

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
Глава 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ДЕТЕЙ С ИДИОПАТИЧЕСКИМ СКОЛИОЗОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМЫ АКТИВНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ 3D-КТ НАВИГАЦИИ	7
1.1. Развитие дорсальных спинальных систем в хирургической коррекции деформации позвоночника при идиопатическом сколиозе (от истоков к современности)	7
1.2. Методы установки транспедикулярных винтов и оценка корректности их положения	10
1.3. Осложнения транспедикулярной фиксации при коррекции деформации позвоночника у пациентов с идиопатическим сколиозом	16
1.4. Анатомо-антропометрические особенности строения позвонков при идиопатическом сколиозе	19
1.5. Интраоперационная регистрация при использовании систем оптической 3D-КТ навигации	22
1.6. Резюме	22
Глава 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТОВ	23
2.1. Методы исследования	25
2.1.1. Рентгенологический метод исследования	25
2.1.2. Мультиспиральная компьютерная томография	25
2.1.3. Анатомо-антропометрический метод	26
2.2. Методики оценки результатов	28
2.2.1. Оценка погрешности интраоперационной регистрации в навигационной установке	28
2.2.2. Хронометрическая оценка	30
2.2.3. Статистическая оценка результатов	31
Глава 3. ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ ОПТИЧЕСКОЙ 3D-КТ НАВИГАЦИИ ПРИ ХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ ДЕТЕЙ С ИДИОПАТИЧЕСКИМ СКОЛИОЗОМ	33
3.1. Принципы работы навигационной станции. Навигационный инструментарий	33
3.2. Особенности предоперационного планирования в навигационной станции	35
3.3. Интраоперационная навигация	49
3.4. Возможные методические ошибки при работе с навигационной станцией	56
Глава 4. АНАТОМО-АНТРОПОМЕТРИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПАРАМЕТРОВ ПОЗВОНКОВ У ДЕТЕЙ С ИДИОПАТИЧЕСКИМ СКОЛИОЗОМ В СИСТЕМЕ АКТИВНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ 3D-КТ НАВИГАЦИИ	60
4.1. Анализ анатомо-антропометрических параметров позвонков у детей с идиопатическим сколиозом грудной локализации с применением системы активной оптической 3D-КТ навигации	60
4.2. Анализ анатомо-антропометрических параметров позвонков у детей с идиопатическим сколиозом груднопоясничной и поясничной локализации с применением 3D-КТ навигации	67

Глава 5. РЕЗУЛЬТАТЫ ИНТРАОПЕРАЦИОННЫХ ПРОТОКОЛОВ РАБОТЫ СИСТЕМЫ АКТИВНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ 3D-КТ НАВИГАЦИИ	76
5.1. Результаты интраоперационной регистрации по анатомическим ориентирам и по поверхности	76
5.2. Результаты исследования процедуры формирования костных каналов для транспедикулярных винтов при помощи системы активной оптической 3D-КТ навигации	80
5.3. Результаты хронометрического исследования	84
5.3.1. Результаты хронометрического исследования процедуры интраоперационной регистрации	84
5.3.2. Результаты хронометрического исследования формирования каналов для транспедикулярных винтов	86
5.3.3. Результаты хронометрического исследования при хирургическом лечении детей с идиопатическим сколиозом по трехкомпонентной методике Ю. И. Поздника	88
Глава 6. РЕЗУЛЬТАТЫ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ДЕТЕЙ С ИДИОПАТИЧЕСКИМ СКОЛИОЗОМ	91
6.1. Технологии хирургической коррекции деформаций позвоночника у детей с идиопатическим сколиозом транспедикулярными спинальными системами с применением 3D-КТ навигации	91
6.1.1. Коррекция идиопатического сколиоза грудной локализации (тип Lenke I)	91
6.1.1.1. I вариант технологии коррекции деформации позвоночника при идиопатическом сколиозе грудной локализации	91
6.1.1.2. II вариант технологии коррекции деформации позвоночника при идиопатическом сколиозе грудной локализации	95
6.1.2. Коррекция идиопатического сколиоза (тип Lenke V)	97
6.1.2.1. Коррекция идиопатического сколиоза грудопоясничной локализации	97
6.1.2.2. Коррекция идиопатического сколиоза поясничной локализации	97
6.1.3. Коррекция S-образного (грудная и поясничная дуги) сколиоза (тип Lenke III и VI)	99
6.2. Анализ основных лучевых параметров сколиотической деформации позвоночника	101
6.3. Анализ распределения установленных транспедикулярных опорных элементов в грудном и поясничном отделе позвоночника	102
6.4. Анализ корректности винтов, установленных в позвонки под контролем навигационной установки	104
6.5. Алгоритм использования системы активной оптической 3D-КТ навигации при коррекции деформации позвоночника у детей с идиопатическим сколиозом	108
Заключение	113
Список сокращений	115
Список литературы	116

гии с использованием металлоконструкции с транспедикулярными опорными элементами (Виссарионов С. В., 2013). В свою очередь, данная методика требует максимальной точности хирургической техники, связанной с установкой винтов, с применением надежного способа контроля действий оператора. Вместе с тем, установка винтовых конструкций, особенно в средне- и верхнегрудном отделе позвоночника, у пациентов со сколиотическими деформациями существенно затруднена в связи с уменьшением диаметра корней дуг позвонков, значительными деформационными и торсионными изменениями анатомии позвоночника, склеротическими процессами в ножках позвонков, в первую очередь, на высоте дуги искривления (Виссарионов С. В., 2014). В этих условиях установка транспедикулярных винтов сопряжена с существенными техническими сложностями и ассоциируется со значительным риском отклонения истинной и запланированной траекторий введения опорных элементов металлоконструкции, что, в свою очередь, может привести к тяжелым нежелательным последствиям — повреждению спинного мозга и его корешков, нестабильности всей спинальной системы.

1.2. Методы установки транспедикулярных винтов и оценка корректности их положения

Метод инструментального спондилодеза позвоночника с использованием винтов впервые был описан Н.Н. Boucher (1959). Однако, более широкое применение данный вид фиксации в хирургии позвоночника получил позднее, начиная с работ R. Roy-Camille с соавторами (1986), которые применили транспедикулярные винты при травматическом повреждении позвоночного столба.

Развитие транспедикулярной фиксации тесно связано с разработкой и использованием различных методов, призванных обеспечить безопасное и корректное положение винтов в костных структурах позвонков. Методы установки транспедикулярных винтов можно разделить на три основных варианта: метод «свободной руки» (free-hand technique), флюороскопическую и стереотаксическую навигационные технологии. Техника «свободной руки» основана на оценке нормальных и измененных дорсальных костных структур позвоночника, при этом хирург полностью зависит от предоперационной визуализации и интраоперационных анатомических ориентиров. Навигационные технологии позволяют хирургу провести установку транспедикулярных опорных элементов вне зависимости от измененной анатомии позвоночного столба на протяжении дуги искривления.

В настоящее время существует несколько классификаций, описывающих корректность положения транспедикулярных винтов и величину их мальпозиции. Все они основаны на оценке данных результатов послеоперационного компьютерно-томографического исследования позвоночника (Schwarzenbach O. et al., 1997; Mirza S. K. et al., 2003; Fayyazi A. H. et al., 2004; Heary R. F. et al., 2004; Kim Y. J. et al., 2004).

Наиболее широкое распространение для оценки положения транспедикулярных винтов получили две шкалы. Шкала S. D. Gertzbein (1990) описывает расположение винта относительно корня дуги и имеет четыре степени смещения (Grade 0-3) с шагом в 2 мм; расстояние измеряется от медиальной стенки корня дуги. Эта шкала была впервые применена при оценке корректности винтов, установленных на уровне Th8-S1 позвонков. A. S. Youkilis с соавторами (2001) несколько изменили данную классификацию, выделив три степени смещения: Grade 1 — винт полностью корректно расположен в корне дуги, Grade 2 — смещение винта менее 2 мм, Grade 3 — смещение более 2 мм (рис.1).

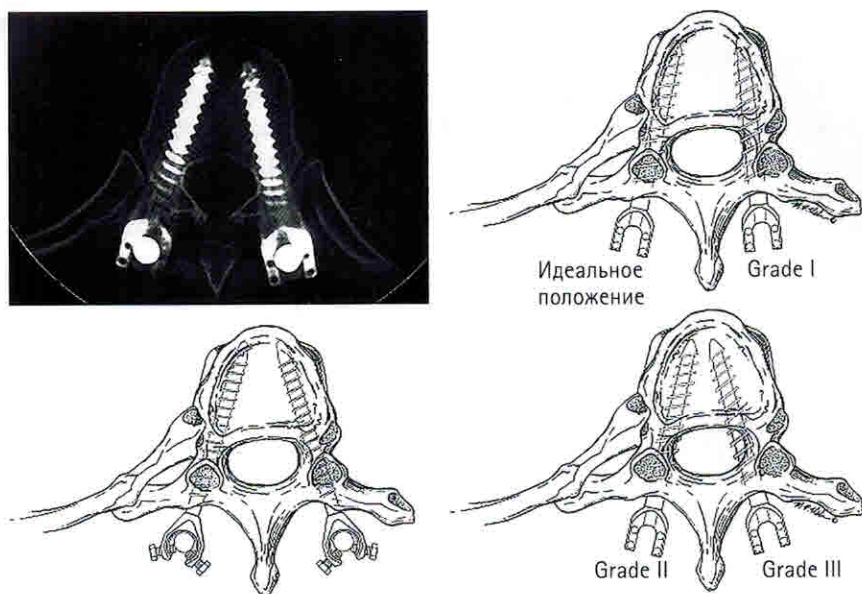


Рис. 1. Классификация корректности положения транспедикулярных винтов по A.S. Youkilis с соавт., 2001

S.K. Mirza с соавторами (2003) создали классификацию, включающую в себя шесть возможных направлений смещения транспедикулярного винта относительно кортикала позвонка: переднее, латеральное, медиальное, инфрамедиальное, инфралатеральное и верхнее (рис. 2).

Классификация R.F. Heary с соавторами (2004) включает в себя пять степеней смещения (Grade 1–Grade 5). При Grade I транспедикулярный винт полностью корректно расположен в корне дуги и теле позвонка; Grade II – позиция винта характеризуется повреждением латеральной стенки корня дуги позвонка, при этом резьбовая часть винта расположена в педикулярно-реберном комплексе и полностью в теле позвонка; Grade III – резьбовая часть винта перфорирует переднюю или боковую стенку тела позвонка; Grade IV – транспедикулярный опорный элемент повреждает медиальную или нижнюю стенку корня дуги позвонка; наконец, Grade V характеризуется повреждением

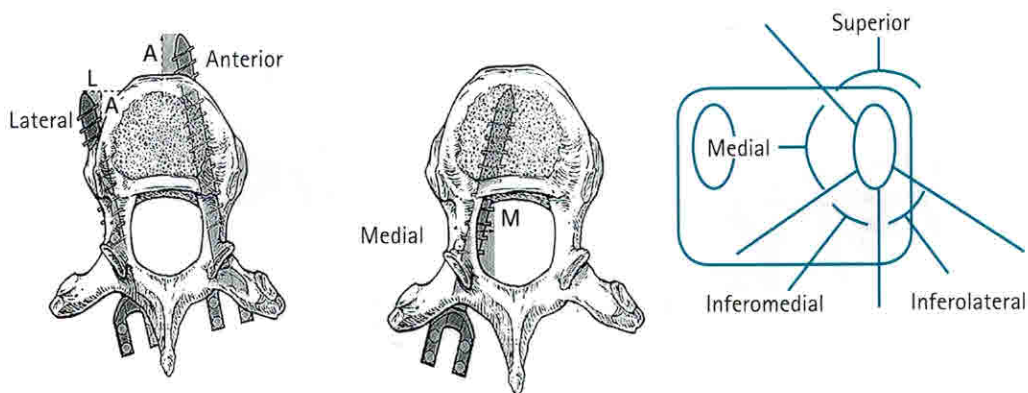


Рис. 2. Классификация корректности положения транспедикулярных винтов по Mirza S.K. с соавт., 2003

корня дуги или тела позвонка транспедикулярным винтом с отклонением от заданной траектории, создающим непосредственную угрозу для спинного мозга и его корешков или крупных магистральных сосудов и требующим незамедлительного удаления транспедикулярного опорного элемента. Данная классификация разработана с целью определения показаний для удаления транспедикулярных винтов, расположенных близко к важным анатомическим структурам (Grade V). Однако, универсальность шкалы R.F. Heary ограничена тем, что она не учитывает смещение винтов в различных направлениях.

Метод «свободной руки»

Установка транспедикулярных опорных элементов методом «free-hand» основана на точном определении анатомических ориентиров и их взаимоотношений отдельно для каждого позвонка грудного и поясничного отделов позвоночника. На основании анатомических ориентиров определяют точку введения винта. При установке транспедикулярного опорного элемента в грудной позвонок используют следующие ориентиры: нижняя граница верхнего суставного отростка, медиальная граница поперечного отростка и pars interarticularis, образующие треугольник, центр которого является точкой введения винта (Parker S. L. et al., 2011) (рис. 3).

Существует еще один вариант введения винта в грудном отделе — вдоль основания верхнего суставного отростка проводят линию и делят ее на три части, точка введения винта при этом расположена на границе между латеральной третью и медиальными двумя третями линии (Chung K. J. et al., 2008) (рис. 4).

В грудном отделе позвоночника с уровня позвонка Th12 до Th7 точки введения винтов расположены более медиально и краниально. Выше уровня позвонка Th7 точки введения винта смещены более латерально и каудально (Xu R. et al., 1998).

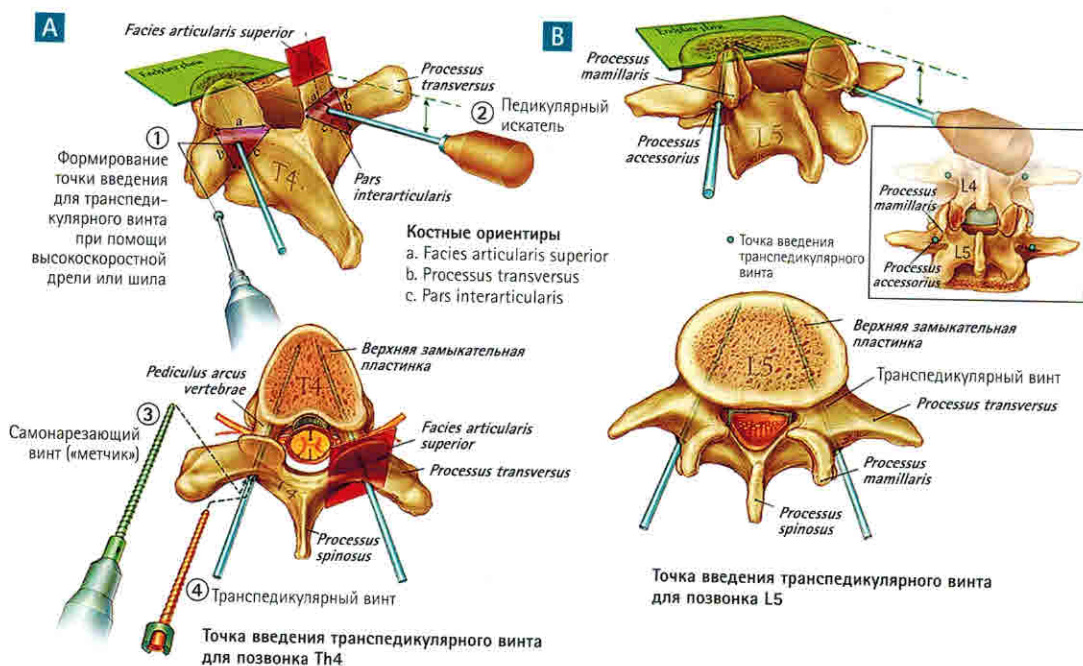


Рис. 3. Анатомические ориентиры для введения транспедикулярного винта методом «свободной руки» по Parker S. L. et al., 2011

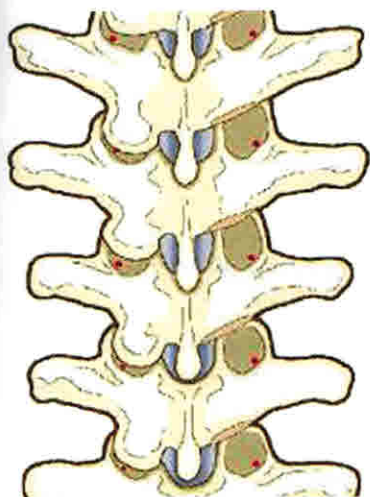


Рис. 4. Анатомические ориентиры для введения транспедикулярного винта методом «свободной руки» по Chung K.J. et al., 2008

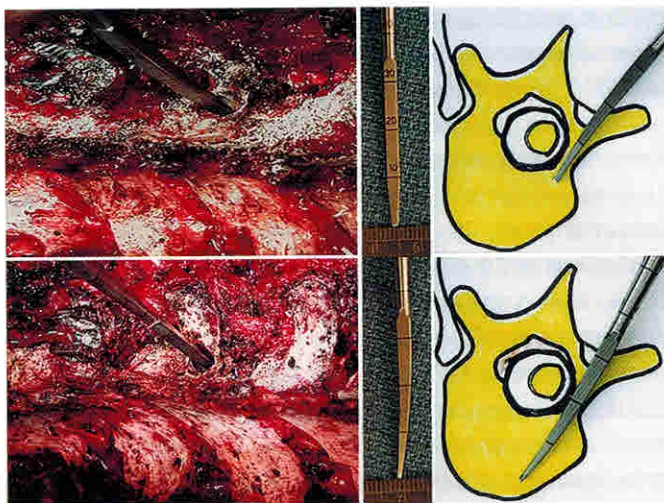


Рис. 5. Формирование искателем канала для транспедикулярного винта по Kim et al., 2004

В поясничном отделе позвоночника точка введения винта расположена на пересечении слияния линий *pars interarticularis*, поперечного отростка и сосцевидного отростка инструментируемого позвонка (Parker S. L. et al., 2011). Изогнутая часть искателя при введении в корень дуги на глубину 15–20 мм должна быть ориентирована латерально, чтобы предотвратить повреждение медиальной стенки корня дуги, образующей позвоночный канал. Далее для предотвращения повреждения латеральной поверхности позвонка искатель разворачивают на 180°. Удаляют искатель, оценивая характер отделяемого из сформированного канала на возможное повреждение дурального мешка (истечение ликвора) и повреждения крупных сосудов (чрезмерное, пульсирующее кровотечение). Все костные стенки сформированного канала тщательно исследуют зондом для исключения медиального или латерального смещения (рис. 5).

Однако, необходимо отметить, что проведение транспедикулярных винтов в деформированные тела позвонков на протяжении дуги искривления крайне сложно и опасно. Последнее обусловлено небольшими размерами и склеротическими изменениями корней дуг, особенно с вогнутой стороны искривления, и их пространственными взаимоотношениями с телом самого позвонка.

Методы навигационной ассистенции

В настоящее время базовым методом для установки транспедикулярных винтовых систем является использование флюороскопического контроля. Данная технология нашла широкое применение вследствие относительной простоты и доступности. Вместе с тем, накопленный опыт применения данной методики указывает на ряд существенных недостатков, характерных для проведения винтов под ЭОП контролем.

В первую очередь, это высокая лучевая нагрузка на пациентов и персонал, находящийся в это время в операционной. Кроме того, контроль за проведением винтов осуществляется только в одной планарной проекции, что значительно снижает точность и безопасность процедуры. По данным ряда авторов, значимые отклонения в траектории

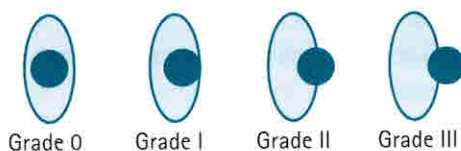


Рис. 8. Оценка корректности положения транспедикулярного винта относительно корня дуги, в мм

2.1.3. Анатомо-антропометрический метод

Для оценки анатомо-антропометрических особенностей костных структур деформированных позвонков, входящих в дугу искривления, КТ-сканы с толщиной среза 1 мм и размером матрицы 512*512 пикселей, полученные при проведении компьютерной томографии позвоночника на протяжении от Th1 до S1 позвонка, при помощи носителя импортировали в программную среду SpineMap 3D системы активной оптической 3D-КТ навигации. Из массива слайсов программа SpineMap 3D строила трехмерную модель позвоночника, в которой проводили выбор любой необходимой плоскости сечения в пространстве для проведения оценки структур позвонков. Таким образом, достигалась возможность точного измерения анатомических параметров костных структур деформированного отдела позвоночника и оценки их пространственных взаимоотношений в режиме просмотра костных структур. На основе трехмерной КТ-реконструкции в планирующей станции в плоскости относительно тела каждого позвонка измеряли внешний поперечный и продольный диаметры правого и левого корней дуг.

Полученные данные измерений фиксировали и с целью предоперационного планирования заносили в разработанную нами таблицу (рис. 9, табл. 2).

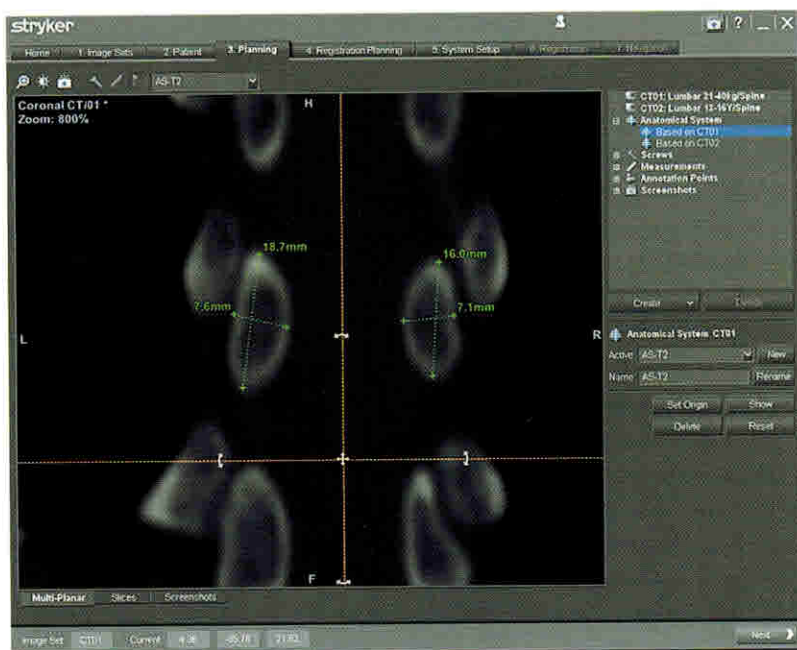


Рис. 9. Оценка анатомических особенностей костных структур позвонков в программной среде SpineMap 3D системы активной оптической 3D-КТ навигации

Таблица 2

Размеры поперечного и продольного внешних диаметров корней дуг позвонков

Позвонок	trdR, мм	IngdR, мм	trdL, мм	IngdL, мм
Th2				
Th3				
Th4				
Th5				
Th6				
Th7				
Th8				
Th9				
Th10				
Th11				
Th12				
L1				
L2				
L3				
L4				
L5				

Примечание: trdR — поперечный диаметр правого корня дуги позвонка, в мм; IngdR — продольный диаметр правого корня дуги, в мм; trdL — поперечный диаметр левого корня дуги позвонка, в мм; IngdL — продольный диаметр левого корня дуги позвонка, в мм.

После получения антропометрических результатов параметров корней дуг рассчитывали площади правого (SR) и левого корня дуги (SL) как произведение поперечного диаметра корня дуги на его продольный диаметр. С целью выявления закономерностей сколиотического процесса, характеризующегося асимметричным развитием костных структур позвонков, нами были введены следующие коэффициенты: KAtRd — коэффициент асимметрии поперечных диаметров корней дуг позвонка, определяемый как отношение trdR к trdL; KAIng — коэффициент асимметрии продольных диаметров корней дуг позвонка, определяемый как отношение IngdR к IngdL, и KAS — коэффициент асимметрии площадей корней дуг позвонка, определяемый как отношение SR к SL (рис. 10).

В навигационной станции определяли общий угол сколиоза (angle scoliosis), ротацию апикального позвонка (РАП), ротацию проксимального (РППП) и дистального (РДПП) периапикальных позвонков. Необходимо отметить, что точное числовое определение величины патологической ротации апикального и особенно периапикальных позвонков, образующих вершину дуги сколиотической деформации, выраженное в градусах, затруднительно, что обусловлено выраженными пространственными изменениями соотношений анатомических структур деформированных позвонков у детей с идиопатическим сколиозом, а также невозможностью оценки ротации периапикальных позвонков в одной плоскости с апикальным. С целью повышения точности определения ротации апикального позвонка и позвонков периапикальной зоны сколиотической деформации позвоночника нами разработан способ измерения ротации тел позвонков в навигационной станции у детей с идиопатическим сколиозом. При этом одна из линий проводится через точку на основании остистого отростка позвонка и через точку на переднем крае тела по-

$$KA_{trd} = \frac{trdR}{trdL}$$

Коэффициент асимметрии поперечных диаметров корней дуг позвонка

$$KA_{lngd} = \frac{lngdR}{lngdL}$$

Коэффициент асимметрии продольных диаметров корней дуг позвонка

$$KAS = \frac{SR}{SL}$$

Коэффициент асимметрии площадей корней дуг позвонка

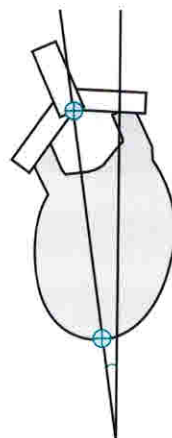


Рис. 10. Коэффициенты асимметрии корней дуг позвонков

Рис. 11. Способ измерения ротации тел позвонков у детей с идиопатическим сколиозом в навигационной станции

звонка, максимально удаленную от точки на основании остистого отростка. Вторая линия ориентирована перпендикулярно к горизонтальной плоскости стола в навигационной системе до пересечения с первой линией (патент РФ № 2587035 от 19.05.2016). Угол, образованный между пересекающимися линиями, является углом ротации позвонка (рис. 11).

2.2 Методики оценки результатов

2.2.1. Оценка погрешности интраоперационной регистрации в навигационной установке

В ходе интраоперационной регистрации определяли и фиксировали различные варианты анатомических ориентиров дорсальных костных структур позвонков, составляющих основную сколитическую дугу деформации позвоночника. С этой целью на костных структурах задней опорной колонны позвонков деформированного отдела позвоночника формировали определенный набор референтных точек, используемых в ходе регистрации. Определяли количество референтных точек, собранных при проведении одной процедуры регистрации по анатомическим ориентирам (рис. 12).

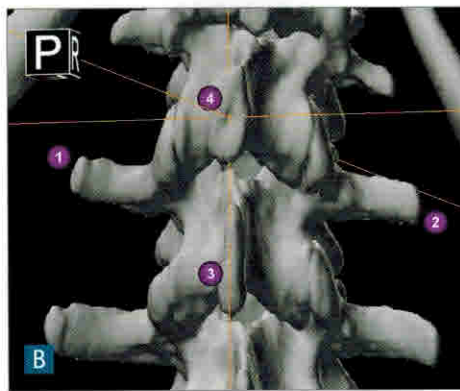
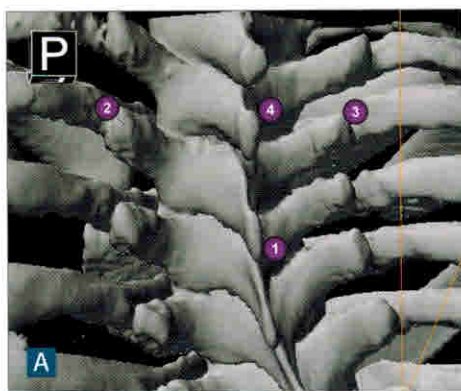


Рис. 12. Набор референтных точек для регистрации по анатомическим ориентирам: А—в грудном отделе позвоночника; В—в поясничном отделе позвоночника

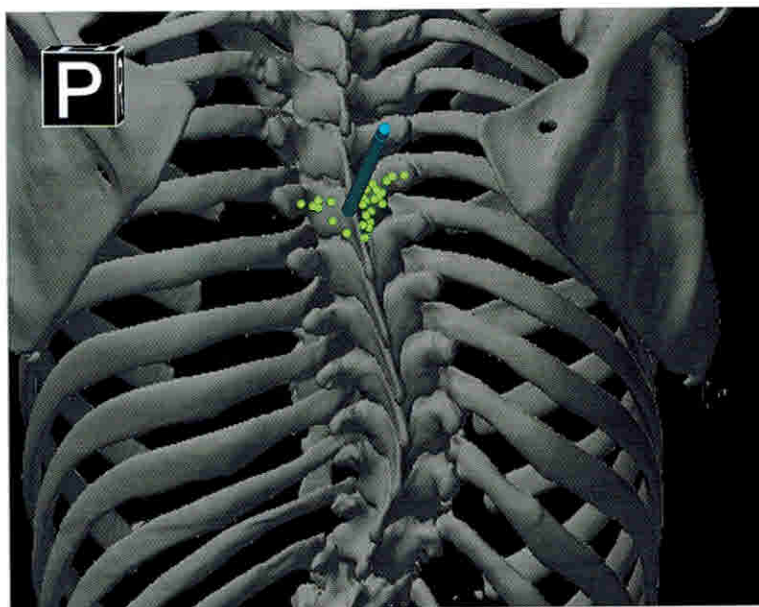


Рис. 13. Сбор точек при регистрации по поверхности

Кроме регистрации по анатомическим ориентирам, проводили дополнительную регистрацию по поверхности задних костных структур определенного позвонка. Определяли направление и последовательность сбора массива точек. Оценивали расположение «собранных» точек на дорсальных костных структурах позвонка, на котором была проведена процедура регистрации по поверхности (рис. 13).

Такая последовательность регистрации по анатомическим ориентирам (RegAnMD), а затем и по поверхности задних костных структур позвонков (RegSurMD) позволяла уменьшить среднеквадратичную погрешность измерений с целью дальнейшего максимально точного формирования костных каналов для установки транспедикулярных опорных элементов (рис. 14 А, В).

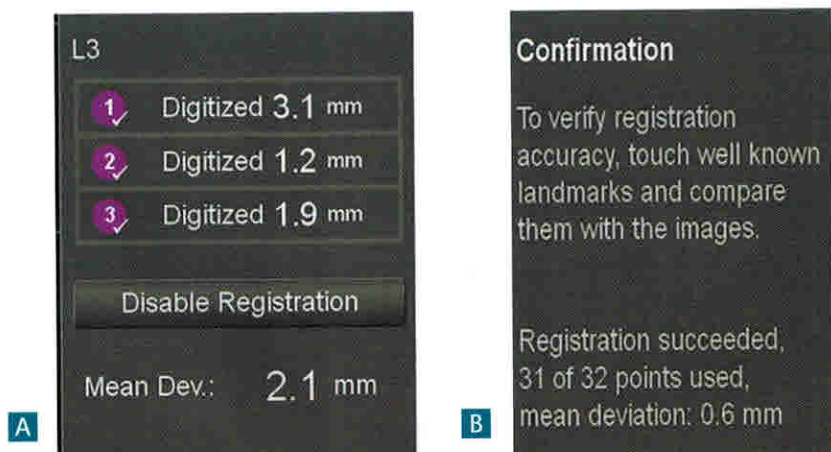


Рис. 14. А—оценка среднеквадратичной ошибки при регистрации по анатомическим ориентирам; В—оценка среднеквадратичной ошибки при регистрации по поверхности задних костных структур

ГЛАВА 4. АНАТОМО-АНТРОПОМЕТРИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПАРАМЕТРОВ ПОЗВОНКОВ У ДЕТЕЙ С ИДИОПАТИЧЕСКИМ СКОЛИОЗОМ В СИСТЕМЕ АКТИВНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ 3D-КТ НАВИГАЦИИ

4.1. Анализ анатомо-антропометрических параметров позвонков у детей с идиопатическим сколиозом грудной локализации с применением системы активной оптической 3D-КТ навигации

Исследование проведено у пациентов в возрасте от 14 до 18 лет с идиопатическим сколиозом грудной локализации 3 и 4 степени по В.Д. Чаклину. Распределение по половому признаку было характерным для деформаций позвоночника при идиопатическом сколиозе — пациентов женского пола было больше по сравнению с мужским. Во всех наблюдениях направленность грудной сколиотической дуги была правосторонней.

Согласно данным исследования, угол сколиотической деформации, определенный по вышеописанной методике в разделе «Методы исследования», составил от $33,7^\circ$ до 136° (среднее — $61,4^\circ$). Угол РАП колебался от $9,3^\circ$ до $40,2^\circ$ (среднее — $21,09^\circ$), угол РППП — от $2,1^\circ$ до $36,6^\circ$ (среднее — $17,69^\circ$), угол РДПП находился в пределах от $6,3^\circ$ до $30,0^\circ$ (среднее — $17,13^\circ$).

Абсолютные значения поперечных и продольных диаметров корней дуг позвонков грудного и поясничного отделов позвоночника, площадей корней дуг и их коэффициентов асимметрии представлены ниже в таблицах 8, 9 и 10.

Для значений поперечных и продольных диаметров корней дуг, их площадей данные в таблицах представлены в виде — среднее $\pm$ стандартное отклонение; для значений коэффициентов асимметрии данные представлены в виде — медиана, минимум–максимум.

Из методов многомерного дисперсионного анализа к показателям продольного и поперечного диаметров корней дуг, а также к их площадям был применен Т2-критерий Хотеллинга для связанных выборок для сравнения показателя величин правых и левых корней дуг позвонков в совокупности. В таблице 11 приведены результаты этого теста. Для проверки однородности выборок по каждому позвонку для всех трех характеристик был проведен тест Колмогорова-Смирнова. Ни в одном наблюдении указанный критерий не отверг гипотезу о нормальном распределении показателя на уровне значимости $P < 0,05$.

Таблица 8

Размеры поперечных диаметров корней дуг и коэффициент их асимметрии

Позвонок	trdR, мм	trdL, мм	KAtrd
Th2	5,3±0,9	6,5±0,9	0,82 (0,54–0,98)
Th3	3,3±1,0	5,3±1,1	0,63 (0,25–1,00)
Th4	2,9±0,8	4,6±0,8	0,60 (0,30–1,30)
Th5	3,5±1,0	4,5±1,1	0,76 (0,33–2,55)
Th6	4,4±1,1	4,2±1,2	0,98 (0,57–2,22)
Th7	4,8±1,0	3,6±1,2	1,31 (0,72–3,11)
Th8	5,1±0,7	3,6±1,0	1,38 (0,93–2,45)
Th9	5,6±0,9	4,3±1,2	1,33 (0,86–2,30)
Th10	6,4±1,3	5,1±1,3	1,27 (0,84–1,69)
Th11	7,3±1,2	6,8±1,4	1,06 (0,82–1,97)
Th12	7,0±1,0	7,4±1,0	0,91 (0,79–1,27)
L1	6,1±1,6	6,2±1,4	0,96 (0,59–1,50)
L2	6,2±1,7	6,3±1,2	0,95 (0,59–1,41)
L3	8,5±1,7	7,9±1,2	1,11 (0,79–1,33)
L4	10,4±1,9	10,3±1,5	0,97 (0,76–1,73)
L5	14,5±2,0	15,6±2,1	0,93 (0,74–1,38)

Таблица 9

Размеры продольных диаметров корней дуг и коэффициент их асимметрии

Позвонок	lngdR, мм	lngdL, мм	KAlngd
Th2	10,6±1,6	11,5±1,6	0,91 (0,80–1,04)
Th3	10,7±1,3	12,0±1,7	0,90 (0,66–1,17)
Th4	10,9±1,3	10,8±1,5	0,98 (0,85–1,31)
Th5	11,6±1,2	10,1±1,3	1,11 (0,95–1,59)
Th6	12,6±1,5	9,7±1,3	1,30 (1,03–1,58)
Th7	12,7±1,5	9,7±1,8	1,31 (1,01–1,90)
Th8	13,3±1,6	10,2±1,4	1,32 (1,04–1,67)
Th9	13,8±1,7	11,8±1,6	1,12 (0,74–1,66)
Th10	15,6±1,7	14,8±1,9	1,02 (0,90–1,50)
Th11	16,7±2,4	17,3±1,7	0,96 (0,73–1,24)
Th12	15,7±1,9	16,8±2,1	0,92 (0,87–1,04)
L1	14,3±1,3	14,8±2,0	0,96 (0,84–1,38)
L2	13,5±1,1	14,6±1,0	0,94 (0,79–1,04)
L3	13,9±1,0	14,3±1,0	0,97 (0,91–1,15)
L4	13,3±0,9	13,3±1,2	1,00 (0,86–1,16)
L5	12,9±2,4	12,7±2,1	1,02 (0,90–1,25)

Таблица 10

Произведение поперечных и продольных диаметров корней дуг и коэффициент их асимметрии

Позвонок	SR, мм ²	SL, мм ²	KAS
Th2	56,2 ± 15,2	75,6 ± 17,0	0,76 (0,44–1,02)
Th3	36,4 ± 12,9	64,7 ± 18,5	0,57 (0,21–1,07)
Th4	31,8 ± 10,5	50,5 ± 13,2	0,59 (0,29–1,70)
Th5	41,1 ± 13,1	46,2 ± 14,4	0,77 (0,32–3,92)
Th6	55,1 ± 15,7	41,3 ± 15,8	1,29 (0,67–3,08)
Th7	60,7 ± 15,9	36,6 ± 16,9	1,76 (0,80–4,73)
Th8	68,0 ± 13,7	37,1 ± 12,8	1,94 (1,15–3,88)
Th9	78,0 ± 17,0	51,8 ± 19,0	1,55 (0,73–3,09)
Th10	100,0 ± 26,2	76,3 ± 29,0	1,28 (0,78–2,53)
Th11	121,3 ± 27,8	118,1 ± 31,0	0,97 (0,68–2,21)
Th12	110,2 ± 26,9	125,3 ± 27,9	0,88 (0,73–1,18)
L1	87,0 ± 27,5	93,0 ± 28,2	0,93 (0,50–2,06)
L2	83,8 ± 25,1	92,0 ± 20,8	0,87 (0,61–1,36)
L3	118,6 ± 24,9	112,9 ± 21,7	1,08 (0,76–1,29)
L4	138,9 ± 27,6	136,8 ± 23,7	0,99 (0,72–1,48)
L5	187,8 ± 46,3	199,2 ± 41,4	0,94 (0,67–1,27)

Таблица 11

Сравнение правых и левых поперечных и продольных диаметров и площадей корней дуг позвонков (средний показатель)

Корни дуг позвонков	Статистика T2	Значение нецентрального F-распределения с 16 и 4 степенями свободы	Уровень значимости критерия, P
Поперечные диаметры	482,5	6,4	0,043
Продольные диаметры	1225,4	16,5	0,0075
Площади	436,2	5,7	0,052

Результаты применения критерия Хотеллинга позволяют говорить об однозначном и контрастном различии совокупностей продольных диаметров правых и левых корней дуг позвонков.

Для выявления анатомо-антропометрических особенностей позвонков в основной дуге деформации были построены диаграммы Тьюки «ящики с усами» (рис. 61–69). Визуальный анализ диаграмм позволяет более детально рассмотреть различия между диаметрами правых и левых корней дуг позвонков, установленных ранее с помощью статистики Хотеллинга.

В результате исследования отмечены особенности, заключающиеся в том, что в верхнегрудном отделе позвоночника значения trdR уменьшались с уровня Th2 позвонка ($5,3 \pm 0,9$ мм), достигая минимальных значений на уровне Th4 позвонка ($2,9 \pm 0,8$ мм). Затем наблюдалось увеличение размеров в кранио-каудальном направлении, достигавшее своего максимума на уровне Th11 позвонка ($16,7 \pm 2,4$ мм). После этого отмечалось небольшое уменьшение значения до уровня L1 позвонка ($6,1 \pm 1,6$ мм).



Рис. 61. Совместная диаграмма Тьюки «ящики с усами» для значений поперечных диаметров правых корней дуг позвонков грудного и поясничного отделов позвоночника



Рис. 62. Совместная диаграмма Тьюки «ящики с усами» для значений поперечных диаметров левых корней дуг позвонков грудного и поясничного отделов позвоночника

Для значений trdL закономерность полученных изменений на диаграмме была иной. Особенность изменений этих показателей заключалась в том, что отмечалось более пологое и плавное уменьшение размеров с уровня Th2 позвонка ($6,5 \pm 0,9$ мм) с достижением минимальных значений на уровне Th7 позвонка ($3,6 \pm 1,2$ мм) с последующим увеличением по направлению к Th12 позвонку, достигая значения $7,4 \pm 1,0$ мм.

Необходимо отметить, что направленность изменений размеров trdR и trdL для позвонков поясничного отдела позвоночника у пациентов с идиопатическим сколиозом грудной локализации была схожей и характеризовалась нарастанием размеров поперечных диаметров корней дуг в кранио-каудальном направлении с достижением максимальных значений на уровне L5 позвонка (рис. 61, 62).

При проведении визуального анализа характера изменений размеров продольных диаметров корней дуг выявлены существенные различия в грудном отделе позвоночника. Особенность изменения анализируемых показателей заключалась в плавном увеличении значения lngdR в кранио-каудальном направлении с уровня Th2 позвонка ($10,6 \pm 1,6$ мм), которое достигало своего максимума на уровне Th11 позвонка ($16,7 \pm 2,4$ мм). Затем наблюдалось небольшое уменьшение значения на уровне Th12 позвонка ($15,7 \pm 1,9$ мм). Распределение значений признака lngdL в грудном отделе позвоночника было иным. Отмечалось уменьшение размеров lngdL с уровня Th2 позвонка ($11,5 \pm 1,6$ мм) с достижением минимальных значений на уровне Th7 позвонка ($9,7 \pm 1,8$ мм), затем наблюдалось увеличение этого показателя в кранио-каудальном направлении, достигая своего максимального значения на уровне Th11 позвонка ($17,3 \pm 1,7$ мм).

Зависимости продольных диаметров правых и левых корней дуг от локализации позвонка в поясничном отделе позвоночника были схожими и характеризовались уменьшением своих значений в кранио-каудальном направлении с достижением минимальных значений на уровне L5 позвонка (рис. 63, 64).

При оценке коэффициентов асимметрии поперечных и продольных диаметров корней дуг в грудном отделе позвоночника были выявлены следующие закономерности. Особенностью изменения показателей этого параметра являлось максимальное отклонение KAtrd от единицы на уровне Th4 позвонка — $0,60$ ($0,30$ – $1,30$) и Th8 — $1,38$ ($0,93$ – $2,45$). KAlngd , напротив, в верхнегрудном отделе позвоночника имел значения, близкие



Рис. 63. Совместная диаграмма Тьюки «ящики с усами» для значений продольных диаметров правых корней дуг позвонков грудного и поясничного отделов позвоночника



Рис. 64. Совместная диаграмма Тьюки «ящики с усами» для значений продольных диаметров левых корней дуг позвонков грудного и поясничного отделов позвоночника

к единице, постепенно увеличиваясь и достигая максимального значения (максимальной асимметрии) на уровне Th7–Th8 позвонков — 1,31–1,32, с последующим уменьшением в каудальном направлении. В поясничном отделе значения KATrd и KAlngd приближались к единице, характеризуя тем самым отсутствие выраженных структурных изменений (рис. 65, 66).

При оценке показателей площадей корней дуг, отражающих их физические характеристики, у пациентов с идиопатическим сколиозом грудной локализации были выявлены следующие особенности. Отмечалось уменьшение значения SR с уровня Th2 позвонка ($56,2 \pm 15,2 \text{ мм}^2$), достигавшее минимума на уровне Th4 позвонка ($31,8 \pm 10,5 \text{ мм}^2$), затем наблюдалось его увеличение в кранио-каудальном направлении, достигавшее своего максимума на уровне Th11 позвонка ($121,3 \pm 27,8 \text{ мм}^2$). После этого отмечалось уменьшение значения SR до уровня L2 позвонка ($83,8 \pm 25,1 \text{ мм}^2$) с последующим увеличением в каудальных сегментах поясничного отдела позвоночника.



Рис. 65. Совместная диаграмма Тьюки «ящики с усами» для значений коэффициентов асимметрии поперечных диаметров корней дуг позвонков грудного и поясничного отделов позвоночника



Рис. 66. Совместная диаграмма Тьюки «ящики с усами» для значений коэффициентов асимметрии продольных диаметров корней дуг позвонков грудного и поясничного отделов позвоночника

ГЛАВА 6. РЕЗУЛЬТАТЫ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ДЕТЕЙ С ИДИОПАТИЧЕСКИМ СКОЛИОЗОМ

6.1. Технологии хирургической коррекции деформаций позвоночника у детей с идиопатическим сколиозом транспедикулярными спинальными системами с применением 3D-КТ навигации

Проведенное исследование позволило нам индивидуально подойти к коррекции деформации позвоночника у каждого пациента с учетом анатомо-антропометрических особенностей тел позвонков в дуге искривления, пространственного взаимоотношения их костных структур и возможности корректного проведения транспедикулярного винта при помощи навигационной станции. В результате полученных данных мы разработали различные методики коррекции деформации позвоночника у пациентов с идиопатическим сколиозом в зависимости от типа имеющегося искривления.

6.1.1. Коррекция идиопатического сколиоза грудной локализации (тип Lenke I)

В зависимости от анатомо-антропометрических особенностей корней дуг по вогнутой стороне основной дуги, обусловленной их размерами и пространственной ориентацией костных структур в телах самих позвонков, применяют два варианта коррекции деформации позвоночника в грудном отделе.

6.1.1.1. I вариант технологии коррекции деформации позвоночника при идиопатическом сколиозе грудной локализации

Под эндотрахеальным наркозом осуществляют доступ к задним костным структурам позвонков на уровне искривленного участка (рис. 90А). Во все тела позвонков на протяжении дуги деформации устанавливают по два транспедикулярных опорных элемента под контролем навигационной установки и осуществляют интраоперационное вытяжение. С вогнутой стороны деформации в опорные элементы металлоконструкции укладывают стержень, изогнутый по физиологическому сагиттальному профилю позвоночника (рис. 90В). Для выполнения истинного деротационного маневра позвонков систему VCM устанавливают на выпуклой и вогнутой стороне вершины деформации с опорой на транспедикулярные винты (рис. 90С). Протяженность опоры включает 3–4 позвонка. После этого одновременно осуществляют поворот стержня на 90° и истинный деротационный маневр в грудном отделе при помощи системы VCM в противоположную сторону. Завершают манипуляции проведением сегментарной коррекции деформации с учетом distraction по вогнутой стороне искривления (рис. 90D). Затем укладывают стержень, изогнутый по

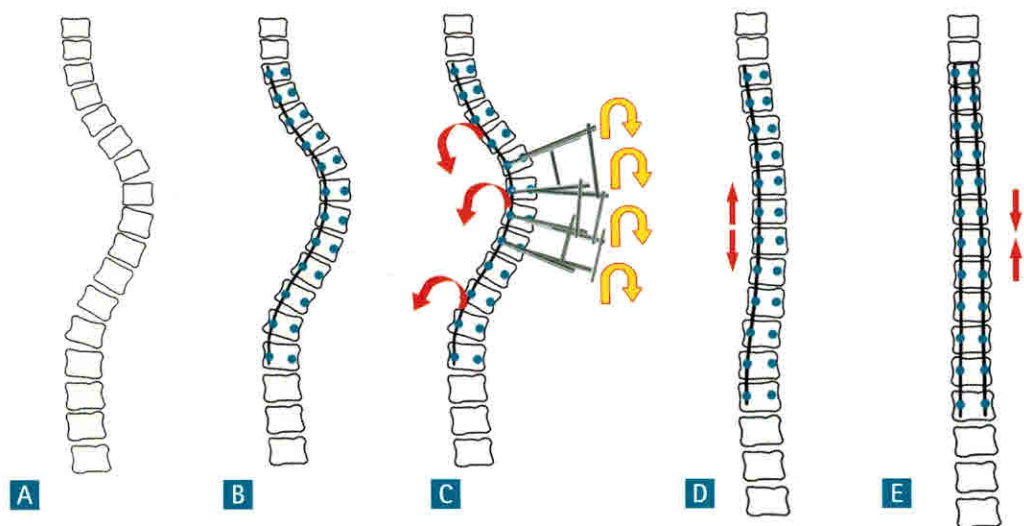


Рис. 90. А—Схема позвоночника при идиопатическом сколиозе грудной локализации, В—схема расположения транспедикулярных винтов на протяжении дуги искривления и установки стержня по вогнутой стороне деформации, С—схема одномоментного поворота стержня на 90° и истинной деротации на вершине искривления системой VCM, D—схема сегментарной дистракции вдоль стержня по вогнутой стороне деформации, Е—схема установки стержня с противоположной стороны деформации и сегментарной контракции вдоль него

физиологическим изгибам позвоночника, в опорные элементы конструкции с противоположной стороны и осуществляют сегментарную компрессию (рис. 90 Е).

Оперативное вмешательство заканчивают стабилизацией металлоконструкции в сочетании с задним спондилодезом местной аутокостью.

Клиническое наблюдение

(Lenke I, первый тактический вариант коррекции деформации)

Пациент К., 16 лет. Диагноз: идиопатический правосторонний грудной сколиоз четвертой степени. На момент поступления на рентгенограммах отмечается сколиотическая деформация позвоночника, угол искривления грудной дуги составил 80° по Cobb, патологическая ротация позвонков на вершине достигала 24°.

Данные, полученные при проведении компьютерной томографии позвоночника на протяжении от Th1 до S1 позвонка в положении пациента на животе, при помощи носителя импортировали в программную среду SpineMap 3D системы активной оптической 3D-КТ навигации. На основе трехмерной КТ-реконструкции в планирующей станции в плоскости относительно тела каждого позвонка проведено измерение внешних поперечных и продольных диаметров корней дуг позвонков. Полученные данные измерений с целью предоперационного планирования занесены в таблицу 24. На основании оценки анатомо-антропометрических особенностей данного пациента определены уровни корректной установки транспедикулярных опорных элементов, включавшие в себя Th5-L2 позвонки с обеих сторон относительно линии остистых отростков, выбран необходимый вариант технологии коррекции деформации позвоночника. С учетом локализации апикального позвонка, краниальной и каудальной границ инструментального спондилодеза составлена схема проведения сегментарной контракции и дистракции (табл. 25).

Таблица 24

Размеры поперечного и продольного внешних диаметров корней дуг позвонков пациента К., 16 лет

Позвонок	trdR, мм	lngd R, мм	trd L, мм	lngd L, мм
Th2	5,3	10,6	6,5	11,5
Th3	3,3	10,7	5,3	12,0
Th4	2,9	10,9	4,6	10,8
Th5	4,1	11,6	4,9	10,1
Th6	4,8	12,6	4,8	9,7
Th7	5,7	12,7	4,7	9,7
Th8	5,8	13,3	4,6	10,2
Th9	6,1	13,8	4,9	11,8
Th10	6,4	15,6	5,1	14,8
Th11	7,3	16,7	6,8	17,3
Th12	7,0	15,7	7,4	16,8
L1	6,1	14,3	6,2	14,8
L2	6,2	13,5	6,3	14,6
L3	8,5	13,9	7,9	14,3
L4	10,4	13,3	10,3	13,3
L5	14,5	12,9	15,6	12,7

Таблица 25

Схема проведения сегментарной коррекции деформации позвоночника пациента К., 16 лет

Позвонок	Поперечный диаметр корня дуги позвонка	Коррекция	Поперечный диаметр корня дуги позвонка	Коррекция
	Слева		Справа	
Th2	6,5		5,3	
Th3	5,3		3,3	
Th4	4,6		2,9	
Th5	4,9		4,1	
Th6	4,8		4,8	
Th7	4,7		5,7	
Th8	4,6		5,8	
Th9	4,9		6,1	
Th10	5,1		6,4	
Th11	6,8		7,3	
Th12	7,4		7,0	
L1	6,2		6,1	
L2	6,3		6,2	
L3	7,9		8,5	
L4	10,3		10,4	
L5	15,6		14,5	

27 августа 2012 г. выполнена операция: наложение краниальной скобы; коррекция и стабилизация деформации позвоночника многоопорной транспедикулярной системой «Horizon» фирмы «Medtronic Sofamor Danek, Inc.», США под контролем оптической 3D-КТ навигации. Дорсальный спондилодез аутотрансплантатами.

В ходе проведенного хирургического вмешательства на этапе интраоперационной регистрации проводился учет количества уровней регистрации, среднеквадратичной погрешности регистрации по анатомическим ориентирам и по поверхности, времени, затраченного на проведение регистрации и формирования костных каналов для транспедикулярных опорных элементов (табл. 26, 27).

В ходе хирургического вмешательства на протяжении дуги сколиотической деформации позвоночника имплантировано 20 транспедикулярных опорных элементов. Установка нулевого трекера заняла 25 секунд. Всего выполнено 5 регистраций по анатомическим ориентирам и 3 регистрации по поверхности. Достигнута среднеквадратичная погрешность регистрации в пределах 0,3–0,5 мм. Суммарное время, затраченное на проведение интраоперационной регистрации, составило 261 секунду (4,35 минуты). Суммарное время, затраченное на формирование 20 костных каналов для транспедикулярных опорных элементов, составило 1085 секунд (18,1 минуты). Время, затраченное на проведение навигации в целом в ходе хирургического вмешательства, составило 1371 секунду (22,9 минуты).

Таблица 26

Мониторинг времени, затрачиваемого на регистрацию по анатомическим ориентирам и по поверхности

Ф.И.О.: К.

Возраст: 16 лет

Тип деформации: Lenke I

Величина деформации: 80°

Объем операции: Коррекция деформации позвоночника дорсальным CDI, задний локальный спондилодез

Позвонок	TregAn, c	RegAnMD, мм	TregSur, c	RegSurMD, мм
Th2	-	-	-	-
Th3	-	-	-	-
Th4	-	-	-	-
Th5	19	1,8	57	0,4
Th6	-	-	-	-
Th7	15	0,8	73	0,3
Th8	9	0,5	-	-
Th9	-	-	-	-
Th10	12	0,9	66	0,5
Th11	-	-	-	-
Th12	-	-	-	-
L1	10	0,5	-	-
L2	-	-	-	-
L3	-	-	-	-
L4	-	-	-	-
L5	-	-	-	-

Таблица 27

Мониторинг времени, затрачиваемого на формирование костных каналов для транспедикулярных винтов

Ф.И.О.: К. Возраст: 16 лет

Тип деформации: Lenkel Величина деформации: 80°

Объем операции: Коррекция деформации позвоночника дорсальным CDI, задний локальный спондилодез

Позвонок	TscrewCanL, с	Примечание	T screwCanR, с	Примечание
Th2	-	-	-	-
Th3	-	-	-	-
Th4	-	-	-	-
Th5	49	-	78	-
Th6	54	-	66	-
Th7	58	-	69	-
Th8	61	-	55	-
Th9	65	-	51	-
Th10	49	-	52	-
Th11	43	-	57	-
Th12	59	-	51	-
L1	35	-	50	-
L2	26	-	57	-
L3	-	-	-	-
L4	-	-	-	-
L5	-	-	-	-

При проведении анализа послеоперационного компьютерно-томографического исследования позвоночника выявлено латеральное смещение транспедикулярного опорного элемента относительно правого корня дуги позвонка Th5, составившее менее 2 мм (Grade I). Остальные транспедикулярные винты были установлены корректно (рис. 91 C, D).

На контрольной рентгенограмме от 05.09.2012 г.: состояние после коррекции сколиотической деформации позвоночника, стояние элементов металлоконструкции корректное, фиксация стабильная. Остаточная величина правосторонней сколиотической дуги Th5–Th12 = 5°. Ребенок осмотрен через 2 года после оперативного вмешательства — стояние элементов металлоконструкции стабильное, угол остаточной деформации составил 5° (рис. 91 B).

6.1.1.2. II вариант технологии коррекции деформации позвоночника при идиопатическом сколиозе грудной локализации

При невозможности корректной установки двух и более винтов по вогнутой стороне деформированной дуги, обусловленной анатомическими размерами корней дуг (внешний диаметр — менее 4,0 мм) или их выраженными пространственными изменениями, которые не позволяли правильно и корректно установить транспедикулярный опорный элемент, применяют другой вариант коррекции деформации. Техника отличается от вышеописанной последовательностью установки стержней относительно сторон основной дуги и корригирующих маневров. После установки транспедикулярных опорных элементов металло-

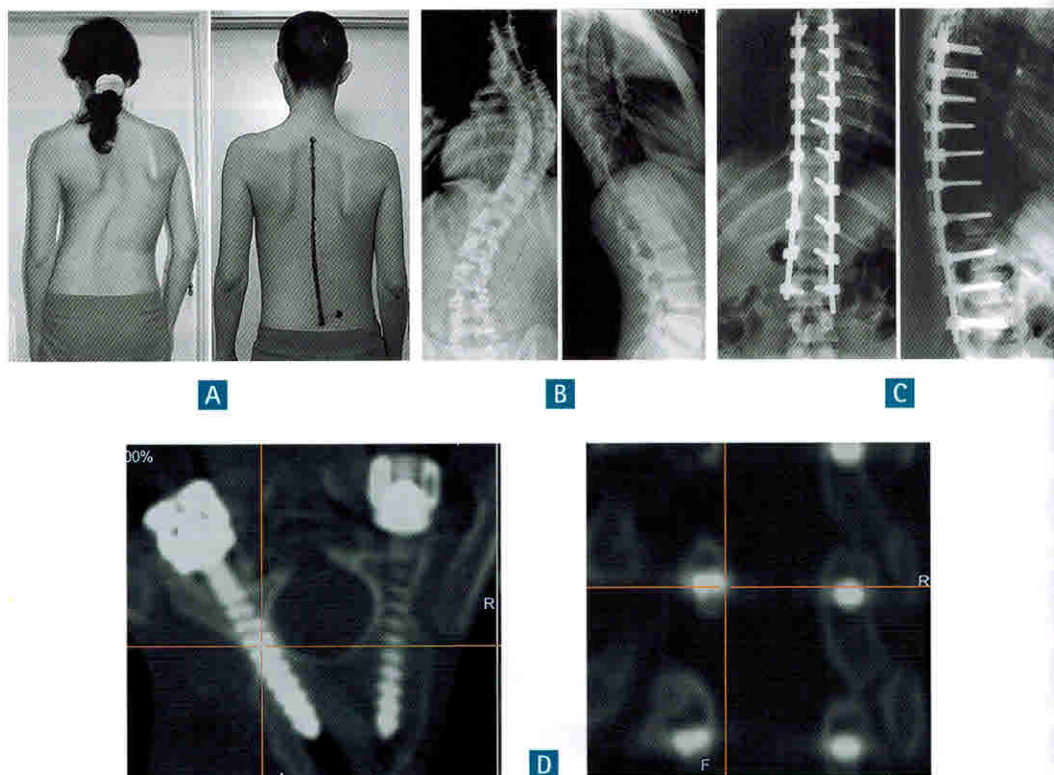


Рис. 91. Внешний вид рентгенограммы и КТ пациентки К. 16 лет, с идиопатическим сколиозом грудного отдела позвоночника IV ст.: А — внешний вид до и после операции; В — рентгенограммы до операции (угол деформации 80° по Cobb), С — через 2 года после операции (угол деформации 5° по Cobb); D — КТ позвоночника после операции

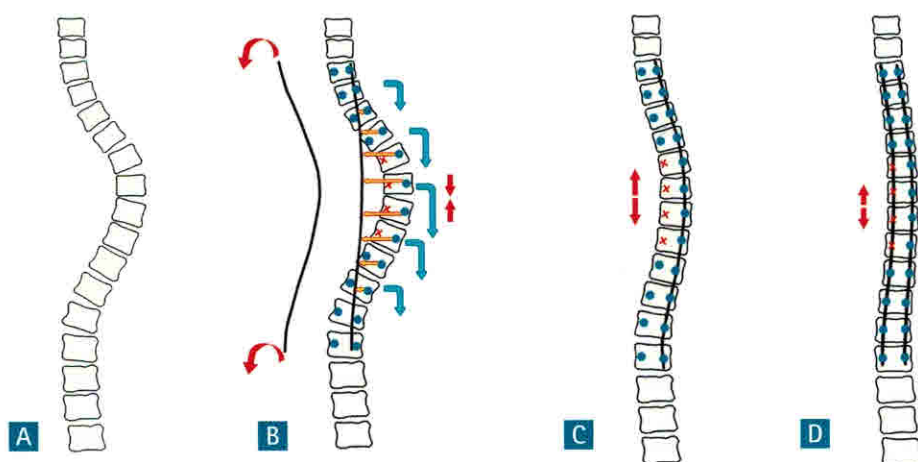


Рис. 92. А — Схема позвоночника при идиопатическом сколиозе грудной локализации, В — схема расположения транспедикулярных винтов на протяжении дуги искривления, установки стержня по выпуклой стороне деформации и выполнение прямого давления на вершину искривления и сегментарной контракции вдоль стержня, С — схема состояния позвоночника после выполненных манипуляций, D — схема установки стержня с противоположной стороны деформации и сегментарной дистракции вдоль него

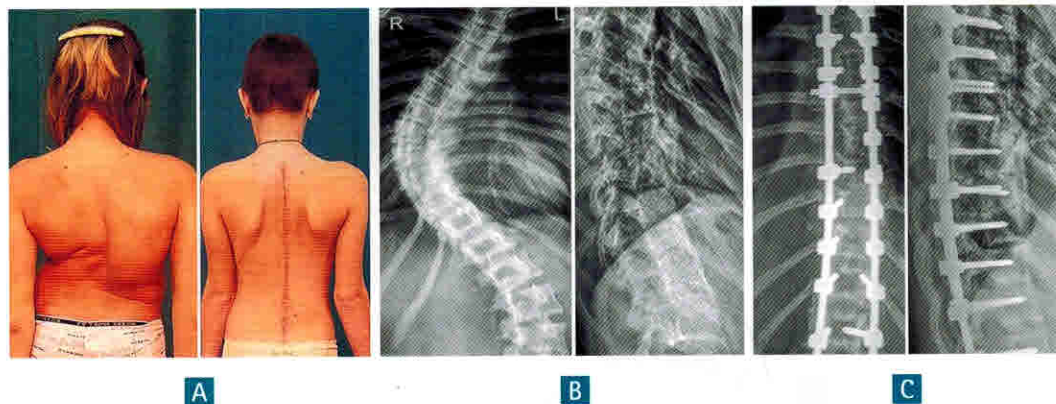


Рис. 93. Внешний вид, рентгенограммы пациентки М. 15 лет, с идиопатическим сколиозом грудного отдела позвоночника IV ст.: А — внешний вид до и после операции; В — рентгенограммы до операции, С — через 2 года после операции

конструкции осуществляют интраоперационное вытяжение (рис. 92 А). Первый стержень, изогнутый по физиологическим изгибам, последовательно фиксируют в опорных элементах металлоконструкции по выпуклой стороне деформации, одновременно осуществляют коррекцию кифотического и сколиотического компонентов деформации путем непосредственного прямого давления на вершину основной дуги, трансляционного маневра и сегментарной компрессии (рис. 92 В, С). После этого укладывают второй стержень, изогнутый по физиологическим изгибам, в опорные элементы металлоконструкции с противоположной стороны и выполняют окончательную коррекцию за счет сегментарной дистракции (рис. 92 D).

6.1.2. Коррекция идиопатического сколиоза (тип Lenke V)

6.1.2.1. Коррекция идиопатического сколиоза грудопоясничной локализации

У детей с С-образным грудопоясничным сколиозом, мобильной дугой искривления, не превышающей 90° , в особенности, с выраженным кифотическим компонентом деформации, транспедикулярные опорные элементы устанавливают с обеих сторон относительно линии остистых отростков на всех уровнях. После этого осуществляют интраоперационное вытяжение и устанавливают первый стержень, изогнутый по физиологическим изгибам, на выпуклой стороне искривления, выполняя коррекцию сколиотического и кифотического компонентов искривления путем прямого давления на вершину дуги, трансляции и сегментарной контракции (рис. 94 А, В). В результате выполненных манипуляций уменьшается величина кифотического и сколиотического компонентов деформации (рис. 94 С). Затем стержень, изогнутый по физиологическим сагиттальным изгибам позвоночника, устанавливают с противоположной стороны искривления и осуществляют окончательную сегментарную коррекцию деформации путем выполнения дистракции вдоль стержня (рис. 94 D).

6.1.2.2. Коррекция идиопатического сколиоза поясничной локализации

При идиопатическом сколиозе поясничной локализации с мобильной дугой деформации не более 90° как правосторонней, так и левосторонней направленности хирургическое вмешательство осуществляют в следующем объеме. Устанавливают транспедикулярные опорные элементы по выпуклой и вогнутой сторонам искривления и выполняют интраоперационное вытяжение (рис. 96 А). Первый стержень, изогнутый по физиологиче-