

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОРРЕКЦИИ ИДИОПАТИЧЕСКОГО СКОЛИОЗА ГРУДНОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ У ДЕТЕЙ

Баиндурашвили А.Г.<sup>1</sup>, Филиппова А.Н.<sup>1</sup>, Кокушин Д.Н.<sup>1</sup>, Белянчиков С.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБУ «НИДОИ им. Г.И.Турнера» Минздрава России, Санкт-Петербург, e-mail: turner01@mail.ru

В настоящее время продолжается разработка и усовершенствование различных хирургических технологий, направленных на достижение оптимального результата исправления деформации, восстановление сагиттального баланса позвоночника, а также получение истинного деротационного эффекта позвонков на вершине сколиотической дуги. Проведен сравнительный анализ эффективности коррекции деформации позвоночника и деротации апикальных позвонков у 65 детей с идиопатическим сколиозом грудной локализации при использовании гибридных и транспедикулярных спинальных систем. У всех детей отмечался правосторонний тип деформации. Основная дуга деформации составила от 38° до 92° по Cobb. В зависимости от анатомо-антропометрических особенностей костных структур позвонков, входящих в дугу искривления, для коррекции деформации выполняли один из трех вариантов оперативного лечения. Коррекция деформации по первому варианту выполнена у 39 человек, по второму - у 6, по третьему - у 20. В первой группе коррекция деформации во фронтальной плоскости составила 92-99%, деротационная коррекция апикального позвонка в среднем 41,15%. Во второй группе коррекция деформации во фронтальной плоскости варьировала в пределах 91-100%, деротационная коррекция апикального позвонка - от 11,4% до 29,4%. Коррекция деформации во фронтальной плоскости в третьей группе наблюдалась в пределах 78-92%, деротационная коррекция апикального позвонка составила от 8,1% до 22,9%. Величина грудного кифоза после операции составила в 1-й группе в среднем 18,36±4,62°, во 2-й группе - 17,38±5,36°, в 3-й группе - 16,15±4,53°. Использование транспедикулярной металлоконструкции и системы VCM при коррекции идиопатического сколиоза грудной локализации позволяет добиться полной коррекции сколиотического и кифотического компонентов деформации, осуществить истинную деротацию тел позвонков на вершине основной дуги.

Ключевые слова: идиопатический сколиоз, грудной отдел позвоночника, 3D-КТ навигация, гибридная металлоконструкция, система VCM, дети.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE CORRECTION OF IDIOPATHIC SCOLIOSIS THORACIC LOCALIZATION IN CHILDREN

Baindurashvili A.G.<sup>1</sup>, Filippova A.N.<sup>1</sup>, Kokushin D.N.<sup>1</sup>, Belyanchikov S.M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, e-mail: turner01@mail.ru

Until now, the development and improvement of various surgical technologies aimed at achieving the optimal result of correction of deformity, restoring the sagittal balance of the spine, and obtaining the true vertebral vertebral effect at the top of the scoliotic arch continue to be developed and improved. A comparative analysis of the efficiency of spine deformity correction and apotal vertebrae deletion in 65 children with idiopathic scoliosis of thoracic localization was performed using hybrid and transpedicular spinal systems. All children had a right-sided type of deformation. The main deformation arc was 380 to 920 Cobb. Depending on the anatomical and anthropometric features of the bony structures of the vertebrae entering the arc of curvature, one of the three options for surgical treatment was used to correct the deformity. Correction of deformity in the first variant was performed in 39 patients, in the second variant in 6 patients, in the third variant in 20 patients. In the first group, correction of deformation in the frontal plane was 92-99%, and aprotic vertebral correction in the first group was 41.15%. In the second group, the deformity correction in the frontal plane varied within the range of 91-100%, the apopal vertebral fission correction from 11.4% to 29.4%. Correction of deformation in the frontal plane in the third group was observed in the range of 78-92%, the apoptotic vertebral prophylaxis correction was from 8.1% to 22.9%. The size of thoracic kyphosis after surgery was 18,36±4,62° in group 1, 17,38±5,36° in group 2, 16,15±4,53° in group 3. The use of transpedicular metal structures and the VCM system in correcting the idiopathic scoliosis of the thoracic localization allows to achieve complete correction of the scoliotic and kyphotic components of deformation, to realize the true degeneration of vertebral bodies at the apex of the main arc.

Keywords: idiopathic scoliosis, thoracic spine, 3D-CT navigation, hybrid steel structure, VCM, children.

Хирургическое лечение детей с тяжелыми формами сколиотической деформации

позвоночника является одной из наиболее сложных проблем современной ортопедии. [1]. На протяжении многих лет было предложено большое количество вариантов оперативных вмешательств для коррекции искривления позвоночника [2]. Однако до настоящего времени продолжается разработка и усовершенствование различных хирургических технологий, направленных на достижение оптимального результата исправления деформации, восстановление сагиттального баланса позвоночника, а также получение истинного деротационного эффекта позвонков на вершине сколиотической дуги. На современном этапе развития хирургии для коррекции деформации позвоночника у детей с идиопатическим сколиозом все чаще используют металлоконструкции с транспедикулярными опорными элементами [3]. Это объясняется возможностью большего корригирующего воздействия на искривленный отдел позвоночника в ходе вмешательства, стабильной и надежной фиксации достигнутого результата в послеоперационном периоде и уменьшением протяженности инструментализации по сравнению с крюковыми металлоконструкциями [1, 4, 5]. При этом не всегда удается установить транспедикулярные опорные элементы [6-8], особенно в верхнегрудном и среднегрудном отделах позвоночника, по причине малых размеров корней дуг позвонков, что влечет за собой применение ламинарных и педикулярных крюков в качестве опорных элементов для фиксации позвоночного столба [9, 10].

В отечественной и зарубежной литературе имеются исследования, посвященные коррекции деформации позвоночника при идиопатическом сколиозе с применением гибридных и транспедикулярных спинальных систем. J.E. Lowenstein с соавт. (2006) и Y.J. Kim с соавт. (2007) проводили сравнительный анализ лечения идиопатического сколиоза гибридными и транспедикулярными системами [11, 12]. Обе группы авторов отметили лучшие результаты коррекции основной дуги деформации при использовании винтовых конструкций (в среднем на  $10^\circ$ ). Коллектив Y.J. Kim с соавт. кроме более адекватной коррекции дуги деформации (70% в группе транспедикулярной фиксации и 56% в группе гибридных систем) сообщили о значительно меньшей потере достигнутой коррекции через 2 года после операции, а также выявили лучшее восстановление качества легочной функции при использовании винтовых конструкций. Различий в уровне последнего инструментированного позвонка, времени операции и средней кровопотери авторами не выявлено. Неврологических осложнений в обеих группах не отмечено. Аналогичные выводы сделали S.I. Suk с соавт. (2003), которые сравнивали результат хирургической коррекции деформации у пациентов с идиопатическим грудным сколиозом с применением крюковых, гибридных и транспедикулярных систем [13]. Ими было установлено, что коррекция основной дуги и деротационный эффект винтовых конструкций намного выше по сравнению с другими системами. Научные статьи более поздних лет также утверждают более эффективное исправление искривления позвоночника при

использовании транспедикулярных металлоконструкций по сравнению с гибридными [14, 15]. Ряд авторов в ходе проведенных исследований пришли к другим выводам. Vincent Arlet, Jean Albert Ouellet и другие отмечали идентичный результат коррекции деформации позвоночника у пациентов с идиопатическим сколиозом грудной локализации как гибридными, так и транспедикулярными спинальными системами [16, 17].

Таким образом, до настоящего времени единого мнения относительно эффективности исправления искривления позвоночного столба, а также достижения деротации апикальных и периапикальных позвонков винтовыми и гибридными металлоконструкциями нет.

**Целью данной работы** явилось проведение сравнительного анализа эффективности коррекции деформации позвоночника и деротации апикальных позвонков у детей с идиопатическим сколиозом грудной локализации при использовании гибридных и транспедикулярных спинальных систем.

### **Материал и методы**

Под наблюдением находилось 65 пациентов в возрасте 12-17 лет (61 девочка и 4 мальчика) с идиопатическим сколиозом, которые вошли в группы исследования. Все больные имели правосторонний тип деформации грудной локализации с величиной основной дуги сколиотического искривления от 38° до 92° и величина кифоза от 7° до 14° по Cobb.

Всем пациентам проводили рентгенографию позвоночника в прямой и боковой проекциях в положении стоя и лежа (измеряли величину дуги искривления во фронтальной и сагиттальной плоскостях в градусах), а также «bending»-тест (функциональные спондилограммы в положении максимальных боковых наклонов вправо и влево) с целью оценки мобильности деформации грудного отдела. Выполняли МРТ позвоночника для исключения интраканальной патологии и оценки состояния спинного мозга. У всех пациентов измеряли анатомо-антропометрические параметры костных структур тел позвонков в основной дуге искривления при помощи системы активной оптической 3D-КТ навигации с программным обеспечением SpineMap 3D [2]. В навигационной станции на основе трехмерной КТ-реконструкции измеряли поперечный и продольный диаметры корня дуги. Измерение антропометрических параметров позволяло определить возможность установки транспедикулярных винтов в тела позвонков, входящих в дугу деформации. При этом были определены оптимальные диаметры корней дуг позвонков, при которых установка транспедикулярных винтов считалась корректной. Так, внешний поперечный и продольный диаметры корня дуги должны были быть больше 4 мм. При латерализации зоны введения винта корректная установка последнего была возможна при поперечном диаметре корня дуги от 3,5 мм до 4 мм. Транспедикулярный винт не устанавливали при поперечном

диаметре корня дуги меньше 3,5 мм [18].

Таким образом, с учетом величины основной дуги деформации, ее мобильности, а также анатомо-антропометрических параметров корней дуг позвонков, входящих в нее, применяли 3 различных варианта хирургических технологий коррекции идиопатического сколиоза грудной локализации. У всех пациентов коррекцию деформации выполняли из дорсального доступа.

1-й вариант. В положении пациента на животе выполняли разрез мягких тканей по линии остистых отростков на протяжении дуги искривления и скелетирование задних элементов позвонков. С применением навигационного оборудования «Stryker» устанавливали опорные элементы (транспедикулярные винты) в тело каждого позвонка с обеих сторон относительно линии остистых отростков на протяжении дуги искривления. Затем осуществляли HALO-тибиальное вытяжение. Первый стержень, изогнутый по форме физиологических изгибов позвоночника, погружали в опорные элементы с вогнутой стороны, фиксировали гайками. На опорные элементы, проведенные в тела позвонков с вогнутой и выпуклой сторон, устанавливали систему VCM. С ее помощью осуществляли истинную деротацию позвонков грудного отдела, одновременно поворачивая стержень на 90°. После этого второй стержень моделировали в соответствии с нормальным сагиттальным профилем позвоночника, погружали в опорные винты по выпуклой стороне. По обоим стержням производилась сегментарная дистракция и компрессия. Завершали вмешательство формированием заднего спондилодеза вдоль спинальной системы, затем выполняли демонтаж галотибиального вытяжения и рентгенологический контроль. Применение системы VCM не исключали при невозможности установки одного транспедикулярного винта на вершинный позвонок по вогнутой стороне деформации.

2-й вариант. Второй вариант коррекции деформации применяли, когда корректная установка двух и более винтов по вогнутой стороне искривления была невозможна, что было обусловлено анатомическими размерами корней дуг. После выполненного доступа во все тела позвонков основной дуги искривления устанавливали опорные элементы под контролем навигационного оборудования. Затем первый стержень, изогнутый по физиологическим изгибам позвоночника, укладывали в опорные элементы по выпуклой стороне деформации и выполняли коррекцию обоих компонентов деформации (как кифотического, так и сколиотического) путем непосредственного прямого давления на вершину основной дуги и сегментарной компрессии. После чего укладывали второй стержень, изогнутый по физиологическим изгибам, с вогнутой стороны и осуществляли окончательную коррекцию за счет сегментарной дистракции. Завершали вмешательство формированием заднего спондилодеза вдоль спинальной системы.

3-й вариант. При размерах корней дуг в верхнегрудном отделе менее 4 мм, что не позволяло установить транспедикулярные опорные элементы, выполняли оперативное вмешательство в объеме задней инструментальной коррекции многоопорной гибридной металлоконструкцией. Транспедикулярные опорные элементы с вогнутой стороны устанавливали в поясничном и нижнегрудном отделах до вершины основной дуги искривления, в краниальном отделе располагали поперечно-педикулярный захват. На выпуклой стороне деформации также устанавливали транспедикулярные винты в поясничном и нижнегрудном отделах, в верхнегрудном отделе формировали педикулярно-поперечный захват, а на вершинный позвонок с этой стороны устанавливали педикулярный крючок. После установки опорных элементов металлоконструкции по вогнутой стороне деформации укладывали стержень, изогнутый по физиологическим изгибам позвоночника и фиксировали его. Затем осуществляли поворот стержня на  $90^\circ$  для достижения истинной деротации позвонков в поясничном и нижнегрудном отделах и трансляции позвонков к физиологической фронтальной оси позвоночника в среднегрудном отделе. После этого проводили сегментарную дистракцию. Затем устанавливали стержень, изогнутый по физиологическим изгибам позвоночника, с выпуклой стороны деформации и осуществляли сегментарную компрессию вдоль стержня. Завершали вмешательство формированием заднего спондилодеза вдоль спинального имплантата.

В каждом из вариантов хирургической коррекции деформации, чтобы оценить положение опорных элементов, а также угол сколиотической деформации и величину ротации позвонков на вершине искривления, после операции выполняли контрольную рентгенографию и компьютерную томографию позвоночника. По рентгенограммам позвоночника в двух стандартных проекциях оценивали величину коррекции основной дуги деформации во фронтальной и сагиттальной плоскостях. Величину деротации апикальных позвонков дуги искривления и корректность установки транспедикулярных винтов определяли по данным компьютерной томографии. Пациентов после операции наблюдали от 3 до 6 лет.

Статистический анализ полученных результатов выполнен с использованием стандартного пакета программ «STATISTICA for Windows XP» для персональных компьютеров. Стандартная обработка вариационных рядов включала подсчет значений средних арифметических величин ( $M$ ), стандартных отклонений ( $\sigma$ ), доверительных интервалов ( $\mu$ ). Сравнение вариационных рядов осуществляли с помощью парного t-теста Стьюдента.

### **Результаты исследования и обсуждение**

Первой группе из 39 больных, включающей 35 девочек и 4 мальчика в возрасте от 14

до 17 лет с величиной основной дуги деформации от 36° до 84°, осуществлен первый вариант хирургического вмешательства с использованием системы VCM. У 6 пациентов женского пола в возрасте от 14 до 16 лет с величиной деформации от 41° до 67° использовали второй вариант. Третья группа пациентов включала 20 человек женского пола в возрасте от 14 до 17 лет с величиной деформации от 38° до 70°, которым оперативное вмешательство проведено с применением гибридной системы. В первой группе протяженность фиксации варьировала от Th2 до L4 позвонков (от 10 до 13 позвонков). Количество транспедикулярных опорных элементов на одного пациента составило от 19 до 26, в среднем по 24 винта. Коррекция сколиотического компонента деформации позвоночника транспедикулярными системами составила в среднем 49,21° во фронтальной плоскости, что соответствует 92-99%, ( $p < 0,001$ ), деротация позвонков апикальной зоны – 12,49° и 41,15% ( $p < 0,001$ ). Протяженность фиксации во второй группе имела вариабельность от Th4 до L3 (от 10 до 12 позвонков), что незначительно отличается от протяженности фиксации в первой группе пациентов. Количество транспедикулярных опорных элементов на одного пациента варьировало от 15 до 22, в среднем по 18 винтов. Послеоперационная коррекция деформации во фронтальной плоскости во второй группе была отмечена в пределах 91-100%, деротационная коррекция позвонка на вершине деформации составила от 11,4% до 29,4% ( $p < 0,001$ ). Протяженность фиксации в третьей группе варьировала от Th2 до L4 позвонков (от 11 до 13 позвонков). Коррекция деформации во фронтальной плоскости в третьей группе наблюдалась в пределах 78-92%, деротационная коррекция апикального позвонка составила от 8,1% до 22,9%, в среднем – 15,5% ( $p < 0,001$ ).

Величина грудного кифоза от Th5-Th12 составляла в первой группе пациентов в среднем  $14,18 \pm 9,77^\circ$ , во второй –  $12,5 \pm 9,16^\circ$ , в третьей –  $7,45 \pm 4,08^\circ$ . Средние значения кифотического компонента деформации в третьей группе пациентов находились в зоне гипокифоза, в первой и второй группах значения были практически одинаковыми и находились в зоне начальных значений на нижней границы нормокифоза ( $p = 0,4116$ ). Значимость различий по величине кифотического компонента деформации у пациентов 1-й и 2-й, 2-й и 3-й группы составила 0,0047 и 0,0589 соответственно. Величина грудного кифоза после операции составила в первой группе в среднем  $18,36 \pm 4,62^\circ$ , во второй –  $17,38 \pm 5,36^\circ$ , в третьей группе –  $16,15 \pm 4,53^\circ$ . В проведенном исследовании мы использовали классификацию Lenke для показателей сагиттального профиля. При грудных типах идиопатического сколиоза к гипокифозам в классификации относят величину кифотического компонента менее 10°, к нормокифозам относят величину грудного кифоза в пределах 10-40° и к гиперкифозам относят показатель кифоза более 40°.

Таким образом, можно отметить, что пациенты первой группы имели практически

полную коррекцию деформации во фронтальной плоскости и соответственно в сагиттальной, а также значительные показатели деротации апикального позвонка. У больных второй группы отмечалась коррекция деформации позвоночника во фронтальной плоскости, аналогичная результатам лечения у пациентов в первой группе, что связано с использованием транспедикулярных опорных элементов в ходе хирургического вмешательства. Однако деротационный эффект у пациентов этой группы был значительно меньше по сравнению с первой группой исследования и составил от 11,4 до 29,4%, что объяснялось отсутствием применения системы VCM в ходе хирургического вмешательства. В третьей группе больных величина коррекции сколиотического и кифотического компонентов деформации была меньше по сравнению с предыдущими группами исследования. Объяснялось это использованием крюковых элементов конструкции в верхнегрудном отделе позвоночника и невозможностью воздействия на все три колонны позвоночного столба во время проведения корригирующих манипуляций. Деротационный эффект у пациентов данной группы значительно уступал результатам, полученным у больных первой группы исследования, при этом, практически, не отличался по сравнению с пациентами во второй группе. Объяснялось это тем, что крюковые элементы в верхне- и среднегрудном отделах позвоночника расположены сзади по отношению к оси ротации позвонка, и при повороте стержня на 90° позвонки перемещаются кзади (к срединной линии тела) с незначительной деротацией [19], в отличие от деротационного эффекта при применении транспедикулярных элементов. Применение винтов, проведенных транспедикулярно в тело позвонка, позволяет манипулировать им во всех плоскостях, осуществляя максимально эффективную коррекцию с истинной деротацией позвонков на вершине искривления. Из выше сказанного следует, что результат коррекции деформации напрямую зависит от возможности установки транспедикулярных элементов, а также технических возможностей применения хирургического инструментария, что, в свою очередь, определяется анатомо-антропометрическими параметрами позвонков. При этом можно отметить, что в сагиттальной плоскости коррекция деформации была выполнена до значений нормокифоза во всех трех группах несмотря на дефицит грудного кифоза от идеальных показателей: в 1-й группе значение дефицита кифоза от идеального значения составило 50,4%, во 2-й – 51,2%, в 3-й группе – 52,4%. Кроме того, необходимо подчеркнуть, что у пациентов всех групп протяженность металлофиксации была, практически, одинаковой.

### **Заключение**

Различия в металлофиксации связаны с принципиально разными подходами к планированию при установке гибридных и транспедикулярных спинальных систем.

Определение анатомо-антропометрических особенностей позвонков дает возможность до операции оценить возможность корректной установки транспедикулярных опорных элементов и тем самым выбрать наиболее оптимальную тактику хирургического лечения в каждом отдельном случае.

Использование транспедикулярной металлоконструкции и системы VCM при коррекции идиопатического сколиоза грудной локализации позволяет добиться полной коррекции сколиотического и кифотического компонентов деформации, осуществить истинную деротацию тел позвонков на вершине основной дуги и сохранить достигнутый результат в течение всего периода наблюдения. Применение различных вариантов металлоконструкций у пациентов с идиопатическим сколиозом грудной локализации не оказывает влияния на протяженность фиксации.

### Список литературы

1. Виссарионов С.В., Белянчиков С.М., Кокушин Д.Н., Мурашко В.В., Соболев А.В., Козырев А.С., Иванов М.Д., Сяндюков А.Р. Результаты коррекции деформации позвоночника транспедикулярными спинальными системами у детей с идиопатическим сколиозом // Хирургия позвоночника. - 2013. - №3. - С. 30-37.
2. Михайловский М.В. Хирургия деформаций позвоночника / М.В. Михайловский, Н.Г. Фомичев. – 2е изд., испр. и доп. – Новосибирск: Redactio, 2011. – 592 с.
3. Виссарионов С.В. Торакоскопическая дискэктомия в хирургическом лечении детей с идиопатическим сколиозом / С.В. Виссарионов, А.Р. Сяндюков, Н.С. Николаев [и др.] // Хирургия позвоночника. – 2013. – №1. С. 36-41.
4. Васюра А.С. Хирургическое лечение сколиоза с применением метода транспедикулярной фиксации / А.С. Васюра, В.В. Новиков, М.В. Михайловский [и др.] // Хирургия позвоночника. – 2011. – №2. – С. 27-34.
5. Costa F., Cardia A., Ortolina A., Fabio G., Zerbi A., Fornari M. Spinal navigation: standard preoperative versus intraoperative computed tomography data set acquisition for computer-guidance system: radiological and clinical study in 100 consecutive patients. // Spine (Phila Pa 1976). 2011 Nov 15; 36(24). P. 2094-2098.
6. Karatoprak O., Unay K., Tezer M., Ozturk C., Aydogan M., Mirzanlii C. Comparative analysis of pedicle screw versus hybrid instrumentation in adolescent idiopathic scoliosis surgery. // Int. Orthop. 2008. August; 32(4): P. 523–528.
7. Kim Y.J., Lenke L.G., Kim J., Bridwell K.H., Cho S.K., Cheh G., Sides B. Comparative analysis of pedicle screw versus hybrid instrumentation in posterior spinal fusion of adolescent



idiopathic scoliosis // *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006. Feb 1;31(3). P. 291-298.

8. Liljenqvist U., Lepsien U., Hackenberg L., Niemeyer T., Halm H. Comparative analysis of pedicle screw and hook instrumentation in posterior correction and fusion of idiopathic thoracic scoliosis // *Eur. Spine J.* 2002. Aug;11(4). P. 336-343.

9. Modi H.N., Suh S.W., Hong J.Y. Accuracy of thoracic screw using ideal pedicle entry point in severe scoliosis // *Clin. Orthop. Relat. Res.* 2010. N 468. P. 1830-1837.

10. Suk S.I., Kim W.J., Kim J.H., Lee S.M. 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. Dec;12 (6). P. 489-495.

11. Kim Y.J. Comparative analysis of pedicle screw versus hybrid instrumentation in posterior spinal fusion of adolescent idiopathic scoliosis / Y.J. Kim, L.G. Lenke, J. Kim [et al.] // *Spine.* – 2006. – Vol. 31. – P. 291-298.

12. Lowenstein J.E. Coronal and sagittal plane correction in adolescent idiopathic scoliosis: a comparison between all pedicle screw versus hybrid thoracic hook lumbar screw constructs / J.E. Lowenstein, H. Matsumoto, M.G. Vitale [et al.] // *Spine.* – 2007. – Vol. 32. – P. 448-452.

13. Suk S.I. Determination of distal fusion level with segmental pedicle screw fixation in single thoracic idiopathic scoliosis / S.I. Suk, S.M. Lee, E.R. Chung, [et al.] // *Spine.* – 2003. – Vol. 28. – P. 484-491.

14. Watanabe K. Comparison of radiographic outcomes for the treatment of scoliotic curves greater than 100 degrees: wires versus hooks versus screws / K. Watanabe, L.G. Lenke, K.H. Bridwell [et al.] // *Spine.* – 2008. – Vol. 33. – P. 1084-1092.

15. Yilmaz G. Comparative analysis of hook, hybrid, and pedicle screw instrumentation in the posterior treatment of adolescent idiopathic scoliosis / G. Yilmaz, B. Borkhuu, A.A. Dhawale [et al.] // *J. Pediatr. Orthop.* – 2012. – Vol. 32. – N 5. – P. 490-499.

16. Arlet V. Subjective evaluation of treatment outcomes of instrumentation with pedicle screws or hybrid constructs in Lenke Type 1 and 2 adolescent idiopathic scoliosis: what happens when judges are blinded to the instrumentation? / V. Arlet, J.A. Ouellet, J. Shilt., [et al.] // *Eur. Spine J.* – 2009. – Vol.18. – P. 1927-1935.

17. Hwang S.W. Five-year clinical and radiographic outcomes using pedicle screw only constructs in the treatment of adolescent idiopathic scoliosis / S.W. Hwang, A.F. Samdani, M. Marks, [et al.] // *Eur Spine J.* – 2013. – N22. – P. 1292-1299.

18. Виссарионов С.В. Коррекция деформации позвоночника у детей с идиопатическим сколиозом грудного отдела позвоночника с использованием навигации // *Ученые записки Тамбовского отделения РoСМУ.* - 2014. - №2. – С. 201-205.

19. Соболев А.В. Хирургическое лечение детей с идиопатическим сколиозом

грудопоясничной и поясничной локализации: автореф. дис. ... д-ра мед. наук: 14.01.05. – Санкт-Петербург, 2015. – 24 с.