

## КТ-навигируемая технология прямого бокового межтелового спондилодеза (DLIF)

Н.А. Коновалов, А.Г. Назаренко, Д.С. Асютин, М.А. Мартынова  
ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии  
им. академика Н.Н. Бурденко» Минздрава РФ, Москва

## Navigable computed tomography technology of direct lateral interbody fusion (DLIF)

N.A. Konovalov, A.G. Nazarenko, D.S. Asyutin, M.A. Martynova  
N.N. Burdenko NMRCN, Moscow, Russia

### Аннотация

Развитие интраоперационной компьютерной томографии и навигационных технологий было важным этапом развития хирургии позвоночника. Применение КТ-навигируемой методики позволяет получить трехмерные изображения позвоночника в режиме реального времени. Цель работы: оценить применение интраоперационного компьютерного томографа и навигационной системы в хирургическом лечении дегенеративных заболеваний и деформаций позвоночника с применением технологии прямого бокового межтелового спондилодеза. Мы описываем хирургическую методику проведения прямого бокового межтелового спондилодеза с использованием интраоперационного компьютерного томографа и системы навигации. Данная технология имеет ряд преимуществ по сравнению с использованием стандартной флюороскопии - повышает безопасность пациента и обеспечивает высокую точность установки имплантов, сокращает длительность этапа стабилизации и снижает величину лучевой нагрузки на оперирующую бригаду и пациента.

**Ключевые слова:** прямой боковой межтеловой спондилодез, интраоперационный компьютерный томограф, навигационная система.

### Abstract

The development of intraoperative computer tomography and navigation techniques has been an important advancement in the field of spine surgery. These techniques, commonly referred to as image-guided surgery, provide simultaneous, multiplanar views of spinal anatomy. Objective: to assess the effectiveness of use of intraoperative cone-beam CT and navigation system in spinal surgery using lateral interbody fusion techniques. We describe the surgical technique of performing lateral lumbar interbody fusion using CT navigation. Performing lateral interbody fusion using CT navigation presents important advantages to the currently used fluoroscopy-based techniques: increases patient safety and provides high accuracy of implant installation, shortens the duration of the stabilization and eliminates the radiation exposure for the surgeon and reduces the radiation dosage for the patient.

**Key words:** direct lateral interbody fusion, intraoperative computer tomography, navigation system.

Актуальность работы обусловлена несколькими факторами. Тенденция к увеличению средней продолжительности жизни населения в развитых странах, совершенствование методов диагностики обусловили увеличение числа пациентов с дегенеративными заболеваниями позвоночника, которые требуют оказания высокотехнологичной хирургической помощи. В ответ на увеличение количества пациентов с дегенеративными заболеваниями позвоночника появляются и внедряются в практику новые минимально-инвазивные хирургические технологии, позволяющие ускорить процесс реабилитации пациентов, восстановление их трудоспособности, а следовательно, и возвращение к привычному образу жизни. В условиях стреми-

тельного развития рынка имплантов возникла необходимость интраоперационного контроля их установки с помощью средств интраоперационной визуализации. Наиболее распространенным в повседневной практике является электронно-оптический преобразователь (ЭОП). Электронно-оптический преобразователь позволяет получать двухмерные изображения, и применение его в последнее десятилетие стало рутинным. Применение ЭОП не позволяет получать аксиальные снимки и является источником лучевой нагрузки на пациента и врача, что в совокупности является недостатком системы. Правильность установки имплантов минимизирует риски интраоперационных осложнений и улучшает качество хирургического лечения.

Наличие сагиттальной и коронарной деформации позвоночника, избыточная масса тела пациента (ожирение) вызывают дополнительные трудности при установке имплантов.

Технология прямого бокового межтелового спондилодеза (direct lateral interbody fusion, Medtronic Sofamor Danek, Inc., Теннесси, США; extreme lateral interbody fusion, Сан-Диего, штат Калифорния, США) была разработана по методу, описанному Mayer, и модифицирована McAfee, Pimenta, Ozgur и др. [1-4]. Этот метод межтелового спондилодеза был использован в качестве минимально-инвазивной техники для лечения дегенеративных заболеваний и деформаций позвоночника [5-7]. Данная технология выполняется в боковом положении, и получение качественного изображения имеет решающее значение для правильного положения импланта. Это приводит к увеличению количества прицельных снимков и, следовательно, к увеличению лучевой нагрузки на пациента и хирургическую бригаду.

Развитие технологий визуализации позволяет сегодня проводить компьютерную томографию непосредственно в операционной. Специально для этого разработан конусно-лучевой интраоперационный компьютерный томограф (ИКЛКТ), который объединяет в себе функции компьютерного томографа и электронно-оптического преобразователя. Для снижения величины лучевой нагрузки как на пациента, так и на оперирующую бригаду ИКЛКТ может использоваться вместе с навигационной системой. При этом появилась возможность не только повысить безопасность пациента и качество лечения, но и использовать новые методы стабилизации позвоночных сегментов.

Цель исследования: оценить применение интраоперационного компьютерного томографа и навигационной системы в хирургическом лечении дегенеративных заболеваний и деформаций позвоночника с применением технологии прямого бокового межтелового спондилодеза (DLIF).

## Материалы и методы

Боковой поясничный межтеловой спондилодез (англ. DLIF - Direct Lateral Interbody Fusion) - самая молодая методика, при которой доступ осуществляется через подвздошную мышцу к передней и средней колоннам позвоночника на уровне L1-L5 позвонков [8]. Кейдж, установленный по технологии DLIF, большего размера, имеет большую площадь соприкосновения в сравнении с другими имплантами и опирается на краевую плотную часть замыкательной пластинки, тем самым создавая большую поддержку передней опорной колонны [9, 10]. На рис. 1 представлены примеры кейджей для выполнения межтелового спондилодеза из переднего, трансфораминального и бокового хирургического доступа.

Технология прямого бокового спондилодеза впервые в России была применена в 2014 г. в отделении спинальной нейрохирургии ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии им. акад. Н. Н. Бурденко» Минздрава России.

Основными показаниями к DLIF являются:

- нестабильность позвоночно-двигательного сегмента,
- дегенеративный сколиоз,
- спондилолистез 1, 2-й степени,
- болезнь смежного сегмента,
- ревизионная хирургия, несостоявшийся спондилодез, требующие межтеловой стабилизации для избежания повторного доступа в области предшествующего оперативного вмешательства (зона рубцов, установки металлоконструкции).

Помимо вышеперечисленных показаний, существуют ограничения применения данной методики:

- выполнение прямого бокового спондилодеза возможно на уровне L2-L5 позвонков,
- невозможно выполнить декомпрессию в центральной части позвоночного канала (центральный стеноз),
- спондилолистез 3-й степени и более,

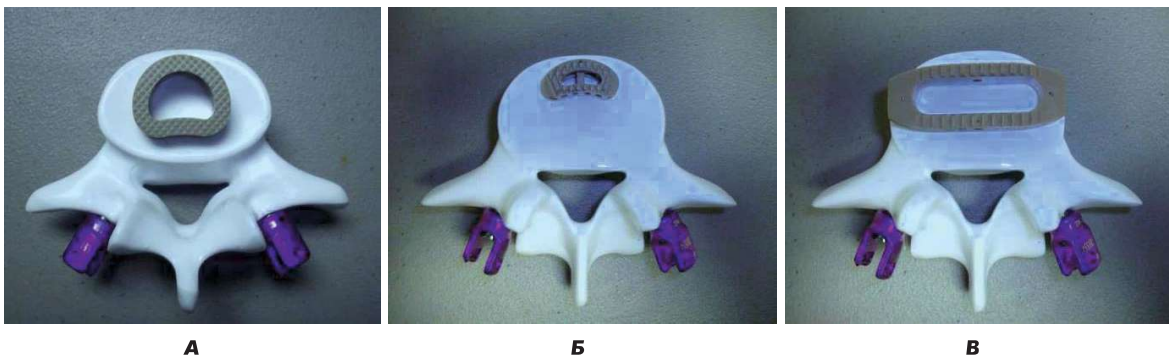
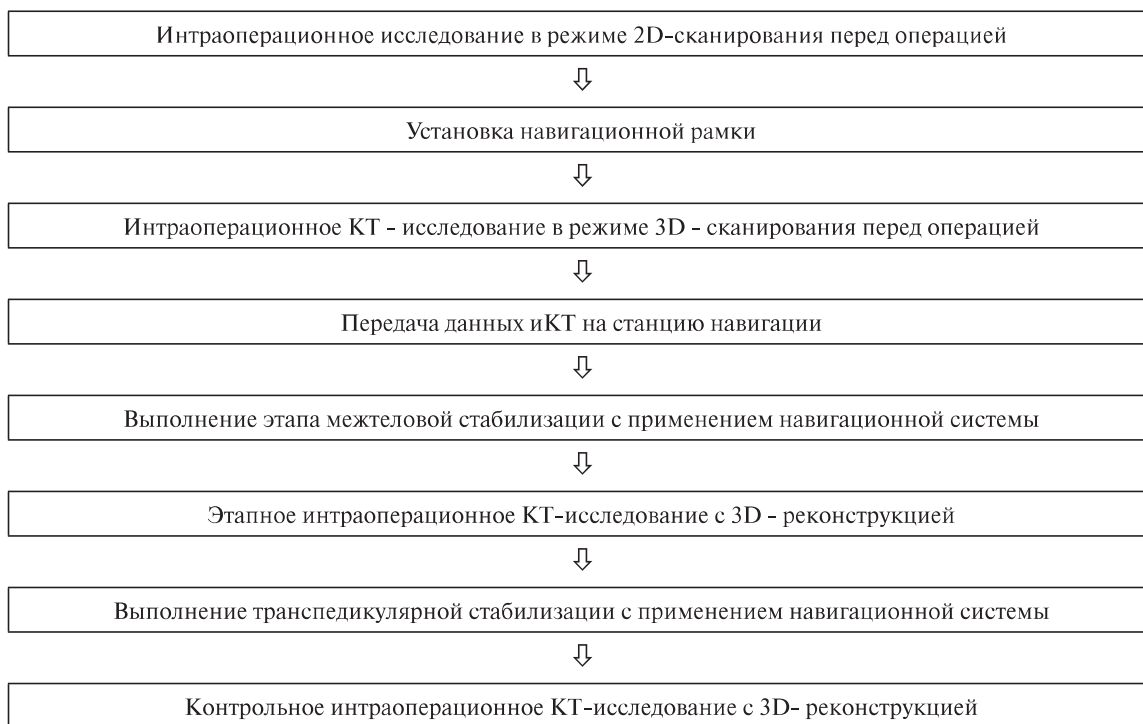


Рис. 1. Сравнение размеров и расположения межтелового импланта при выполнении переднего (А), трансфораминального (Б) и бокового доступов (В).



**Рис. 2. Алгоритм применения интраоперационной КТ и системы навигации при выполнении прямого бокового спондилодеза (DLIF) и транскutánной транспедикулярной стабилизации.**

- предшествующие вентральные оперативные вмешательства,
- выраженная патология фасеток,
- необходим интраоперационный нейромониторинг.

При выполнении прямого бокового спондилодеза (DLIF) и транспедикулярной стабилизации (транскutánной или минимально-инвазивной) в отделении спинальной нейрохирургии ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н. Н. Бурденко» Минздрава России разработан алгоритм применения интраоперационной КТ и системы навигации (рис. 2).

Пациент укладывается на бок, операционный стол сгибается под углом таким образом, чтобы увеличить расстояние между крылом подвздошной кости и ребрами. Руки согнуты в локтевых суставах. Ноги сгибаются в коленном и тазобедренном суставах для расслабления ипсилатеральной поясничной мышцы. В условиях эндотрахеального наркоза перед хирургическим вмешательством выполняется интраоперационное КТ-исследование в режиме 2D-сканирования для точности определения зоны хирургического вмешательства (рис. 3, 4).

После этого производится установка навигационной рамки в гребень подвздошной ко-



**Рис. 3. Позиционирование пациента на операционном столе.**





А



Б

**Рис. 4.** Этапы разметки оперируемого сегмента: А - в положении пациента на боку проецирование на кожу межпозвоночного диска оперируемого сегмента с применением иКТ в режиме 2D-сканирования; Б – разметка разреза.

сти и выполняется КТ-исследование в режиме 3D-сканирования. Важно отметить, что выбор места для фиксации навигационной рамки должен быть спланирован так, чтобы после поворота пациента на живот для выполнения этапа транспедикулярной стабилизации не возникло необходимости ее переустановки. Следующим этапом производится автоматическая передача данных КТ-изображений на навигационную станцию и осуществляется межтеловая стабилизация с применением навигационных инструментов. После выполнения межтелового спондилодеза пациента позиционируют на живот, навигационную рамку накрывают стерильным чехлом и производят этапное 3D-сканирование для контроля положения кейджа и точности последующей установки транспедикулярных винтов (рис. 5).



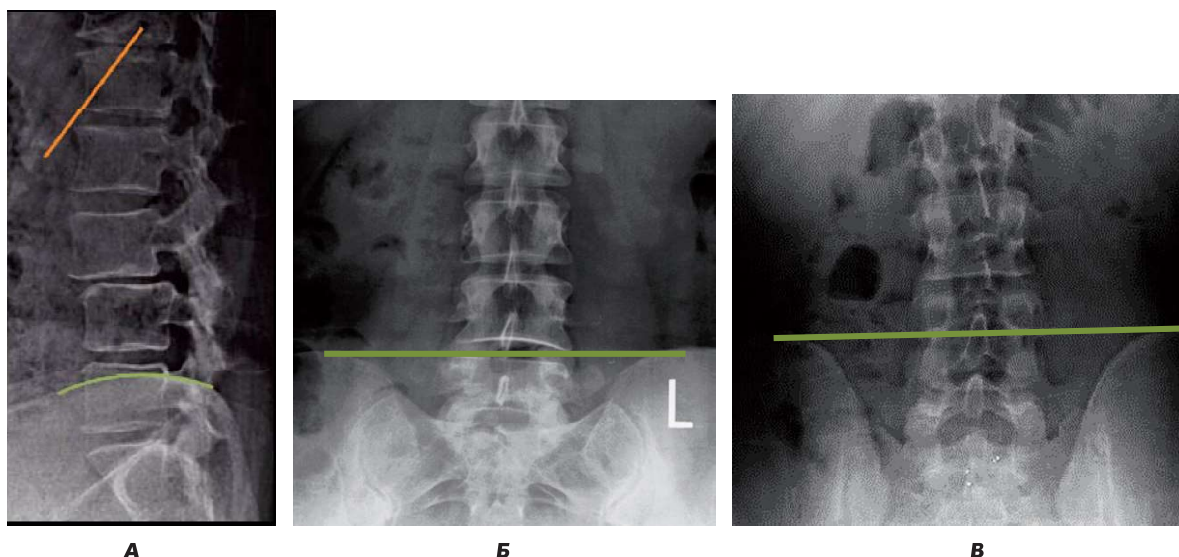
**Рис. 5.** Позиционирование пациента для установки транспедикулярных винтов.

После завершения этапа транспедикулярной стабилизации выполняется контрольное КТ-исследование с 3D-реконструкцией для контроля точности положения установленных имплантов.

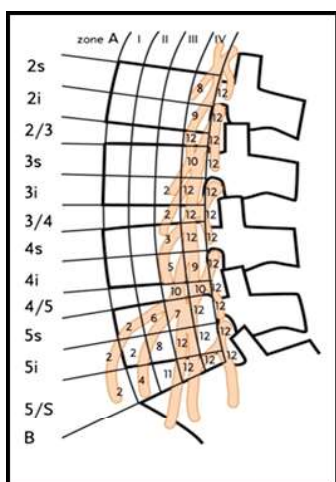
Боковой поясничной межтеловой спондилодез осуществляется через подвздошную мышцу к передней и средней колоннам позвоночника в положении пациента на боку. Интервал применения данной технологии на уровне L2-L5 позвонков обусловлен в краниальном направлении наличием реберной дуги, а в каудальном – крыла подвздошной кости. Поэтому на этапе предоперационного планирования по спондилограммам пояснично-крестцового отдела позвоночника в прямой и боковой проекциях определяется возможность выполнения спондилодеза с применением методики DLIF. Высокое вертикальное стояние крыла подвздошной кости (выше половины тела L4 позвонка), затрудняющее выполнение данной технологии, чаще встречается у мужчин. При длинных и направленных книзу XI и XII ребрах доступ выполняется через межреберный промежуток или с резекцией части ребра. Однако при освоении методики целесообразно начинать с уровня L2-L3 и L3-L4. На рис. 6 представлены примеры положения крыльев подвздошных костей и реберной дуги.

При проведении кейджа через подвздошную мышцу к передней и средней колоннам позвоночника следует помнить о тех окружающих анатомических структурах, которые потенциально могут быть повреждены. Прежде всего, это поясничное нервное сплетение, схематично представленное на рис. 7.

Наиболее безопасной для выполнения бокового межтелового спондилодеза является передняя



**Рис. 6.** Сагиттальная (А) и фронтальные (Б, В) спондилограммы пояснично-крестцового отдела позвоночника: проекция реберной дуги пересекает тело L1 позвонка (А), а линия, соединяющая верхние точки крыльев подвздошных костей, проходит в проекции межтелового промежутка L4-L5 (Б) и в проекции середины тела L4 позвонка.

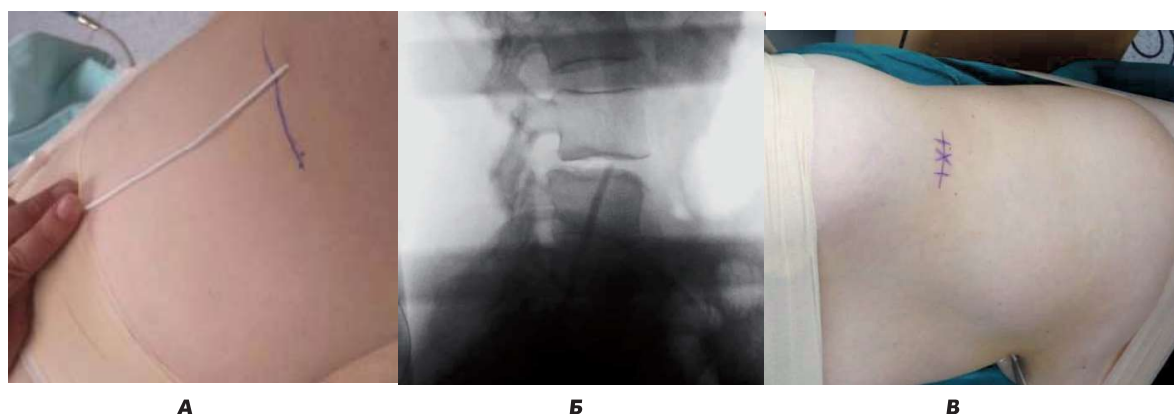


**Рис. 7.** Взаимоотношение поясничного нервного сплетения и позвонков с межтеловыми промежутками.

половина или передняя треть промежутка (зависит от уровня). Риск повреждения нерва увеличивается в каудальном направлении, поэтому наибо-

лее осторожно нужно работать на уровне L4-5. Для избежания повреждения ветвей поясничного сплетения, прежде всего генитофemorального нерва, образованного из сплетения верхних поясничных спинномозговых нервов и расположенного по передней поверхности и в толще поясничной мышцы, необходимо использовать интраоперационный нейромониторинг.

Выбор стороны, с которой выполнять установку межтелового кейджа, обусловлен предпочтением хирурга. Однако технически проще боковой межтеловой спондилодез выполнять с той стороны, где межтеловой промежуток больше раскрыт. При дегенеративном сколиозе – со стороны выпуклости дуги, где выше межтеловой промежуток и больше расстояние между гребнем подвздошной кости и ребрами. Коррекция будет одинаковой при доступе с любой из сторон, но технически проще войти с выпуклой стороны. Однако при многоуровневом вмешательстве доступ с вогнутой стороны деформации позволяет



**Рис. 8.** Этапы разметки оперируемого сегмента: А – определение проекции оперируемого сегмента и точки входа в межтеловой промежуток; Б - интраоперационное КТ-исследование в режиме 2D-сканирования, указка спроецирована в точку входа в межтеловой промежуток; В – разметка разреза.



сделать более короткий разрез кожи. Это оценивается на этапе планирования операции по предоперационным спондилограммам и интраоперационно после позиционирования пациента на столе и флюороскопического контроля (с помощью интраоперационного КТ-исследования в режиме 2D-сканирования).

После укладки пациента на операционном столе и установки электродов для ИОНМ важным моментом является получение четких изображений в прямой и боковой проекции. В переднезадней проекции остистые отростки должны располагаться по средней линии и корни дуг должны быть симметричны. При боковой проекции межтеловой промежуток должен быть параллельным плоскости луча и замыкательные пластинки должны быть в виде линий.

С помощью интраоперационного КТ-исследования в режиме 2D-сканирования во время разметки доступа непосредственно в проекции диска определяется точка входа в межтеловой промежуток, при одноуровневом и двухуровневом вмешательстве выполняется один разрез (рис. 8).

Хирургический доступ к позвоночнику выполняется через разрез кожи, подкожной жировой клетчатки и трех слоев мышц передней брюшной стенки. Через ретроперитонеальное пространство тупым путем осуществляем доступ к поясничной мышце и расслаиваем ее. На рис. 9 представлена топографоанатомическая схема хирургического доступа.

Далее после формирования канала в поясничной мышце устанавливается игольчатый электрод и оценивается наличие невралных структур с помощью нейрофизиологического контроля (рис. 10).

После подтверждения отсутствия сигнала от ветвей поясничного сплетения по игольчатому электроду в диск устанавливается спица, на которую последовательно вкручивающимися движениями вводятся дилататоры от минимального размера до максимального (22 мм). Для подтверждения правильного расположения дилататора на диске выполняется спондилограмма в прямой проекции. Затем ретрактор в сомкнутом состоянии низводится по последнему дилататору, а его свободный конец жест-

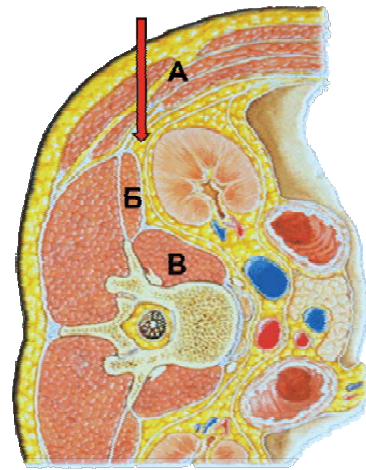
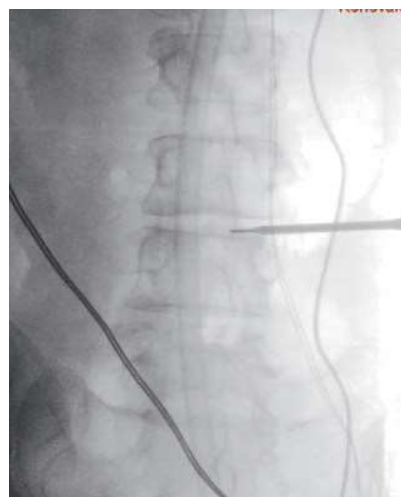


Рис. 9. Топографоанатомическая схема (аксиальная проекция) хирургического доступа с применением технологии DLIF: А – три слоя мышц передней брюшной стенки; Б – квадратная мышца поясницы; В – поясничная мышца; стрелкой указан хирургический доступ к позвоночнику.



А

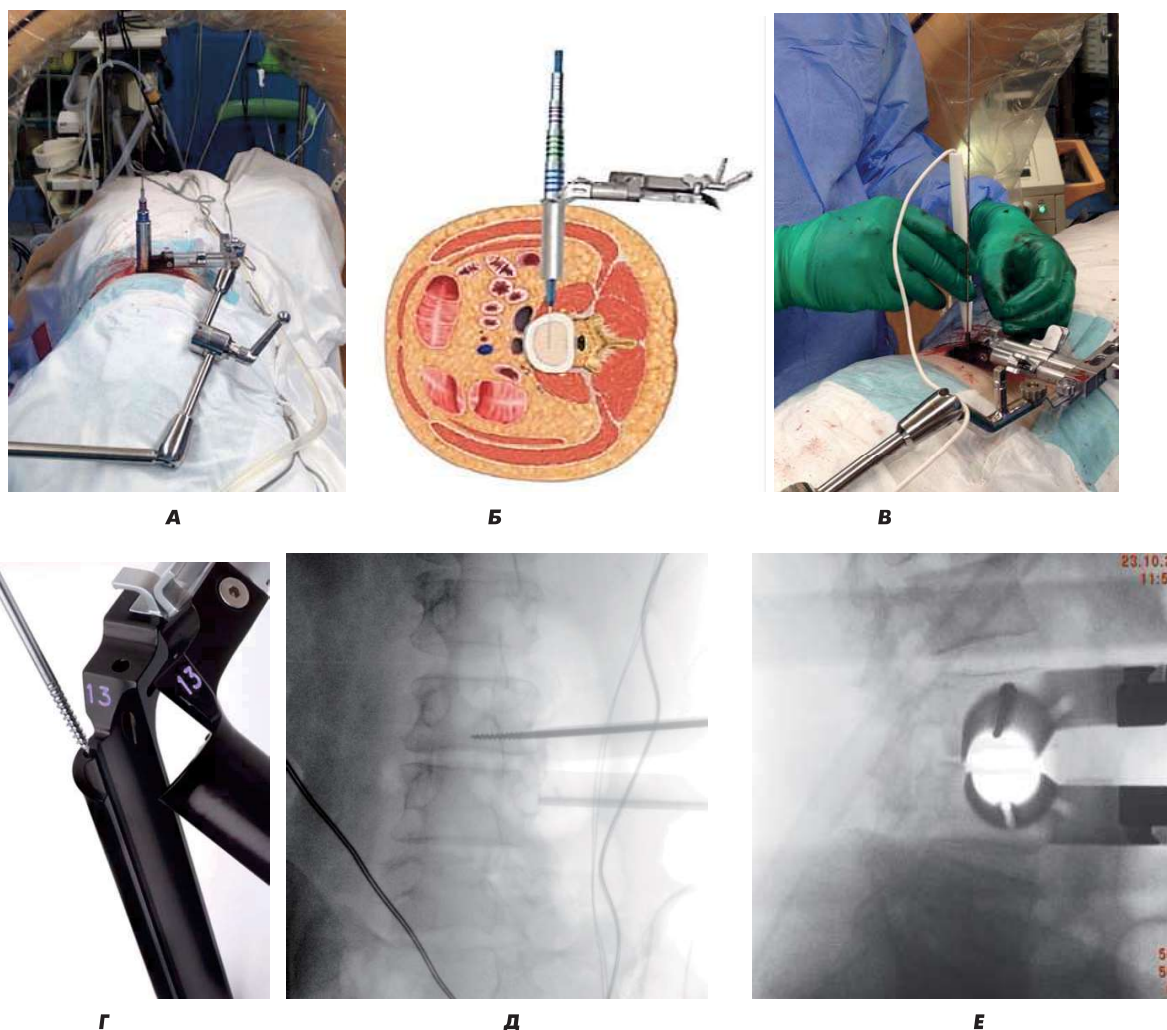
Б



В

Г

Рис. 10. Установка игольчатого электрода для ИОНМ: А – интраоперационное фото игольчатого электрода; Б – топографоанатомическая схема установки игольчатого электрода, аксиальная проекция; В – флюороскопический контроль положения игольчатого электрода в прямой проекции; Г – флюороскопический контроль положения игольчатого электрода в боковой проекции.



**Рис. 11.** Поэтапная установка дилатора и ретрактора: **А** – ретрактор установлен в проекции межтелового промежутка, его свободный конец фиксирован к операционному столу, интраоперационное фото; **Б** – топографоанатомическая схема установки ретрактора, аксиальная проекция; **В** – оценка с помощью нейромониторинга безопасной установки ретрактора; **Г** – фиксирующий пин вводится через лопасть ретрактора и фиксируется в тело вышележащего позвонка; **Д** – флюороскопический контроль положения ретрактора в прямой проекции, фиксирующий пин введен в тело вышележащего позвонка; **Е** – флюороскопический контроль положения ретрактора в боковой проекции.

ко фиксируется к операционному столу, после чего дилаторы удаляются.

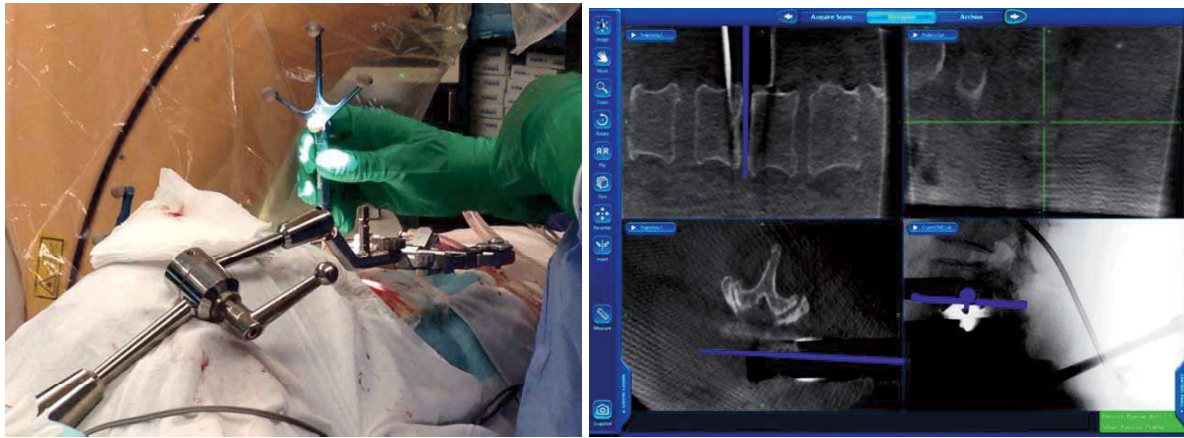
После установки тубулярного ретрактора проводится нейрофизиологический контроль зоны, где планируется провести рассечение диска. Через канал для световодов можно подключить источник освещения, хотя обычно при работе с микроскопом дополнительный источник освещения не требуется.

Через канал в стенке лопасти ретрактора устанавливается фиксирующий пин, который проводится параллельно замыкательной пластинке вышележащего позвонка, не повреждая ее. Близкое к замыкательной пластинке проведение пина снижает риск повреждения сегментарных сосудов. Используется только один пин, чтобы система не была абсолютно ригидной и давала возможность дистракции межтелового промежутка при введении шаблонов, а не работала на излом пина (рис. 11).

Следующим этапом с помощью микроскопа фиброзное кольцо рассекается микрохирургическим скальпелем, кюретками и конхотомами выполняется дискэктомия. Необходимо удалить содержимое диска до противоположной стороны, не повреждая фиброзное кольцо, для улучшения коррекции деформаций и полноценной укладки трансплантатов на всем протяжении поперечника межтелового промежутка (рис. 12).

После выполненной дискэктомии лопасти ретрактора разводят. Когда межтеловой промежуток подготовлен для установки импланта, с использованием системы навигации по размеру межтелового промежутка подбирается шаблон. Последовательным введением шаблонов от меньшего размера к большему производится дистракция межтелового промежутка до достижения оптимальной высоты последнего. Важно контролировать, чтобы шаблон располагался в пределах фиброз-

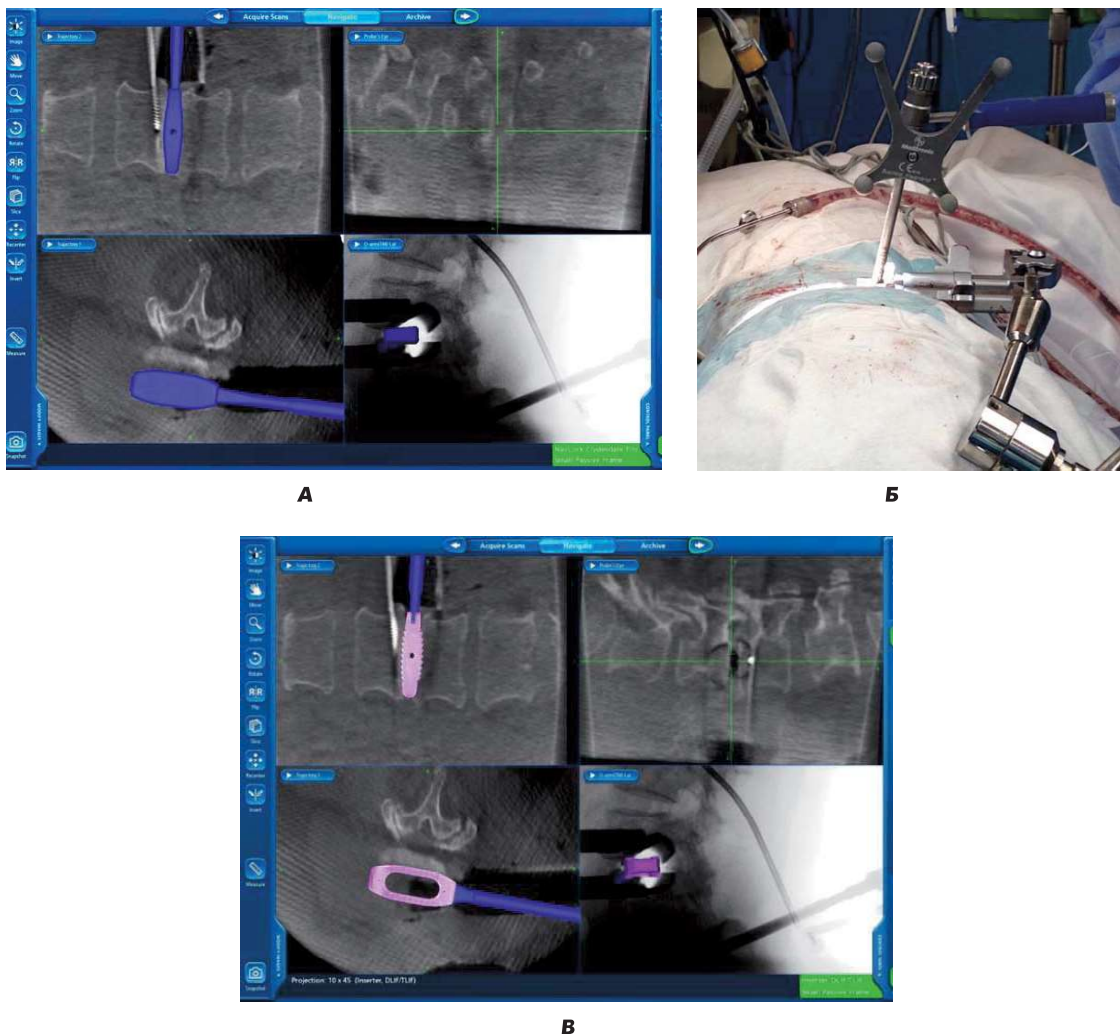




**Рис. 12.** Контроль выполненной дискэктомии: **А** – контроль выполненной дискэктомии с помощью навигационного щупа, интраоперационное фото; **Б** – контроль выполненной до противоположной стороны дискэктомии с применением навигационной системы.

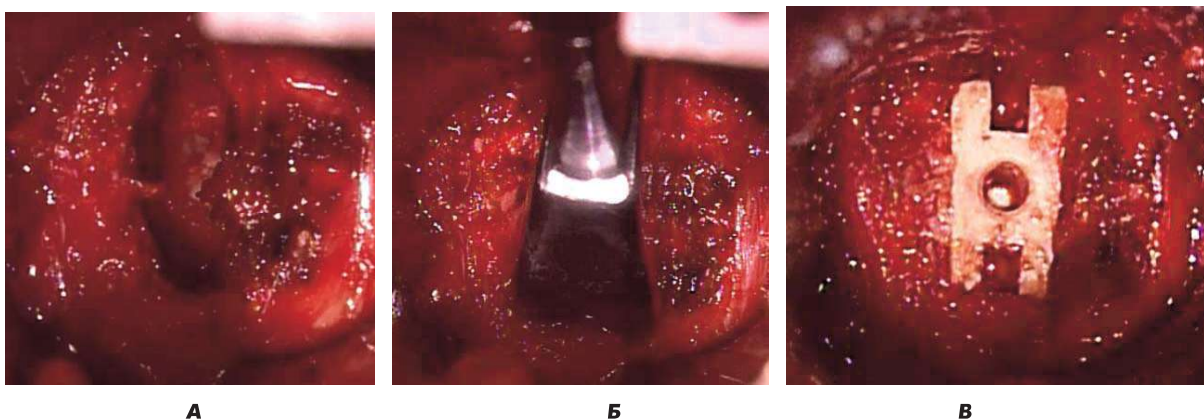
ного кольца. С помощью пробника по размеру межтелового промежутка с использованием навигационной системы подбирается кейдж. Имплант

импактируется остеоиндуктивным материалом или костной крошкой и фиксируется в инсертере. Далее под контролем навигации и интраопе-



**Рис. 13.** Установка межтелового импланта методом DLIF: **А** – интраоперационный контроль установки шаблона кейджа в межтеловый промежуток и определение размера кейджа с помощью навигационной системы; **Б** – установка кейджа в межтеловый промежуток с использованием системы навигации; **В** – интраоперационный контроль положения и размера кейджа с помощью навигационной системы.





**Рис. 14.** Установка межтелового импланта методом DLIF: **А** – удаление содержимого полости диска, интраоперационное фото; **Б** – установка шаблона кейджа в межтеловой промежуток, интраоперационное фото; **В** – кейдж установлен в полость диска, интраоперационное фото.

рационной визуализации с помощью микроскопа кейдж строго вертикально вводится в межтеловой промежуток, контролируется его положение. Кейдж импактируется молотком до того момента, когда полностью дойдет до противоположной стороны. Фиксатор для кейджа (инсертер) извлекается, и производится окончательная визуальная оценка стояния имплантата. Далее извлекается ретрактор, и с помощью интраоперационной КТ выполняется этапное 3D-сканирование для контроля положения кейджа (рис. 13, 14). Затем производится послойное ушивание раны наглухо: ушивается поперечная фасция, фасция наружной косой мышцы живота, подкожная жировая клетчатка и кожа.

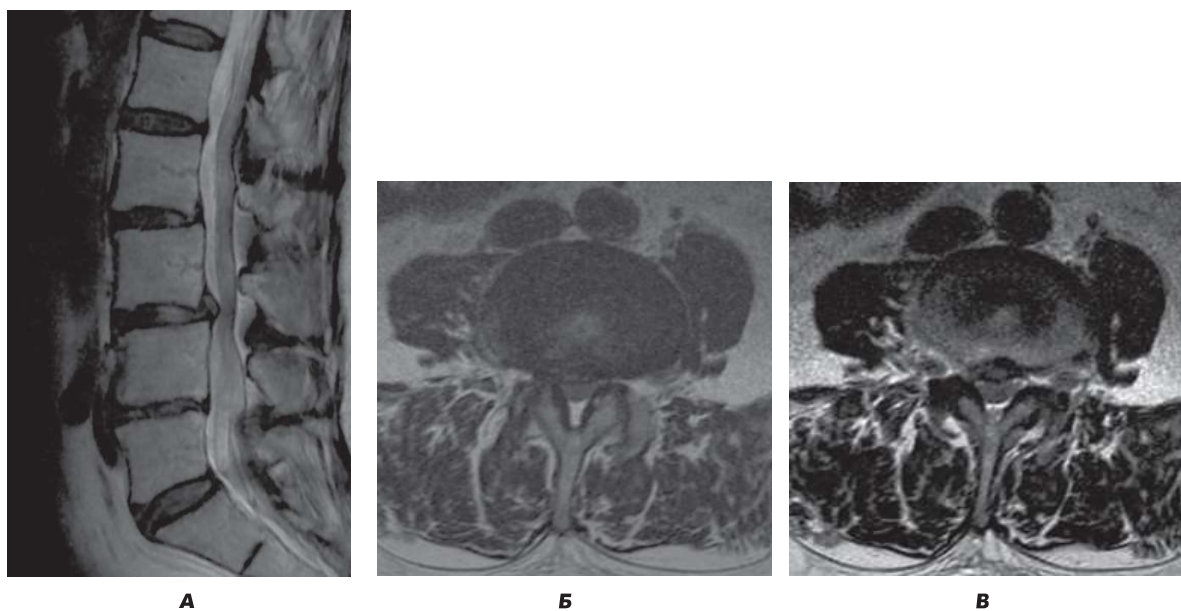
После завершения этапа межтелового спондилодеза под контролем навигационной системы выполняется перкутанная транспедикуляр-

ная стабилизация по стандартным методикам или транспедикулярная стабилизация по минимально-инвазивной технологии.

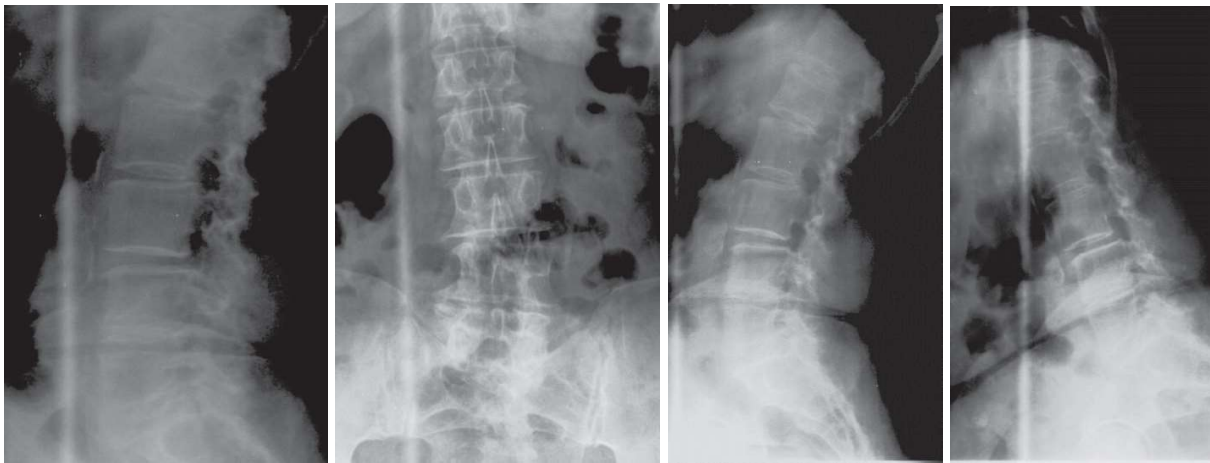
В качестве клинического примера приводим случай установки двух межтеловых имплантов по технологии DLIF и 6-винтовой системы с применением интраоперационной КТ и навигационной системы у пациентки С., 63 лет, с нестабильностью сегментов L2-L3-L4, дегенеративным сколиозом, спондилолистезом I степени и признаками стеноза позвоночного канала на уровне L3-L4 (рис. 15, 16).

В неврологическом статусе при поступлении ведущее проявление: люмбалгия, усиливающаяся при переходе в вертикальное положение, в положении сидя, при движениях и ходьбе.

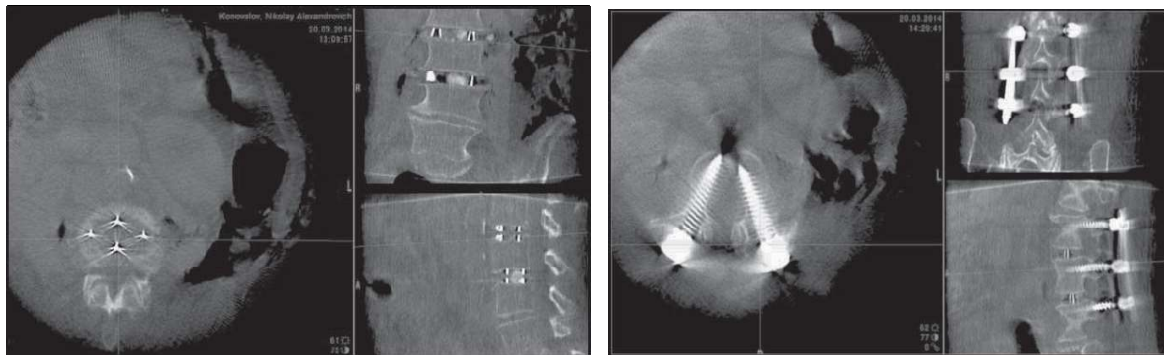
Произведено оперативное лечение – межтеловая стабилизация DLIF и непрямая декомпрессия на уровне L2-L3-L4, транскутанная транспедикуляр-



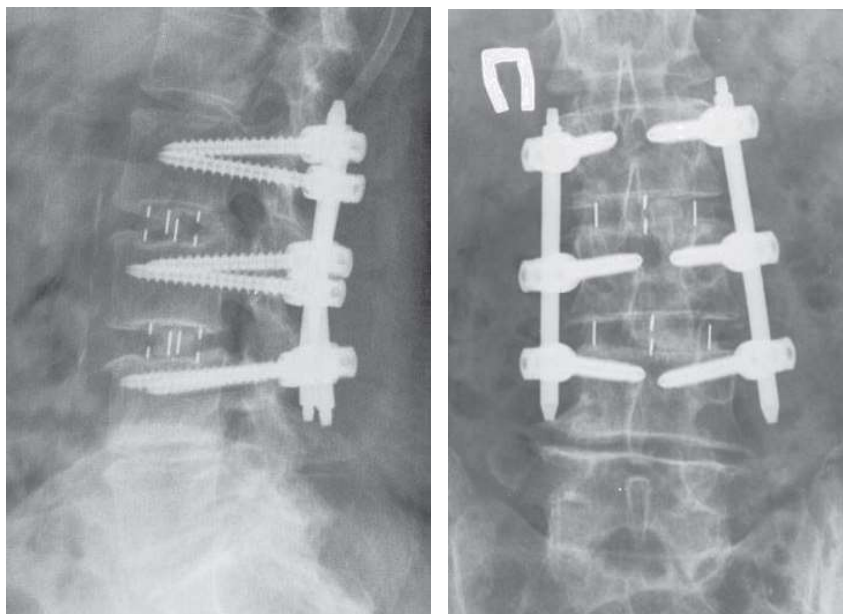
**Рис. 15.** Сагиттальная (А) и аксиальные (Б, В) МР-томограммы пояснично-крестцового отдела позвоночника: выявлены нестабильность сегментов L2-L3-L4, спондилолистез I степени и признаки стеноза позвоночного канала на уровне L3-L4.



**А** **Б** **В** **Г**  
 Рис. 16. Боковая (А) и прямая (Б) спондилограммы и функциональные спондилограммы (В, Г) пояснично-крестцового отдела позвоночника: выявлены нестабильность сегментов L2-L3-L4, дегенеративный сколиоз и спондилолистез I степени на уровне L3-L4.



**А** **Б**  
 Рис. 17. Интраоперационный КТ-контроль положения межтеловых кейджей (А) и транспедикулярных винтов (Б) на уровне L2-L3-L4.



**А** **Б**  
 Рис. 18. Боковая (А) и прямая (Б) послеоперационные спондилограммы пояснично-крестцового отдела позвоночника: в тела L2, L3, L4 позвонков через корни дужек внедрены педикулярные винты, фиксированные металлическими стержнями; между телами L2-L3-L4 позвонков – тени металлических маркеров межтеловых кейджей; спондилолистез L3 позвонка и перекос таза устранен; коррекция сколиотической деформации 50% (16-8°).



лярная стабилизация сегментов L2-L3-L4 с применением интраоперационной КТ и навигационной системы (рис. 17, 18).

На послеоперационных спондилограммах пояснично-крестцового отдела позвоночника визуализируется восстановление высоты межтеловых промежутков, увеличение диаметра межпозвонковых отверстий на уровне L2-L3-L4, редукция спондилолистеза L3, перекос таза устранен, коррекция сколиотической деформации 50% (16-8°). Пациентка активизирована в первые сутки после операции. В неврологическом статусе отмечен регресс болевого синдрома в поясничном отделе позвоночника, имевший место до операции. При выписке - I класс исходов по Kawabata и соавт. (отсутствие боли и неврологических нарушений).

**Результаты исследования**

Проведен анализ основных возможностей и преимуществ при использовании иКТ с системой навигации в хирургическом лечении заболеваний позвоночника. В ходе работы осуществлялся мониторинг длительности операций. Продолжительность первых хирургических вмешательств с использованием иКТ и навигационной системы была выше, что связано с освоением управления и алгоритма системы. Однако в процессе обучения в течение месяца была отмечена тенденция к уменьшению длительности операции. Длительность установки конструкции оценивалась из расчета времени, необходимого для установки одного межтелового кейджа, одного винта и четырехвинтовой системы в минутах (табл. 1).

При анализе длительности хирургического вмешательства выявлено, что продолжительность

стабилизирующего этапа операции с применением ЭОП была выше, что связано с отсутствием необходимости выполнения повторных интраоперационных изображений при использовании иКТ и навигационной системы.

При проведении стабилизирующего этапа операций, требующего установки межтеловых имплантов и транспедикулярных винтов, в том числе и при перкутанных методиках, интраоперационный компьютерный томограф и система навигации применялись для определения зоны вмешательства, интраоперационного контроля точности установки имплантов, контроля восстановления высоты межпозвонкового диска и диаметра межпозвонковых отверстий. После завершения операции выполнялись 3D-сканирование и 3D-реконструкция.

Важно отметить, что в случаях применения иКТ и системы навигации при стабилизирующих этапах операции на оперирующую бригаду лучевой нагрузки нет, так как в момент 3D-сканирования (продолжительностью 13-23 с) хирургическая бригада не присутствует в операционной, а последующая установка имплантов производится под контролем навигационной системы. Однако при установке межтелового кейджа по технологии DLIF у большинства пациентов требовалось выполнение дополнительных интраоперационных изображений на этапе установки дилататоров и ретрактора. При использовании ЭОП величина лучевой нагрузки зависит от протяженности оперируемого сегмента, анатомических особенностей, выбора хирургической технологии и опыта хирурга. Мы оценивали величину лучевой нагрузки из расчета количества снимков, выполненных при установ-

Таблица 1

Сравнительный анализ длительности проведения стабилизирующих этапов операции

Критерии для сравнения стабилизирующего этапа операции	С применением ЭОП (без иКТ и системы навигации), n=28	С применением иКТ и системы навигации, n=8
Длительность установки одного винта/ 4-винтовой системы, мин	7,9 ± 3,7/ 31,6 ± 4,6	4,1 ± 2,19/ 16,4 ± 3,8
Длительность установки одного межтелового кейджа по технологии DLIF, мин	48,8 ± 29,1	39,4 ± 28,9

Таблица 2

Сравнительный анализ величины лучевой нагрузки на хирургическую бригаду при проведении стабилизирующих этапов операции

Лучевая нагрузка на хирургическую бригаду	С применением ЭОП (без иКТ и системы навигации), n=28	С применением иКТ и системы навигации, n=8
При установке 4-винтовой системы (количество снимков)	28,7 ± 9,3	Лучевой нагрузки нет
При установке одного межтелового кейджа по технологии DLIF (количество снимков)	32,8 ± 15,4	9,3 ± 5,2 (в режиме 2D-изображений)

Сравнительный анализ точности установки имплантов

Критерии для сравнения	С применением ЭОП (без иКТ и системы навигации), n=28	С применением иКТ и системы навигации, n=8
Точность установки импланта, мм	3-4	Д

ке одного межтелового кейджа и четырехвинтовой системы (табл. 2).

Точность установки имплантов оценивалась на основании анализа интраоперационного КТ-исследования с 3D-реконструкцией (табл. 3). В случае некорректного положения импланта (например, при смещении референсной рамки) при использовании интраоперационной КТ и системы навигации выполняли этапное КТ-исследование и коррекцию имплантов.

На наш взгляд, применение интраоперационного компьютерного томографа с системой навигации особенно актуально в тех случаях, когда хирургическое лечение проводится в сложных анатомических условиях (тонкий корень дуги позвонка, сколиотическая или посттравматическая деформация позвоночника) и использование двухмерных снимков не обеспечивает полноценной визуализации зоны операции. Кроме того, применение иКТ и системы навигации полезно для нейрохирургов в клиниках, где стабилизирующие операции и перкутанные методики редки или только начинают осваивать.

### Обсуждение

Технология DLIF зарекомендовала себя как высокоэффективная методика коррекции сагиттального и фронтального сегментарного балансов, латеролистеза [5, 11]. Кейдж, установленный по технологии DLIF, большего размера, имеет большую площадь соприкосновения в сравнении с другими имплантами и опирается на краевую плотную часть замыкательной пластинки, тем самым создавая большую поддержку передней опорной колонны, с сохранением среднего и заднего опорного комплекса позвоночника. Таким образом, боковой межтеловой спондилодез не требует резекции костных структур и позволяет избежать травматизацию нервных структур [12]. При этом осуществляется непрямо́я декомпрессия без вскрытия позвоночного канала, восстанавливается высота межтелового промежутка и диаметр межпозвонковых отверстий [13].

По данным зарубежных авторов, на этапе внедрения технологии частота возникновения осложнений варьировала в диапазоне от 0,7 до 62,7% [14–16]. К наиболее часто встречающимся осложнениям относят повреждение ветвей по-

ясничного сплетения, что приводит к слабости сгибателей бедра и чувствительным нарушениям [17–19]. Это обуславливает необходимость применения интраоперационного нейромониторинга (ИОНМ) при процедуре DLIF для предотвращения повреждения корешков поясничного сплетения, проходящих в толще поясничной мышцы, визуальный контроль которых затруднен, и повреждения корешков в ходе тракции при установке кейджа [17]. С применением ИОНМ частота осложнений при прямом боковом межтеловом спондилодезе постепенно снизилась до 20% [17, 18]. В нашем исследовании частота осложнений при технологии DLIF составила 11%, что обусловлено применением ИОНМ, а также интраоперационного компьютерного томографа и навигационной системы.

На основании полученных в ходе нашего исследования данных мы провели сравнительный анализ имеющихся на сегодняшний день интраоперационных средств визуализации и системы навигации в хирургическом лечении пациентов с дегенеративными заболеваниями пояснично-крестцового отдела позвоночника и оценили их эффективность (табл. 4).

Современные аппараты ЭОП позволяют получить изображения хорошего качества [20]. Они могут быть использованы для выполнения точных хирургических манипуляций, но имеют весомые недостатки, основным из которых является отсутствие визуализации в трех плоскостях за счет невозможности аксиального обзора. В связи с этим данная система менее совершенна в плане точности получаемого изображения [20]. Кроме того, использование ЭОП связано с лучевой нагрузкой на пациента и оперирующую бригаду.

Использование интраоперационной КТ и системы навигации позволяет сократить время операции и снизить лучевую нагрузку, особенно в сравнении с традиционной флюороскопией. Кроме того, неоспоримым преимуществом является возможность в режиме реального времени точного позиционирования инструментов и положения имплантов (как межтеловых, так и транспедикулярных), что в значительной степени повышает безопасность пациента и качество оказываемой хирургической помощи.



Основные преимущества и недостатки применения интраоперационных средств нейровизуализации и системы навигации в хирургическом лечении пациентов с дегенеративными заболеваниями пояснично-крестцового отдела позвоночника

Методики	Преимущества	Недостатки
Электронно-оптический преобразователь (2D-флуороскопия)	Прост в использовании, доступность (сравнительно невысокая стоимость), при интеграции с навигационной системой обеспечивает 3D-визуализацию путем маркировки поверхности (с использованием предоперационного КТ-исследования)	Визуализация 2D, нет осевого обзора, облучение (пациент и персонал)
Электронно-оптический преобразователь (3D-флуороскопия)	Прост в использовании, визуализация «СТ like» (3D)	Облучение (пациент и персонал), цена
Робот	Высокая точность позиционирования инструментов и положения транспедикулярных винтов, нет лучевой нагрузки на хирургическую бригаду	Необходимость предоперационной КТ, невозможность применения для установки кейджей при межтеловом спондилодезе, цена
Интраоперационный компьютерный томограф и система навигации	Высокая точность позиционирования инструментов и положения кейджей и транспедикулярных винтов, трехмерная визуализация, контроль визуализации в режиме реального времени, нет лучевой нагрузки на хирургическую бригаду	Цена

На наш взгляд, применение интраоперационной КТ с системой навигации особенно актуально в тех случаях, когда хирургическое лечение проводится в сложных анатомических условиях (тонкий корень дуги позвонка, сколиотическая или посттравматическая деформации позвоночника) и использование двухмерных снимков не обеспечивает визуализации зоны операции.

Кроме того, применение интраоперационной КТ «O-arm» и системы навигации полезно для нейрохирургов в клиниках, где стандартные стабилизирующие операции и перкутанные методики используют редко или только начинают осваивать.

### Выводы

1. Применение интраоперационной компьютерной томографии и навигационной системы повышает безопасность и обеспечивает высокую точность установки имплантов, сокращает длительность этапа стабилизации и снижает величину лучевой нагрузки на оперирующую бригаду и пациента.

2. Применение технологии прямого бокового спондилодеза (DLIF) в сочетании с транспедикулярной стабилизацией позволяет восстановить сагиттальный и фронтальный баланс и достигнуть формирования спондилодеза.

3. Непрямая декомпрессия с помощью технологии прямого бокового спондилодеза (DLIF) минимизирует риски интраоперационного повреждения ТМО и невралных структур.

### Литература

1. Mayer H.M. A new microsurgical technique for minimally invasive anterior lumbar interbody fusion. *Spine (Phila Pa 1976)* 1997; 22: 691–699.
2. McAfee P.C., Regan J.J., Geis W.P. et al. Minimally invasive anterior retroperitoneal approach to the lumbar spine. *Emphasis on the lateral BAK*. *Spine (Phila Pa 1976)* 1998; 23: 1476–1484.
3. Pimenta L., Diaz R.C., Guerrero L.G. Charite lumbar artificial disc retrieval: use of a lateral minimally invasive technique. *Technical note. J. Neurosurg. Spine*. 2006; 5: 556–561.
4. Ozgur B.M., Aryan H.E., Pimenta L. et al. Extreme Lateral Interbody Fusion (XLIF): a novel surgical technique for anterior lumbar interbody fusion. *Spine J*. 2006; 6: 435–443.
5. Acosta F.L. Jr., Liu J., Slimack N. et al. Changes in coronal and sagittal plane alignment following minimally invasive direct lateral interbody fusion for the treatment of degenerative lumbar disease in adults: a radiographic study. *J. Neurosurg. Spine*. 2011; 15: 92–96. doi: 10.3171/2011.3.SPINE10425.
6. Dakwar E., Cardona R.F., Smith D.A. et al. Early outcomes and safety of the minimally invasive, lateral retroperitoneal transpoas approach for adult degenerative scoliosis. *Neurosurg. Focus*. 2010; 28: E8.
7. Knight R.Q., Schwaegler P., Hanscom D. et al. Direct lateral lumbar interbody fusion for degenerative conditions: early complication profile. *J. Spinal. Disord. Tech*. 2009; 22: 34–37.
8. Palejwala S.K., Sheen W.A., Walter C.M. et al. Minimally invasive lateral transpoas interbody fusion using a stand-alone construct for the treatment of adjacent segment disease of the lumbar spine: review of the literature and report of three cases. *Clin. Neurol. Neurosurg*. 2014 Sep; 124: 90–96.

9. Arnold P.M., Anderson K.K., McGuire R.A. Jr. *The lateral transpoas approach to the lumbar and thoracic spine: A review.* *Surg. Neurol. Int.* 2012; 3 (Suppl 3): 198-215.
10. Barbagallo G.M., Albanese V., Raich A.L. et al. *Lumbar Lateral Interbody Fusion (LLIF): Comparative Effectiveness and Safety versus PLIF/TLIF and Predictive Factors Affecting LLIF Outcome.* *Evid. Based. Spine. Care. J.* 2014 Apr; 5(1): 28-37.
11. Kepler C.K., Sharma A.K., Huang R.C. et al.: *Indirect foraminal decompression after lateral transpoas interbody fusion.* *J. Neurosurg. Spine.* 2012 Apr; 16(4): 329-333. doi: 10.3171/2012.1.SPINE11528.
12. Lee Y.S., Park S.W., Kim Y.B. *Direct Lateral Lumbar Interbody Fusion: Clinical and Radiological Outcomes.* *J. Korean. Neurosurg. Soc.* 2014 May; 55(5): 248-254. doi: 10.3340/jkns.2014.55.5.248.
13. Cappuccino A., Cornwall G.B., Turner A.W. et al. : *Biomechanical analysis and review of lateral lumbar fusion constructs.* *Spine (Phila Pa 1976).* 2010 Dec 15; 35(26 Suppl): S361-7. doi: 10.1097/BRS.0b013e318202308b.
14. Cummock M.D., Vanni S., Levi A.D. et al. *An analysis of postoperative thigh symptoms after minimally invasive transpoas lumbar interbody fusion.* *J. Neurosurg. Spine.* 2011 Jul; 15(1): 11-18. doi: 10.3171/2011.2.SPINE10374.
15. Knight R.Q., Schwaegler P., Hanscom D., Roh J. *Direct lateral lumbar interbody fusion for degenerative conditions : early complication profile.* *J. Spinal. Disord. Tech.* 2009 Feb; 22(1): 34-37. doi: 10.1097/BSD.0b013e3181679b8a.
16. Rodgers W.B., Gerber E.J., Patterson J. *Intraoperative and early postoperative complications in extreme lateral interbody fusion: an analysis of 600 cases.* *Spine (Phila Pa 1976).* 2011 Jan 1; 36(1): 26-32. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181e1040a.
17. Drazin D., Liu J.C., Acosta F.L. Jr. *CT navigated lateral interbody fusion.* *J. Clin. Neurosci.* 2013 Oct; 20(10): 1438-1441. doi: 10.1016/j.jocn.2012.12.028.
18. Kim S.J., Lee Y.S., Kim Y.B. et al. *Clinical and Radiological Outcomes of a New Cage for Direct Lateral Lumbar Interbody Fusion.* *Korean. J. Spine.* 2014 Sep; 11(3): 145-151. doi: 10.14245/kjs.2014.11.3.145.
19. Cheng I., Briseño M.R., Arrigo R.T. et al. *Outcomes of Two Different Techniques Using the Lateral Approach for Lumbar Interbody Arthrodesis.* *Global. Spine. J.* 2015 Aug; 5(4): 308-314. doi: 10.1055/s-0035-1546816.
20. Merloz Ph., Tonetti J., Milaire M. et al. *Вклад 3D-визуализации в хирургию позвоночника. Гений ортопедии.* 2014; 1: 51-57.

Для корреспонденции/Corresponding author  
Мартынова Мария Андреевна/Martynova Mariya  
martynova\_mariya@mail.ru