

КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ КАК СОСТАВЛЯЮЩАЯ ПРЕДОПЕРАЦИОННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ МЕТАЛЛОФИКСАЦИИ ПЕРЕХОДНЫХ ОТДЕЛОВ ПОЗВОНОЧНИКА ПРИ КОРРЕКЦИИ СКОЛИОТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ ГИБРИДНЫМИ КОНСТРУКЦИЯМИ

И.А. Норкин^{1, 2}, д. м. н., профессор, директор НИИТОН СГМУ им. В.И. Разумовского,
заведующий кафедрой травматологии и ортопедии

С.В. Лихачев¹, к. м. н., ст. науч. сотр.

В.В. Зарецков^{1, 2}, д. м. н., вед. науч. сотр., профессор кафедры травматологии и ортопедии

В.Б. Арсениевич¹, к. м. н., заведующий травматолого-ортопедическим отделением № 3

А.Е. Шульга¹, к. м. н., ст. науч. сотр.

С.В. Степухович¹, к. м. н., врач – травматолог-ортопед

А.В. Зарецков², к. м. н., доцент кафедры травматологии и ортопедии

Д.Ю. Сумин¹, врач-рентгенолог

К.Т. Битокова², ординатор

¹ Научно-исследовательский институт травматологии, ортопедии и нейрохирургии
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского»
Минздрава России,
ул. Чернышевского, 148, Саратов, 410002, Российская Федерация

² Кафедра травматологии и ортопедии ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский
университет им. В.И. Разумовского» Минздрава России,
ул. Большая Казачья, 112, Саратов, 410012, Российская Федерация

COMPUTED TOMOGRAPHY AS A COMPONENT OF PREOPERATIVE PLANNING FOR METAL TRANSITIONAL SPINE FIXATION IN THE CORRECTION OF SCOLIOTIC DEFORMITIES BY HYBRID CONSTRUCTS

I.A. Norkin^{1, 2}, Dr. Med. Sc., Professor, Director of RITON of SSMU n.a. V.I. Razumovsky,
Chief of Chair of Traumatology and Orthopedics;
orcid.org/0000-0001-8102-1951

S.V. Likhachev¹, Cand. Med. Sc., Senior Researcher; orcid.org/0000-0003-1874-2507

V.V. Zaretskov^{1, 2}, Dr. Med. Sc., Leading Researcher, Professor of Chair of Traumatology and Orthopedics;
orcid.org/0000-0001-5921-2786

V.B. Arsenievich¹, Cand. Med. Sc., Head of Traumatology and Orthopedics Department № 3;
orcid.org/0000-0003-4808-1578

A.E. Shul'ga¹, Cand. Med. Sc., Senior Researcher; orcid.org/0000-0001-8231-1483

S.V. Stepukhovich¹, Cand. Med. Sc., Traumatologist-Orthopedist; orcid.org/0000-0002-2194-1446

A.V. Zaretskov², Cand. Med. Sc., Associate Professor of Chair of Traumatology and Orthopedics;
orcid.org/0000-0003-0195-735X

D.Yu. Sumin¹, Radiologist; orcid.org/0000-0001-7209-8885

K.T. Bitokova², Resident Physician;
orcid.org/0000-0002-3519-9086

¹ Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery of Saratov State Medical
University named after V.I. Razumovsky, Ministry of Health of the Russian Federation,
ul. Chernyshevskogo, 148, Saratov, 410002, Russian Federation

² Chair of Traumatology and Orthopedics of Saratov State Medical University
named after V.I. Razumovsky, Ministry of Health of the Russian Federation,
ul. Bol'shaya Kazach'ya, 112, Saratov, 410012, Russian Federation

Цель исследования – оценить возможности использования данных компьютерной томографии (КТ) при металлофиксации переходных отделов позвоночника у пациентов с грудным и груднопоясничным сколиозом на этапе планирования хирургического вмешательства.

Материал и методы. Обследованы 39 пациентов с идиопатическим сколиозом (3–4 ст. по классификации В.Д. Чаклина) грудной и груднопоясничной локализации (I–III типы по классификации L. Lenke). Всем пациентам выполнено комплексное рентгенографическое и КТ-исследование. Рентгеноморфометрические особенности позвоночника учтены при планировании хирургических вмешательств.

Результаты. Уточнен протокол предоперационного обследования при сколиозе на основании данных КТ позвонков шейно-грудного и груднопоясничного переходных отделов позвоночника. Персонализированный на основе КТ-исследования подход к планированию операции позволяет максимально исключить дестабилизацию опорных элементов корригирующей системы. Снижению риска послеоперационной потери коррекции способствует использование многостержневых конструкций.

Заключение. На этапе предоперационного планирования металлофиксации переходных отделов позвоночника у пациентов с идиопатическим сколиозом грудной и груднопоясничной локализации необходимо выполнение КТ, позволяющей провести комплексную оценку имеющейся патологии и уточнить характер предстоящего хирургического вмешательства.

Ключевые слова: идиопатический сколиоз; лучевая диагностика; компьютерная томография; хирургия деформаций позвоночника.

Для цитирования: Норкин И.А., Лихачев С.В., Зарецков В.В., Арсениевич В.Б., Шульга А.Е., Степukхович С.В., Зарецков А.В., Сумин Д.Ю., Битоква К.Т. Компьютерная томография как составляющая предоперационного планирования металлофиксации переходных отделов позвоночника при коррекции сколиотических деформаций гибридными конструкциями. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2018; 99 (3): 139–46. DOI: 10.20862/0042-4676-2018-99-3-139-146

Для корреспонденции: Лихачев Сергей Вячеславович; E-mail: Likha4@mail.ru

Поступила 14.12.2017
Принята к печати 26.01.2018

Введение

Основным проявлением идиопатического сколиоза является многоплоскостная деформация позвоночного столба, зачастую сопровождающаяся торсией позвонков [1, 2]. Отсутствие этиопатогенетического лечения предопределяет использование хирургических методик при осуществлении коррекции деформации позвоночника. Современный подход предусматривает коррекцию деформации во фронтальной, сагиттальной и горизонтальной плоскостях с надежной стабилизацией в исправленном положении [3]. При этом важное значение придается восстановлению сагиттального и фронтального баланса [1]. С целью предотвращения развития возможных неврологических [4] осложнений

и для достижения оптимальной коррекции грубых деформаций позвоночника нередко применяются галопельвиктракция, галотибальное вытяжение, в том числе с предварительной дискэктомией на вершине деформации. Посегментарная фиксация дает возможность равномерно распределить нагрузку и надежно стабилизировать позвоночный столб в исправленном положении [5, 6]. Кроме того, многостержневая фиксация может позволить снизить степень потери коррекции в послеоперационном периоде [7].

К мерам профилактики послеоперационной потери коррекции относится и создание максимально стабильных проксимальных и дистальных точек фиксации при установке метал-

Objective: to assess whether computed tomography (CT) data can be used for metal transitional spine fixation in patients with thoracic and thoracolumbar scoliosis at the stage of surgical intervention planning.

Material and methods. Thirty-nine patients with grades 3 and 4 (according to V.D. Chaklin) or type I–III (according to the classification proposed by L. Lenke) thoracic and thoracolumbar idiopathic scoliosis were examined. All the patients underwent a comprehensive radiographic and CT examinations. The radiomorphometric features of the spine were used to plan surgical interventions.

Results. The protocol was clarified for preoperative scoliosis examination using CT data on cervicothoracic and thoracolumbar vertebrae. A personalized approach to planning an operation on the basis of CT examination permits one to eliminate destabilization of the supporting elements of the corrective system at the most. Reducing the risk of postoperative losses of correction contributes to the use of multi-rod constructs.

Conclusion. CT that enables a comprehensive assessment of existing pathology and clarification of the nature of impending surgery should be carried out in patients with thoracic and thoracolumbar idiopathic scoliosis at the stage of preoperative planning for metal transitional spine fixation.

For citation: Norkin I.A., Likhachev S.V., Zaretskov V.V., Arsenievich V.B., Shul'ga A.E., Stepukhovich S.V., Zaretskov A.V., Sumin D.Yu., Bitokova K.T. Computed tomography as a component of preoperative planning for metal transitional spine fixation in the correction of scoliotic deformities by hybrid constructs. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2018; 99 (3): 139–46 (in Russ.). DOI: 10.20862/0042-4676-2018-99-3-139-146

For correspondence: Sergey V. Likhachev; E-mail: Likha4@mail.ru

Acknowledgements. The study had no sponsorship.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Received December 14, 2017

Accepted January 26, 2018

локонструкций. Анатомические особенности верхнегрудных позвонков и позвонков груднопоясничного перехода, в большинстве случаев являющихся границами металлофиксации при сколиозах грудной и груднопоясничной локализации, в определенной степени затрудняют имплантацию опорных элементов эндокорректора [8]. Шейно-грудной (C7-Th3) и груднопоясничный (Th11-L2) переходы позвоночного столба отличаются уникальной биомеханикой, позволяющей передавать движения с одного отдела позвоночника на другой [9]. Функциональная значимость и подверженность повышенным механическим нагрузкам обуславливают особые требования к результатам стабилизации данных сегментов.

Этап планирования оперативного лечения у пациентов с деформациями позвоночника является основополагающим для благоприятного исхода операции. Планирование хирургического вмешательства с использованием транспедикулярных и гибридных систем невозможно без применения лучевых методов исследования. Компьютерная томография (КТ) все чаще дополняет стандартные рентгенологические [10, 11] методики обследования. В то же время вопрос целесообразности использования КТ в должном объеме при сколиозе остается открытым.

Цель нашего исследования – оценить возможности использования данных компьютерной томографии при металлофиксации переходных отделов позвоночника у пациентов с грудным и грудно-поясничным сколиозом на этапе планирования хирургического вмешательства.

Материал и методы

Прооперированы 39 больных с идиопатическим сколиозом 3–4 ст. по В.Д. Чаклину, I–III типами по классификации L. Lenke [12].

После стандартного предоперационного рентгенологического обследования, включающего спондилографию в двух проекциях стоя, выполняли рентгенограммы позвоночника с боковым наклоном в выпуклую сторону сколиотической дуги, после чего определяли границы металлофиксации.

На этапе предоперационного планирования выполняли КТ позвонков шейно-грудного и грудно-поясничного переходных отделов позвоночника на аппарате Toshiba Aquilion, количество ряда детекторов 320, толщина среза 0,5 мм. Исследование проводилось в спиральном режиме томографирования, зона исследования – 16 см за 1 оборот рентгеновской трубки, с использованием костной реконструкции. Технические характеристики томографирования: 100–120 мАс,

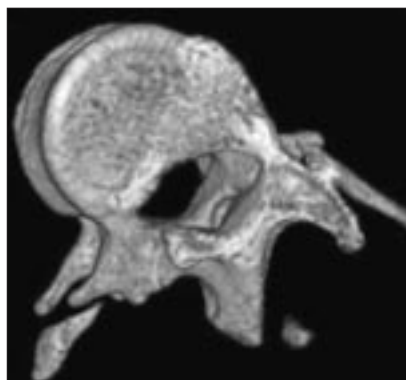


Рис. 1. КТ Th3 позвонка. Трехмерная реконструкция. Отмечается гипоплазия поперечного отростка справа. Диаметр ножки дуги слева 3 мм

120 кВ. Лучевая нагрузка составляла от 0,9 мЗв (объемный режим) до 2,5 мЗв (спиральный режим). Исследование выполнялось в положении пациента, аналогичном таковому на операционном столе: лежа на животе с валиками под грудную клетку и таз. Подобная укладка позволяет имитировать интраоперационное положение позвонков.

Полученные данные экспортировались в формат DICOM. По результатам КТ проводились спондилометрические измерения (линейные, угловые) в аксиальной, сагиттальной, коронарной и косых проекциях для точной оценки особенностей позвонков, входящих в сколиотическую дугу (рис. 1).

В дальнейшем данные КТ использовались при выборе оптимального способа инструментирования, для определения соответствия имеющейся патологии оптимизационным опциям в отношении каждого позвонка (ламинарная, супратрансверзальная, инфрапедикулярная установка крюков-упоров), для подбора типоразмеров имплантатов, а также уточнения траектории введения (транс- или парапедикулярная) транспедикулярных винтов. При определении радиуса и ширины лапки крючков, диаметра и длины винтов учитывали ширину и высоту ножки позвонка, расстояние от корня дуги до вентральной пластинки, высоту и ди-

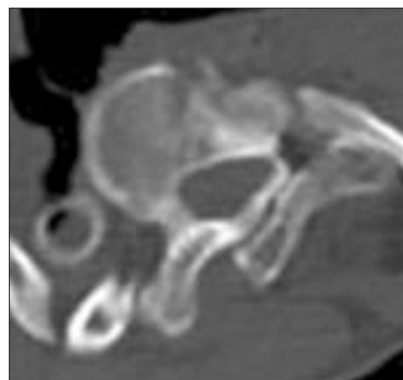


Рис. 2. КТ. Аксиальный срез. Торсионные изменения Th3 позвонка

аметры тела позвонка, педикулярный угол, линейные параметры поперечных отростков позвонка. Кроме того, определяли патологическую ротационную установку позвонка относительно сагиттальной плоскости по S. Aaro и M. Dahlborn [13] и регистрировали анатомические изменения, вызванные торсионной деформацией позвонков (рис. 2).

У 19 пациентов (2 мужчин и 17 женщин, средний возраст $19,1 \pm 1,7$ года) выполнена коррекция деформации гибридным инструментарием 3-го поколения в стандартной двухстержневой компоновке, у 20 больных (4 мужчин, 16 женщин, средний возраст $19,3 \pm 1,8$ года) дополнительно была осуществлена коррекция и фиксация вершинного угла основной дуги путем установки дополнительных опорных элементов и третьего стержня. После вмешательства больные наблюдались от 2 до 5 лет (средний срок 2,9 года).

В раннем послеоперационном периоде проведена КТ подвергнутых металлофиксации позвонков (рис. 3).

Всем пациентам выполняли рентгенограммы после операции. Оценивали результаты коррекции сколиотических дуг непосредственно после вмешательства и степень послеоперационной потери коррекции при контрольном осмотре через 1 год после вмешательства.



Рис. 3. КТ. Аксиальный срез инструментированного Th3 позвонка. Транспедикулярный винт расположен по центру ножки дуги позвонка

Для определения статистической значимости различий средних значений параметров использовали t-критерий Стьюдента.

Проведенное исследование являлось проспективным.

Результаты

Протокол, разработанный для оценки показателей прооперированных пациентов, представлен в таблице.

После определения границ спондилодеза и точек установки опорных элементов МК, осуществляемого на основании предоперационной спондилографии, выполняли КТ данных позвонков.

Проксимальной границей спондилодеза послужили Th1-Th3 позвонки, дистальной – Th12-L3. При анализе результатов КТ ротационная установка позвонков, которые планируется включить в зону спондилодеза, отмечена во всех случаях, причем у 11 (28%) больных она превышала 30°, что создавало экстремальные условия для введения транспедикулярных винтов. У 12 (31%) пациентов при КТ выявлены гипоплазия ножек дуги (у 7 (18%) больных), гипо- и аплазия поперечных отростков (у 9 (23%) больных).

У 1 пациента диагностирована Spina bifida occulta Th3 позвонка, исключающая возможность использования ламинарных крючков. Стеноз позвоночного канала отмечен в 4 (10%) случаях. Изучение типа аномалии позволило в ходе предоперационного планирования уточнить точки имплантации и вид опорных элементов корригирующей системы.

Исходные параметры основной дуги сколиоза составили в среднем $72,1 \pm 19,7^\circ$. Корригирующая операция позволила уменьшить ее величину до $25,2 \pm 16,3^\circ$. Степень коррекции – $46,9^\circ$ (65%). Рентгеноконтроль через 1 год после операции вы-

явил потерю коррекции $6,2 \pm 1,1^\circ$ ($13,2 \pm 2^\circ$), величина основной дуги составила $31,4 \pm 13,2^\circ$. Осложнений, повлиявших на исход лечения, не было. При послеоперационном КТ-контроле некорректной установки элементов МК не обнаружено.

Существенных расхождений по степени коррекции основной дуги сколиотической деформации в зависимости от количества стержней МК не выявлено. Интраоперационная коррекция, разумеется, не единственный показатель эффективности хирургического лечения сколиоза. Степень послеоперационного прогрессирования – важнейший параметр оценки отдаленных результатов вмешательства [14].

При использовании двух-стержневых конструкций послеоперационная потеря коррекции в среднем составила $9,1 \pm 1,3^\circ$ ($19,4 \pm 2,8^\circ$), а трехстержневых $3,1 \pm 0,7^\circ$ ($6,6 \pm 1,5^\circ$).

Ниже мы приводим описание двух клинических случаев.

Клинический пример 1.

В травматолого-ортопедическом отделении № 3 НИИТОН СГМУ находилась на лечении больная Р., 19 лет, по поводу идиопатического правостороннего про-

Анатомические особенности позвонков шейно-грудного и грудопоясничного переходных отделов позвоночника, анализируемые при планировании хирургического вмешательства

Объект исследования	Регистрируемые особенности позвонка	Потенциальные осложнения	Оптимизация металлофиксации
Особенности поперечных отростков позвонка	Аплазия, исключающая установку крючка на поперечный отросток	Нестабильность металлоконструкции (МК)	Применение транспедикулярной фиксации, смещение зоны фиксации краниальнее
Особенности ножек дуги позвонка	Диаметр ножки дуги менее 4 мм	Нестабильность МК, повреждение содержимого позвоночного канала	Парапедикулярная установка винтов (in-out-in методика), применение крючков
Особенности <i>lamina arcus vertebrae</i>	<i>Spina bifida</i>	Нестабильность МК	Применение транспедикулярной фиксации
Особенности тела позвонка	Клиновидная деформация	Нестабильность МК	Коррекция траектории установки транспедикулярного винта
Особенности позвоночного канала	Субклинический стеноз позвоночного канала	Возможность интраканальной компрессии при установке двух ламинарных крючков на одном уровне	Применение крючков с узкой лапкой

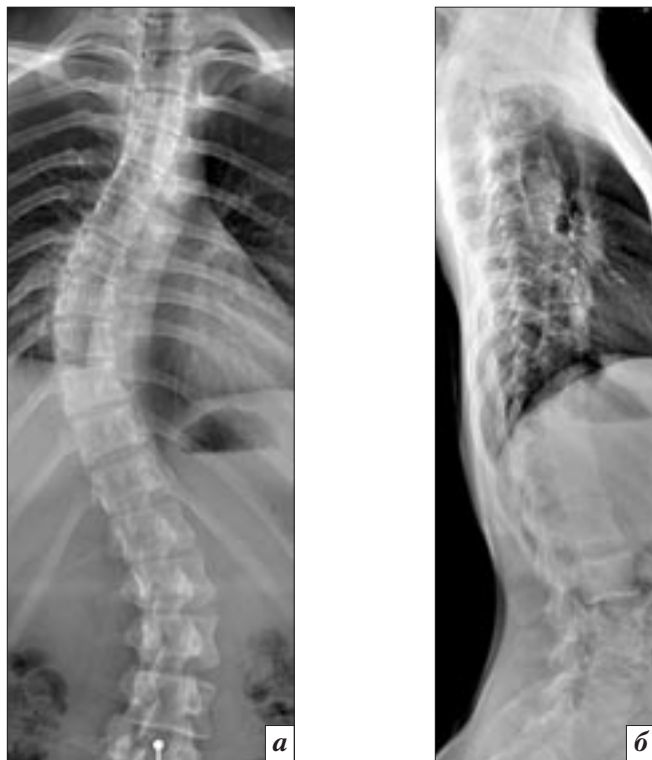


Рис. 4. Обзорные рентгенограммы позвоночника в прямой (а) и боковой (б) проекциях больной Р., 19 лет, в положении стоя, до операции

грессирующего нестабильного грудно-поясничного сколиоза 3 ст. (по В.Д. Чаклину), тип ПА (по классификации L.G. Lenke) (рис. 4). По данным рентгенографии, угол дуги сколиоза (по методу Cobb) составлял 48°.

После определения границ спондилодеза и точек установки опорных элементов МК, осуществляемого на основании предоперационной спондилографии, выполнили компьютерную томографию Th3-Th4, Th11-L3 позвонков. Проксимальной границей спондилодеза послужил Th3 позвонок, дистальной – L3. При анализе данных КТ установлено, что исходно планируемая all screw компоновка корригирующей системы не является оптимальной. Диаметр ножек дуги Th3 позвонка составил 3,5 мм, что затрудняет установку винтов транспедикулярно безопасно для содержимого позвоночного канала (рис. 5). Принято решение о формировании проксимального полюса МК на основе поперечно-ламинарных захватов. Дистальная база

гибридной системы расположена на позвонках груднопоясничного (Th12-L2) переходного отдела позвоночника. В ходе предоперационного планирования определили патологическую ротационную установку позвонка относительно сагиттальной плоскости по S. Aaro и M. Dahlborn (рис. 6). Траектория введения транспедикулярных винтов скорректирована по данным КТ-исследования. После вмешательства достигнута коррекция патологической ротации позвонка (рис. 7).

Из заднего доступа имплантирована полисегментарная дорзальная гибридная двухстержневая конструкция. В результате операции угол сколиоза составил 12° (коррекция 75% от первоначальной деформации), восстановлен сагиттальный профиль позвоночного столба (рис. 8). Послеоперационный период протекал без осложнений. Рентгеноконтроль через 1 год после операции выявил потерю коррекции 1,2° (1,6%), что не превышает погрешности при измерении параметров ско-

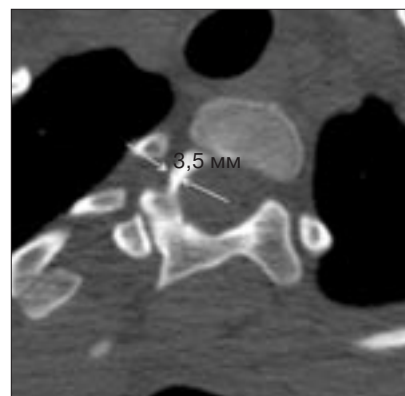


Рис. 5. КТ. Аксиальный срез. Дисплазия ножек дуги Th3 позвонка той же больной

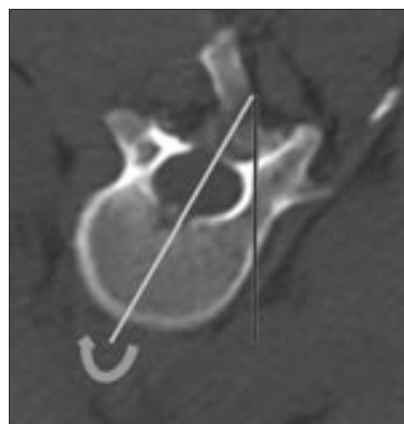


Рис. 6. КТ. Аксиальный срез. Патологическая ротационная установка L1 позвонка той же больной относительно сагиттальной плоскости

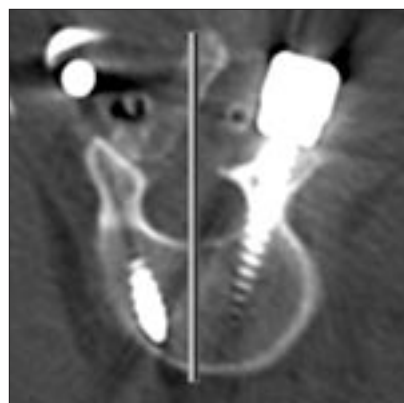


Рис. 7. КТ. Отсутствие ротационной установки L1 позвонка той же больной относительно сагиттальной плоскости в послеоперационном периоде

лиотической деформации по методу Cobb.

Клинический пример 2. В травматолого-ортопедическом



Рис. 8. Обзорные рентгенограммы позвоночника в прямой (а) и боковой (б) проекциях больной Р., 19 лет, в положении стоя, после операции. Коррекция 75% от первоначальной деформации



Рис. 9. Обзорные рентгенограммы позвоночника в прямой (а) и боковой (б) проекциях больной Ф., 20 лет, в положении стоя, до операции

отделении № 3 НИИТОН СГМУ находилась на лечении больная Ф., 20 лет, по поводу идиопатического правостороннего прогрессирующего нестабильного грудопоясничного сколиоза 4 ст. (по В.Д. Чаклину), тип IIIA (по классификации L.G. Lenke) (рис. 9). По данным рентгенографии, угол дуги сколиоза (по методу Cobb) составлял 88°. Имплантирована полисегментарная дорзальная гибридная трехстержневая конструкция. В ходе предварительного предоперационного планирования осуществить установку третьего стержня, корригирующего и стабилизирующего вершинный угол деформации, предполагалось с применением транспедикулярных винтов. Однако после анализа рентгеноморфометрических параметров ножек дуги Th7 позвонка (рис. 10) предпочтение было отдано инфраламинарной установке крюка-упора. Применено интраоперационное галотибиальное вытяжение, улучшающее результаты

коррекции и облегчающее монтаж конструкции. В результате операции угол сколиоза составил 31° (коррекция 65% от первоначальной деформации) (рис. 11). Послеоперационный период протекал без осложнений. Этапный рентгеноконтроль через 2 года после вмешательства выявил потерю коррекции 1,1° (1,2%).

Обсуждение

Снижение нагрузки на опорные элементы конструкции за счет дополнительных точек фиксации, по всей видимости, позволяет уменьшить риск прорезывания ламинарных крючков и транспедикулярных винтов на границах спондилодеза, что повышает шансы сохранения полученной коррекции. Несмотря на увеличившуюся трудоемкость при имплантации трехстержневой дорзальной гибридной конструкции, анализ продолжительности операции и объема интраоперационной кровопотери демонстрирует сравнимость



Рис. 10. КТ. Аксиальный срез. Дисплазия ножки Th7 позвонка той же больной при достаточной костной массе дужки позвонка

методик по этим показателям. Таким образом, в ряде случаев многостержневой вариант выглядит более предпочтительным.

Персонифицированный на основе КТ-исследования подход к компоновке дистального и проксимального захватов корригирующей системы позволяет пре-

одолеть затруднения, связанные с анатомическими особенностями вовлеченных в зону металлофиксации позвонков. Тем самым максимально исключается роль дестабилизации опорных элементов инструментария как фактора, влияющего на послеоперационную потерю полученной коррекции.

Заключение

Проведенное исследование продемонстрировало необходимость включения компьютерной томографии зон предполагаемой имплантации опорных элементов корригирующей системы в протокол предоперационного обследования при планировании коррекции грудных и грудопоясничных сколиозов. Особое значение имеет информация, полученная при КТ функционально перегружаемых после операции позвонков шейно-грудного и грудопоясничного переходов. Комплексная оценка параметров позвонков позволила у всех пациентов осуществить корректный выбор имплантатов, а в ряде случаев – при высокой степени опасности повреждения содержимого позвоночного канала – отказаться от металлофиксации сегментов, изменив компоновку металлоконструкции. Корректное расположение винтов и крючков при послеоперационном КТ-контроле свидетельствует в пользу уточнения рентгеноморфометрических параметров планируемых для металлофиксации позвонков при подготовке вмешательства. Сравнительная оценка динамики послеоперационной потери коррекции в двух группах пациентов позволяет сделать вывод, что применение дополнительной коррекции вершинного угла третьим стержнем повышает эффективность хирургического лечения грубых сколиотических деформаций I–III типа по классификации L.G. Lenke.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.



Рис. 11. Обзорные рентгенограммы позвоночника в прямой (а) и боковой (б) проекциях больной Ф., 20 лет, в положении стоя, после операции. Коррекция 65% от первоначальной деформации

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Литература [References]

1. Михайловский М.В. Текущие размышления о хирургии сколиоза. *Хирургия позвоночника*. 2012; 1: 31–6. [Mikhaylovskiy M.V. Current thoughts on scoliosis surgery. *Khirurgiya Pozvonochnika (Spine Surgery, Russian journal)*. 2012; 1: 31–6 (in Russ.).]
2. Виссарионов С.В., Соболев А.В., Надиров Н.Н., Кокушин Д.Н., Ефремов А.М., Белянчиков С.М. Сравнительный анализ эффективности хирургического лечения детей с идиопатическим сколиозом грудопоясничной и поясничной локализации. *Фундаментальные исследования*. 2015; 1: 21–6. [Vissarionov S.V., Sobolev A.V., Nadirov N.N., Kokushin D.N., Efremov A.M., Belyanchikov S.M. Comparative analysis of surgical treatment of children with idiopathic scoliosis of thoracolumbar and lumbar spine. *Fundamental'nye Issledovaniya (Fundamental Study, Russian journal)*. 2015; 1: 21–6 (in Russ.).]
3. Зарецков В.В., Максюшина Т.Д., Титова Ю.И., Сумин Д.Ю., Рубашкин С.А. Характеристика трехмерной хирургической коррекции сколиотической деформации по данным рентгенологических методов исследования. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2006; 5: 45–7. [Zaretskov V.V., Maksyushina T.D., Titova Yu.I., Sumin D.Yu., Rubashkin S.A. Characteristics of three-dimensional surgical correction of scoliotic deformity, as evidenced by X-ray studies. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2006; 5: 45–7 (in Russ.).]
4. Shul'ga A.E., Norkin I.A., Puchin'yan D.M., Zaretskov V.V., Korshunova G.A., Ostrovskii V.V. et al. Contemporary views on the pathogenesis of trauma of the spinal cord and peripheral nerve trunks. *Neuroscience and Behavioral Physiology*. 2015; 7: 811–9.
5. Колесов С.В., Кудряков С.А., Шавырин И.А. Хирургическая коррекция грудного сколиоза из вентрального и дорсального доступов. *Хирургия позвоночника*. 2013; 2: 14–22. [Kolesov S.V., Kudryakov S.A., Shavyrin I.A. Surgical correction of thoracic scoliosis through

- anterior and posterior approaches. *Khirurgiya Pozvonochnika (Spine Surgery, Russian journal)*. 2013; 2: 14–22 (in Russ.).]
6. Бакланов А.Н., Колесов С.В., Шавырин И.А. Хирургическое лечение тяжелых нейромышечных сколиозов у пациентов, страдающих спинальной мышечной атрофией. *Хирургия позвоночника*. 2011; 3: 31–7. [Baklanov A.N., Kolesov S.V., Shavyrin I.A. Surgical treatment of severe neuromuscular scoliosis in patients with spinal muscular atrophy. *Khirurgiya Pozvonochnika (Spine Surgery, Russian journal)*. 2011; 3: 31–7 (in Russ.).]
 7. Кулешов А.А., Ветрилэ С.Т., Лисянский И.Н., Ветрилэ М.С., Захарин Р.Г., Гусейнов В.Г. Комплексное оперативное лечение тяжелых сколиозов с применением элевационной торакопластики. *Хирургия позвоночника*. 2012; 2: 37–43. [Kuleshov A.A., Vetrile S.T., Lisyanskiy I.N., Vetrile M.S., Zakharin R.G., Guseynov V.G. Multimodal surgical treatment of severe scoliosis using concave thoracoplasty. *Khirurgiya Pozvonochnika (Spine Surgery, Russian journal)*. 2012; 2: 37–43 (in Russ.).]
 8. Зарецков В.В., Арсениевич В.Б., Рубашкин С.А. Хирургическая коррекция сколиотической деформации в условиях продолжающегося роста больного. *Хирургия позвоночника*. 2007; 3: 36–8. [Zaretskov V.V., Arsenievich V.B., Rubashkin S.A. Surgical correction of scoliotic deformation in a patient with continuing growth. *Khirurgiya Pozvonochnika (Spine Surgery, Russian journal)*. 2007; 3: 36–8 (in Russ.).]
 9. Анисимова Е.А. Закономерности изменчивости размеров и формы позвонков докрестцового отдела позвоночного столба. *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки*. 2009; 2: 3–13. [Anisimova E.A. Regularities of variability of dimensions and forms of presacral vertebral column department. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Povolzhskiy Region. Meditsinskie Nauki (University Proceedings. Volga Region. Medical Sciences)*. 2009; 2: 3–13 (in Russ.).]
 10. Зарецков В.В., Артемьева И.А. Сравнительная характеристика рентгенологических методов измерения грудного кифоза. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 1997; 3: 58–9. [Zaretskov V.V., Artem'eva I.A. Comparative characteristics of X-ray methods for measuring thoracic kyphosis. *Vestnik Travmatologii i Ortopedii imeni N.N. Priorova*. 1997; 3: 58–9 (in Russ.).]
 11. Сотникова Е.А., Гайдук А.А., Бобко А.Я. Рентгенография как метод диагностики при статических нарушениях позвоночника и таза у детей и подростков. *Медицинская визуализация*. 2012; 1: 108–13. [Sotnikova E.A., Gayduk A.A., Bobko A.Ya. Roentgenography as a diagnostic method for static spine and pelvic disturbances by children and teenagers. *Meditsinskaya Vizualizatsiya (Medical Visualization, Russian journal)*. 2012; 1: 108–13 (in Russ.).]
 12. Lenke L.G., Betz R.R., Harms J., Bridwell K.H., Clements D.H., Lowe T.G. Adolescent idiopathic scoliosis: a new classification to determine extent of spinal arthrodesis. *J. Bone Joint Surg. Am.* 2001; 83: 1169–81.
 13. Aaro S., Dahlborn M. The longitudinal axis rotation of the apical vertebra, the vertebral, spinal, and rib cage deformity in idiopathic scoliosis studied by computer tomography. *Spine*. 1981; 6: 567–72.
 14. Васюра А.С., Новиков В.В., Белозеров В.В., Удалова И.Г. Эффективность применения ламинарной и транспедикулярной фиксации при хирургическом лечении идиопатического сколиоза поясничной и груднопоясничной локализации. *Хирургия позвоночника*. 2012; 1: 48–53. [Vasyura A.S., Novikov V.V., Belozеров V.V., Udalova I.G. Efficacy of laminar and transpedicular fixation in surgical treatment of thoracolumbar and lumbar idiopathic scoliosis. *Khirurgiya Pozvonochnika (Spine Surgery, Russian journal)*. 2012; 1: 48–53 (in Russ.).]