - 4 степень сколиотической деформации позвоночника, контрольную группу составили 6 (20%) пациентов с 3 степенью и 24 (80%) – с 4 степенью. Согласно классификации L. Lenke, в основной группе наблюдения I тип деформации имели 40 (60,6%) пациентов, V тип деформации - 26 (39,4%) детей. В контрольной группе наблюдения I тип деформации имели 18 (60%) пациентов, V тип деформации - 12 (40%) детей.

В ходе исследования у пациентов основной и контрольной групп при помощи рентгенологического метода оценивали величины ведущей дуги сколиотической деформации и полученной коррекции, сагиттальный профиль позвоночника. Для оценки корректности установки транспедикулярных винтов всем пациентам после операции выполняли компьютерную томографию (КТ) позвоночника. У пациентов основной группы при помощи анатомо-антропометрического метода в программной среде SpineMap 3D навигационной станции измеряли внешний поперечный и продольный диаметры правого и левого корней дуг позвонков грудного и поясничного отделов позвоночника, измеряли общий угол сколиоза, ротацию апикального и периапикальных позвонков (патент РФ №2587035 на изобретение «Способ измерения ротации тел позвонков у детей с идиопатическим сколиозом»). На основании метода оценки погрешности интраоперационной регистрации в навигационной установке фиксировали среднеквадратичную погрешность, полученную при регистрации по анатомическим ориентирам и по поверхности задних костных структур позвонков. При помощи секундомера фиксировали временные характеристики работы с навигационным оборудованием в операционной.

Срок наблюдения в основной группе пациентов составил от 3 до 5 лет ($3,4 \pm 0,5$ года), в контрольной группе – от 3 до 5,5 лет ($3,9 \pm 0,9$ лет). Контрольное обследование осуществляли непосредственно после

хирургического вмешательства, затем через 6, 12, 18 месяцев и в дальнейшем 1 раз в год.

Статистическая обработка проведена с использованием пакета программы Statistika 6,0. Достоверность различий между группами наблюдений оценивалась по непараметрическому парному критерию Стьюдента с двухсторонним распределением (уровень значимости $P < 0,05$). Для оценки анатомо-антропометрических характеристик позвонков и коэффициентов асимметрии использованы описательные статистики, визуальный анализ диаграмм Тьюки, критерий Колмогорова-Смирнова, корреляционный анализ и метод корреляционных плеяд В.П. Терентьева.

В третьей главе описаны особенности применения системы оптической 3D-КТ-навигации при хирургическом лечении детей с идиопатическим сколиозом. Отражены основные принципы работы навигационной станции. Проведено подробное описание специфики предоперационного обследования детей с идиопатическим сколиозом, раскрыты особенности предоперационного планирования в навигационной станции. Представлено описание особенностей проведения интраоперационной навигации в ходе операции. Необходимо отметить, что данные особенности в порядке построения последовательности действий при работе с навигационной станцией и технические нюансы, выработанные нами в процессе освоения навигационной техники, явились основой к разработке алгоритма использования 3D-КТ навигации при коррекции деформации позвоночника у детей с идиопатическим сколиозом.

В четвертой главе проведен анализ особенностей анатомо-антропометрического строения и пространственного взаимоотношения костных структур позвонков, входящих в дугу искривления, у детей с идиопатическим сколиозом при помощи программного обеспечения Spine Map 3D навигационной станции у 66 пациентов основной группы. На основании данных КТ-исследования позвоночника, импортированных в навигационную станцию, оценивали величину основной дуги сколиотической деформации, ротацию апикального и периапикальных

позвонков, внешний поперечный и продольный диаметры корней дуг с уровня Th2 до L5 позвонка. Вычисляли, разработанные нами, коэффициенты асимметрии поперечного и продольного диаметров корней дуг позвонков и их площадей.

У 40 пациентов с идиопатическим сколиоз грудной локализации с правосторонней направленностью обнаружена сильная корреляционная связь между величиной ротацией апикального позвонка, основным углом сколиотической деформации и коэффициентом асимметрии продольных диаметров корней дуг вершинного позвонка. Впервые выявлена закономерность, заключающаяся в значительной асимметрии правых и левых поперечных диаметров корней дуг позвонков верхнегрудного отдела позвоночника на уровне Th3-Th4 позвонков, вне зоны основной дуги искривления (свидетельство РАЕН на открытие №490 «Закономерность изменения анатомо-антропометрических показателей корней дуг позвонков у детей с правосторонним идиопатическим сколиозом грудной локализации»). У всех пациентов отмечалось преобладание размеров поперечных диаметров левых корней дуг позвонков над правыми, подтверждавшееся их коэффициентом асимметрии, медиана которого для уровня Th3 и Th4 позвонков составила 0,60-0,63.

У 26 пациентов с идиопатическим левосторонним сколиозом груднопоясничной/поясничной локализации установлено, что анатомические размеры поперечных и продольных диаметров корней дуг с вогнутой и выпуклой стороны на вершине основной дуги деформации в среднем превышают 4,0 мм. Эта особенность позволяет у данной категории пациентов осуществить тотальную транспедикулярную фиксацию на протяжении дуги искривления с обеих сторон. Данная особенность является кардинальным отличием от сколиотической деформации у пациентов с типом Lenke I, где с вогнутой стороны основной дуги искривления поперечный диаметр корней дуг позвонков апикальной зоны составил в среднем 3,6 мм при величине сколиотической деформации от 33,7° до 136°.

На основании проведенного статистического сравнительного анализа коэффициентов асимметрии поперечного и продольного диаметров корней дуг и коэффициента асимметрии площадей корней дуг, установлено достоверное ($p < 0,05$) отличие, заключающееся в большей выраженности асимметрии поперечных и продольных диаметров корней дуг позвонков апикальной зоны при I типе идиопатического сколиоза по Lenke в сравнении с апикальными позвонками при V типе.

Таким образом, знание анатомо-антропометрических параметров и пространственных взаимоотношений костных структур позвонков в основной дуге деформации позволили осуществить предоперационное планирование, точно определить уровни и возможности корректной установки транспедикулярных опорных элементов металлоконструкции во время хирургического вмешательства.

В **пятой главе** представлены и проанализированы результаты исследования интраоперационных протоколов работы системы активной оптической 3D-КТ-навигации у 66 пациентов основной группы.

На основании метода оценки среднеквадратичной погрешности интраоперационной регистрации определены анатомические ориентиры и количество референтных точек для регистрации в грудном и поясничном отделах позвоночника во время хирургического вмешательства. Установлено, что в грудном отделе позвоночника оптимальными анатомическими костными структурами позвонка, используемых в качестве референтных точек для проведения интраоперационной регистрации, являются 3 точки: середина вершины остистого отростка и вершины поперечных отростков регистрируемого позвонка. Для проведения регистрации в поясничном отделе позвоночника в качестве референтных точек используют также 3 точки: середину вершины остистого отростка регистрируемого позвонка и середину дугоотростчатого сустава между регистрируемым и вышележащим позвонком с обеих сторон относительно линии остистых отростков. На основании проведенного статистического

анализа полученной ошибки регистрации по анатомическим ориентирами, установлено, что при использовании такого количества и последовательности референтных точек в грудном и поясничном отделах позвоночника среднее геометрическое значение погрешности составляет менее 1,0 мм. Определено, что среднегеометрическое значение величины погрешности при регистрации по поверхности для большинства позвонков составило менее 0,5 мм.

В результате проведенного исследования процедуры формирования костных каналов для транспедикулярной фиксации при помощи системы активной оптической 3D-КТ навигации установлено, что в верхнегрудном отделе позвоночника в среднем с одного уровня регистрации по анатомическим ориентирам и по поверхности удалось сформировать каналы для транспедикулярных винтов в 1,9 позвонка. Для среднегрудного отдела позвоночника соотношение уровень регистрации к инструментированным позвонкам составило – 1/1,5, а в нижнегрудном отделе – 1/2,2. В поясничном отделе позвоночника соотношение уровня регистрации к позвонкам, позволяющее сохранить точность сопряжения контуров кортикального слоя позвонка с контурами его виртуальной 3D-модели, составило 1/2,3.

На основании разработанного хронометрического протокола изучены временные характеристики при работе с навигационной станцией на интраоперационном этапе. По результатам проведенного исследования время установки нулевого трекера пациента составило от 35 до 82 секунд (в среднем 55 секунд), медиана значений времени регистрации по анатомическим ориентирам почти на всех уровнях позвонков имела значение менее 20 секунд; медиана значений времени регистрации по поверхности составляла менее 70 секунд. Время, затраченное на формирование костных каналов для транспедикулярных винтов, с левой стороны относительно линии остистых отростков позвоночника в грудном и поясничном отделах составило от 12 до 409 секунд, с правой стороны относительно линии остистых отростков - от 12 до 480 секунд. Значение

медианы времени для большинства уровней позвонков составило менее 60 секунд. Среднегеометрическое значение показателя времени, затраченного на проведение навигации на одно хирургическое вмешательство, составило 1555,4 секунд (25,9 минут).

В **шестой главе** проведен сравнительный анализ хирургического лечения 96 пациентов с идиопатическим сколиозом.

Средние величины угла основной дуги сколиотической деформации перед проведением хирургического лечения в основной и контрольной группах были схожими и составили 71° (40-136°) и 69° (44-128°) по Cobb, соответственно. Процент коррекции сколиотической деформации позвоночника после выполненного хирургического вмешательства в основной группе составил 83,7% (48-100%) и был значимо выше ($P < 0,05$) процента коррекции в контрольной группе наблюдения - 60,3% (30-72%).

Общее количество транспедикулярных винтов в основной группе наблюдения составило 1166, в контрольной группе – 546. В основной группе наблюдения отмечено статистически значимое ($P < 0,0001$) большее количество установленных транспедикулярных винтов в грудном отделе позвоночника по сравнению с контрольной группой.

Сравнительный анализ корректности положения ТПФ, установленных в позвонки под контролем 3D-КТ навигации и при помощи метода «свободной руки», выполнен на основании шкалы S.D. Gertzbein et al. (1990): Grade 0 – транспедикулярный винт полностью находится в корне дуги, Grade I – смещение транспедикулярного опорного элемента относительно кортикала корня дуги до 2 мм, Grade II – смещение винта находится в пределах от 2 до 4 мм, Grade III – более 4 мм.

Корректное и стабильное положение винтов в основной группе в целом отмечено в 96% наблюдений (1119 винтов), не корректное положение винтов при проведении анализа данных послеоперационного КТ позвоночника выявлено в 4% наблюдений (47 винтов). В контрольной

группе пациентов корректное положение отмечено в 78% случаев (426 винтов), количество некорректно установленных транспедикулярных опорных элементов по сравнению с основной группой было достоверно больше ($P < 0,05$) и составило 22% (120 винтов). Во всех наблюдениях не корректное стояние винтов не вызывало неврологических нарушений.

На основании изучения особенностей работы системы активной оптической 3D-КТ навигации, специфики предоперационного планирования и интраоперационного этапа работы разработан алгоритм использования 3D-КТ навигации при коррекции деформации позвоночника у детей с идиопатическим сколиозом. В результате проведенного анализа алгоритм обоснован и представлен в виде схемы, включающей в себя мероприятия, разделенные на три этапа.

Первый этап данного алгоритма, обозначенный нами как «Предоперационное обследование и планирование в навигационной станции», описывает последовательность действий при выполнении КТ-сканирования позвоночника в зависимости от объема хирургического вмешательства. Критерием корректной установки ТПФ является размер поперечного диаметра корня дуги позвонка (trd) 4,0 мм и более (рис. 1).

Второй этап созданного алгоритма определяет последовательность действий при проведении процедуры интраоперационной регистрации. Данный этап учитывает анатомические особенности грудного и поясничного отделов позвоночника у детей с идиопатическим сколиозом и выбор референтных точек для проведения регистрации в зависимости от локализации регистрируемого позвонка (рис. 2).

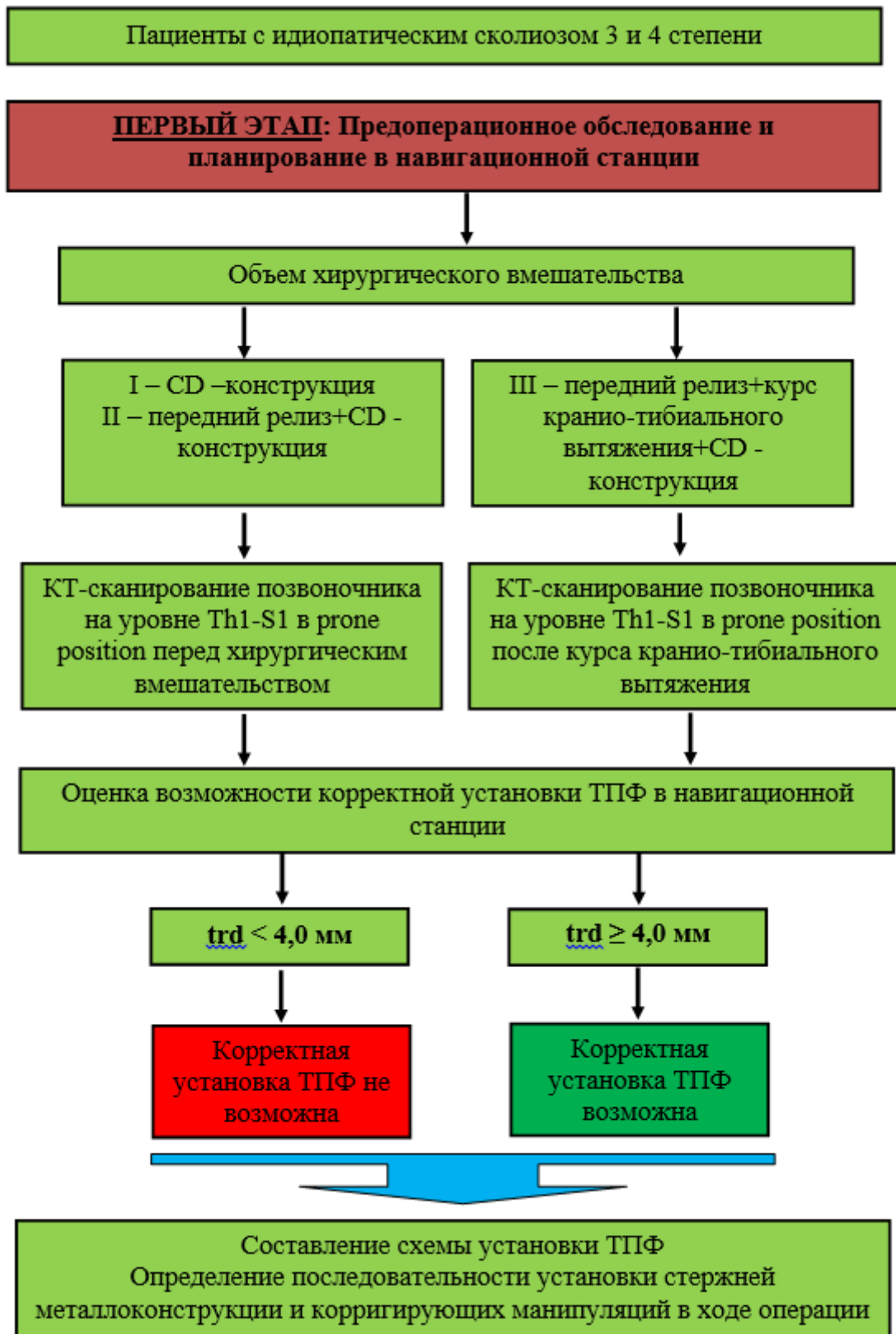


Рис. 1. Предоперационное обследование и планирование

Создана определенная последовательность действий, основанных на оценке величины среднеквадратичной погрешности, полученной при

проведении регистрации по анатомическим ориентирам и по поверхности, позволяющая обеспечить достаточную точность сопряжения контуров регистрируемого позвонка с контурами виртуальной 3D-модели позвоночника.

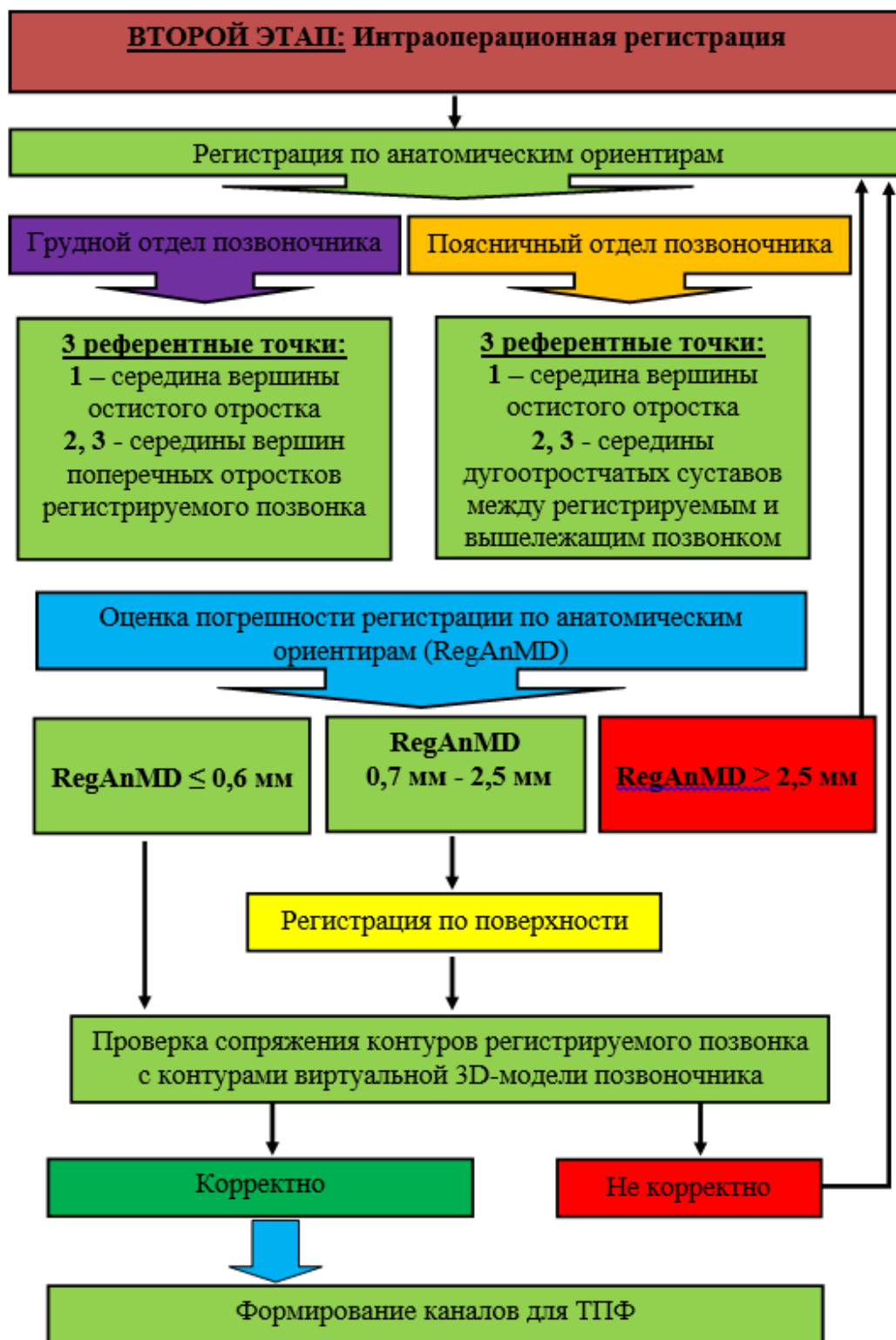


Рис. 2. Интраоперационная регистрация

Третий этап алгоритма, описывающий процедуру формирования каналов в телах позвонков для ТПФ, базируется на определении оптимального количества инструментированных позвонков с одного уровня регистрации (рис. 3).

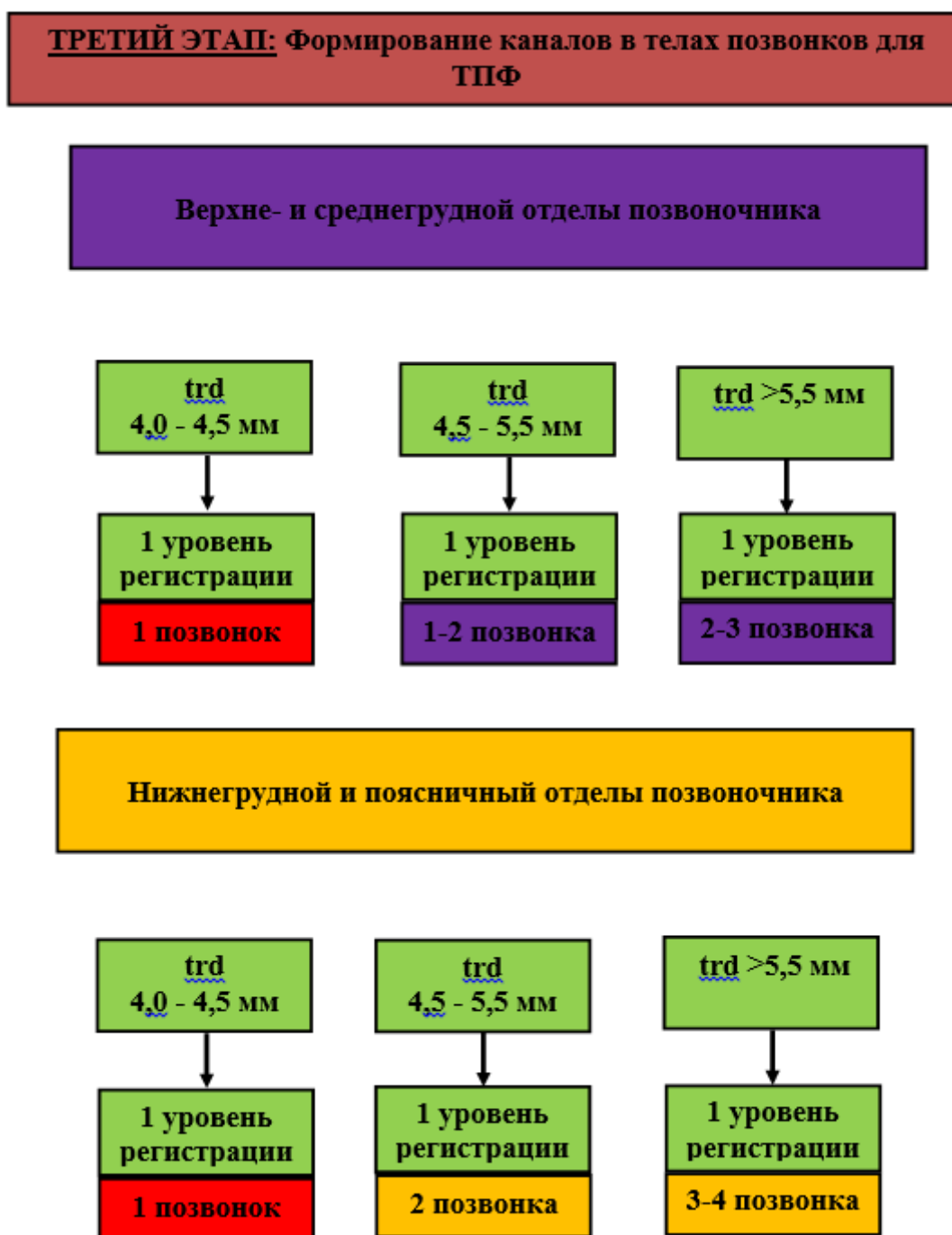


Рис. 3. Формирование каналов в телах позвонков для ТПФ

Последовательность действий на данном этапе определяется анатомическим отделом позвоночника, в котором осуществляют установку

транспедикулярных опорных элементов, и анатомо-антропометрическими особенностями корней дуг инструментируемого позвонка.

Следует отметить, что предложенный алгоритм использования 3D-КТ навигации при коррекции деформации позвоночника у детей с идиопатическим сколиозом учитывает выявленные особенности навигационной ассистенции. Предложенный алгоритм позволит улучшить результаты коррекции деформации позвоночника и достичь корректной и стабильной установки транспедикулярных опорных элементов в тела позвонков на протяжении сколиотической дуги деформации.

В заключении подведены общие итоги проведенной работы, кратко обсуждены полученные результаты, а также представлены сведения по решению всех шести задач диссертационного исследования и реализации его цели.

ВЫВОДЫ

1. Выраженность структуральных изменений на вершине основной дуги искривления у детей с идиопатическим сколиозом грудной, грудопоясничной и поясничной локализации характеризуется сильными корреляционными связями ($|r| > 0,7$) между величиной угла сколиотической деформации, ротацией и коэффициентом асимметрии продольных диаметров корней дуг апикального позвонка. Поперечный диаметр корней дуг позвонков с вогнутой стороны вершины основной дуги искривления при идиопатическом сколиозе тип Lenke I составил в среднем 3,6 мм, при идиопатическом сколиозе тип Lenke V превышал в среднем 4,0 мм. У детей с идиопатическим сколиозом грудной локализации имеется достоверно большая выраженность асимметрии поперечных и продольных диаметров корней дуг позвонков апикальной зоны ($p < 0,05$).

2. У детей с идиопатическим сколиозом анатомическими ориентирами для регистрации в ходе операции являются 3 референтные точки: в грудном отделе позвоночника - середина вершины остистого отростка и середина

вершин поперечных отростков регистрируемого позвонка; в поясничном отделе - середина вершины остистого отростка регистрируемого позвонка и середина дугоотростчатого сустава между регистрируемым и вышележащим позвонком с обеих сторон относительно линии остистых отростков.

3. Количество позвонков, в которых сформированы костные каналы для установки транспедикулярных опорных элементов, с одного уровня регистрации в верхнегрудном отделе позвоночника составляет 1,9 позвонка, для среднегрудного отдела позвоночника – 1,5, в нижнегрудном отделе – 2,2 позвонка, в поясничном отделе позвоночника - 2,3 инструментированных позвонка ($P < 0,05$).

4. Временные характеристики из расчета на один позвонок, затраченные при использовании навигационной станции в ходе операции, составили: установка нулевого трекера пациента - 55 секунд, регистрация по анатомическим ориентирам - 20 секунд, регистрация по поверхности - 70 секунд, формирование костных каналов для транспедикулярных винтов - 60 секунд. Среднегеометрическое значение показателя времени, затраченного на проведение навигации на одно хирургическое вмешательство, составило 1555,4 секунд (25,9 минут).

5. Использование системы активной оптической 3D-КТ навигации при хирургическом лечении детей с идиопатическим сколиозом позволяет обеспечить корректное положение винтов в костных структурах инструментированных позвонков в 96% наблюдений, что достоверно выше ($P < 0,05$) в сравнении с методом «free-hand», обеспечивающим корректное положение транспедикулярных винтов в 78% случаев.

6. Предложенный алгоритм использования системы активной оптической 3D-КТ навигации при коррекции деформации позвоночника у детей с идиопатическим сколиозом, включающий в себя определенную последовательность действий при проведении предоперационного обследования и планирования, интраоперационной регистрации и

процедуры формирования каналов в телах позвонков для транспедикулярных винтов, позволил научно обосновать методику применения данной системы в клинической практике и способствовать улучшению коррекции сколиотического компонента деформации позвоночника.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Для возможности использования навигационной установки в ходе хирургического вмешательства необходимо выполнение КТ исследования позвоночника в положении пациента на животе (параметры сканирования - толщина среза – 1,0 мм, размер матрицы – 512 на 512 пикселей) с целью максимального приближения его положения на операционном столе.

2. Величина внешнего поперечного диаметра корня дуги позвонка более 4 мм, определенная в программе Spine Map 3D навигационной станции, является критерием возможности и корректной установки транспедикулярных винтов на протяжении сколиотической дуги деформации позвоночника.

3. При получении среднеквадратичной погрешности при регистрации по анатомическим ориентирам более 0,6 мм необходимо выполнение регистрации по поверхности задних костных структур регистрируемого позвонка.

4. Проверка правильности и точности сопряжения контуров регистрируемого позвонка в ходе операции с контурами виртуальной 3D-модели позвоночника является ключевым моментом в определении корректности работы навигационной системы и инструментов.

5. Алгоритм использования системы активной оптической 3D-КТ навигации при коррекции деформации позвоночника у детей с идиопатическим сколиозом позволит улучшить результаты коррекции деформации позвоночника, достичь корректной и стабильной установки

транспедикулярных опорных элементов в тела позвонков на протяжении сколиотической дуги деформации.

СПИСОК РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Виссарионов С.В., Кокушин Д.Н., Белянчиков С.М., Дроздецкий А.П. Использование компьютерной навигации при хирургической коррекции идиопатического сколиоза у детей // Вестник всероссийской гильдии протезистов-ортопедов. – 2011. - №3(45). - С. 59-60.

2. **Виссарионов С.В., Кокушин Д.Н., Дроздецкий А.П., Белянчиков С.М. Технология использования 3D-КТ навигации в хирургическом лечении детей с идиопатическим сколиозом // Хирургия позвоночника. – 2012. - №1. – С.41-48.**

3. Виссарионов С.В., Кокушин Д.Н., Дроздецкий А.П., Белянчиков С.М. Выбор положения референтных точек, используемых при 3D-КТ навигации в хирургическом лечении детей с идиопатическим сколиозом. // Материалы III съезда хирургов-вертебрологов России. - Санкт-Петербург, 2012. – С.40-41.

4. **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.30-37.**

5. Vissarionov S.V., Drozdetsky A.P., Kokushin D.N., Belyanchikov S.M. Correction of idiopathic scoliosis in children under 3D-CT navigation // Hirurgia pozvonocnika (Spine Surgery). – 2013. - P.1-7.

6. Vissarionov S.V., Kokushin D.N., Drozdetsky A.P., Belyanchikov S.M. The 3D-CT navigation technology for surgical treatment of idiopathic scoliosis in children // Digest of spine surgery jornal Hirurgia pozvonocnika №1. - 2014. - P.3-8.

7. Vissarionov S., Schroeder J.E., Novikov S.N., Kokushin 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 – P.270-275.

8. Vissarionov S.V., Novikov S.N., Kokushin D.N., Belyanchikov S.M., Murashko V.V. Comparative analysis of the correction of spinal deformity transpedicular spinal systems in children with idiopathic scoliosis // The Third European Conference on Biology and Medical Sciences. – Austria, Vienna, 2014. - P.63-66.

9. Виссарионов С.В., Кокушин Д.Н., Белянчиков С.М., Мурашко В.В. Сравнительный анализ применения 3D-КТ-навигации при хирургической коррекции идиопатического сколиоза у детей // Современная медицина: актуальные вопросы. / Сб. статей по материалам XXXI междунар. науч.-практ. конф. № 5 (31). Новосибирск: Изд. «СибАК», 2014. 120 с. С.54-62.

10. Виссарионов С.В., Белянчиков С.М., Мурашко В.В., Надиров Н.Н. Хирургическая коррекция идиопатического сколиоза тип LenkeI у детей с

применением 3D-КТ навигации // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. - №11(3). – С.445-447.

11. Виссарионов С.В., Шредер Д.Е., Новиков С.Н., Кокушин Д.Н., Белянчиков С.М., Каплан Л. Применение трехмерной навигации в хирургическом лечении детей с идиопатическим сколиозом // Хирургия позвоночника. – 2015. – Т.12. - №1. - С.14-20.

12. Виссарионов С.В., Надиров Н.Н., Белянчиков С.М., Мурашко В.В., Картавенко К.А. Хирургическая коррекция деформации позвоночника у детей с идиопатическим сколиозом тип LenkeIII с применением 3D-КТ навигации // Успехи современного естествознания. – 2015. - №2. – С.14-20.

13. Кокушин Д.Н., Виссарионов С.В., Барт В.А. Оценка анатомо-антропометрических параметров костных структур позвонков у детей с идиопатическим сколиозом с использованием навигации // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. - №11 (часть 2). – С.207-211.

14. Кокушин Д.Н., Виссарионов С.В., Баиндурашвили А.Г., Барт В.А. Анализ анатомо-антропометрических параметров позвонков у детей с идиопатическим сколиозом грудной локализации с применением 3D-КТ-навигации // Хирургия позвоночника. - 2016. - Т. 13. - № 1. - С. 27-36.

15. Кокушин Д.Н., Виссарионов С.В., Баиндурашвили А.Г., Барт В.А., Богатырев Т.Б. Анализ анатомо-антропометрических параметров позвонков у детей с идиопатическим сколиозом типа LenkeV с применением 3D-КТ-навигации // Хирургия позвоночника. - 2016. - Т. 13. - № 3. - С. 49-59.

16. Кокушин Д.Н., Виссарионов С.В., Баиндурашвили А.Г., Барт В.А., Богатырев Т.Б. Оценка анатомо-антропометрических параметров костных структур позвонков у детей с идиопатическим сколиозом груднопоясничной и поясничной локализации с использованием навигации // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2016. - № 9-1. - С. 53-59.

17. Патент РФ на изобретение №2587035 Способ измерения ротации тел позвонков у детей с идиопатическим сколиозом. / Виссарионов С.В., Кокушин Д.Н. – 2015118867/14; заяв. 19.05.2015; опубл. 10.06.2016. Бюл. № 16.