

РЕВИЗИОННАЯ ХИРУРГИЯ ПРИ НЕСОСТОЯТЕЛЬНОСТИ СИСТЕМЫ ДИНАМИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА

Потапов В.Э.¹,
Ларионов С.Н.¹,
Животенко А.П.¹,
Горбунов А.В.¹,
Сороковиков В.А.^{1,2}

¹ ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии» (664003, г. Иркутск, ул. Борцов Революции, 1, Россия)

² Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования – филиал ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России (664049, г. Иркутск, Юбилейный, 100, Россия)

Автор, ответственный за переписку:
Животенко Александр Петрович,
e-mail: sivotenko1976@mail.ru

РЕЗЮМЕ

Цель исследования. Изучить частоту и варианты лечения дисфункции системы динамической стабилизации поясничного отдела позвоночника.

Материалы и методы. Проведён ретроспективный анализ лечения 58 пациентов с дегенеративной патологией поясничного отдела позвоночника и нестабильностью позвоночно-двигательных сегментов (ПДС), находившихся на лечении в отделении нейрохирургии ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии» в период с 2011 по 2020 г. Оценка стабильности ПДС осуществлялась при рентгенографии, магнитно-резонансной томографии и мультиспиральной компьютерной томографии поясничного отдела позвоночника. Ревизионные вмешательства выполнены 7 из 58 ранее оперированных пациентов с применением системы динамической фиксации ПДС «Coflex» (Paradigm Spine LLC, Германия).

Результаты. Ревизионные хирургические вмешательства выполнены 7 из 58 пациентов с динамической фиксацией ПДС межостистым имплантом в связи нарастанием болевого синдрома. У одного больного поводом к повторной операции послужила первичная нестабильность металлоконструкции, обусловленная переломом остистого отростка. В отсроченном периоде у 4 пациентов выявлена рентгенологическая картина гетеротипической оссификации конструкции и нестабильность ПДС. В двух наблюдениях на уровне оперированного ПДС диагностирован рецидив межпозвонковой грыжи. При ревизионном вмешательстве проведена фасетэктомия со стабилизацией реек-кейджем с последующим купированием болевого синдрома и регрессом клинических проявлений.

Заключение. Проведённое исследование свидетельствует о том, что у ряда пациентов после дискэктомии и динамической стабилизации позвоночника системой «Coflex» развивается несостоятельность и гетеротипическая оссификация импланта, формируется неоартроз. Имплантация поясничного реек-кейджа при сохранении устройства «Coflex» позволяет сформировать ригидный межтеловой спондилодез, то есть является достаточной и обоснованной хирургической технологией лечения несостоятельности конструкции динамической стабилизации.

Ключевые слова: сегментарная нестабильность позвоночника, динамическая стабилизация, гетеротипическая оссификация, повторные хирургические вмешательства, ревизионная хирургия

Статья поступила: 31.05.2023

Статья принята: 01.11.2023

Статья опубликована: 05.12.2023

Для цитирования: Потапов В.Э., Ларионов С.Н., Животенко А.П., Горбунов А.В., Сороковиков В.А. Ревизионная хирургия при несостоятельности системы динамической стабилизации поясничного отдела позвоночника. *Acta biomedica scientifica*. 2023; 8(5): 157-165. doi: 10.29413/ABS.2023-8.5.17

REVISION SURGERY FOR FAILURE OF THE DYNAMIC STABILIZATION SYSTEM OF THE LUMBAR SPINE

Potapov V.E.¹,
Larionov S.N.¹,
Zhivotenko A.P.¹,
Gorbunov A.V.¹,
Sorokovikov V.A.^{1,2}

¹ Irkutsk Scientific Centre of Surgery and Traumatology (Bortsov Revolyutsii str. 1, Irkutsk 664003, Russian Federation)

² Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education – Branch Campus of the Russian Medical Academy of Continuing Professional Education (Yubileyniy 100, Irkutsk 664049, Russian Federation)

Corresponding author:
Alexandr P. Zhivotenko,
e-mail: sivotenko1976@mail.ru

ABSTRACT

The aim. To study the frequency and treatment options for dysfunction of the dynamic stabilization system of the lumbar spine.

Materials and methods. We carried out a retrospective analysis of the treatment of 58 patients with degenerative pathology of the lumbar spine and instability of the spinal motion segments, who were treated at the neurosurgical unit of the Irkutsk Scientific Centre of Surgery and Traumatology in 2011–2020. The stability of spinal motion segment was assessed using X-ray imaging, magnetic resonance imaging and multi-layer spiral computed tomography of the lumbar spine. Revision surgery was performed in 7 out of 58 previously operated patients using the dynamic fixation system of spinal motion segments “Coflex” (Paradigm Spine LLC, Germany).

Results. Revision surgery was performed in 7 out of 58 patients with dynamic fixation of the spinal motion segments with an interosseous implant due to an increase in pain syndrome. In 1 patient, the reason for repeated surgery was primary instability of the hardware caused by a fracture of the spinous process. In the delayed period, 4 patients had an X-ray picture with heterotopic ossification of the implant and instability of PDS. In two observations, a recurrence of intervertebral hernia was diagnosed at the level of the operated spinal motion segment. During revision surgery, a facetectomy was performed with stabilization by a peek cage, followed by pain management and clinical manifestation regression.

Conclusion. The conducted study shows that a number of patients after discectomy and dynamic stabilization of the spine using “Coflex” system have inconsistency and heterotypic ossification of the implant and neoarthrosis. Implantation of a lumbar peek cage while maintaining the “Coflex” device makes it possible to form a rigid interbody fusion, which means it is sufficient and justified surgical technology for treating the failure of the dynamic stabilization system.

Key words: segmental instability of the spine, dynamic stabilization, heterotypic ossification, repeated surgical interventions, revision surgery

Received: 31.05.2023
Accepted: 01.11.2023
Published: 05.12.2023

For citation: Potapov V.E., Larionov S.N., Zhivotenko A.P., Gorbunov A.V., Sorokovikov V.A. Revision surgery for failure of the dynamic stabilization system of the lumbar spine. *Acta biomechanica scientifica*. 2023; 8(5): 157-165. doi: 10.29413/ABS.2023-8.5.17

ВВЕДЕНИЕ

Одной из актуальных проблем спинальной нейрохирургии является лечение дегенеративной патологии поясничного отдела позвоночника. Существующие способы хирургического лечения дегенеративно-дистрофических заболеваний позвоночника, к сожалению, не могут считаться идеальными [1, 2]. Использование микрохирургической техники и современных инструментальных технологий при хирургии позвоночника не исключает рецидива болевого синдрома [3–5]. Попытки улучшить результаты и избежать экзацербации боли подталкивают специалистов к поиску новых решений проблемы [6–8]. Обоснованные с позиции биомеханики технологии динамической и ригидной стабилизации позвоночно-двигательного сегмента (ПДС) активно применяются в течение последних десятилетий. При этом спектр оперативных вмешательств достаточно разнообразен и включает методики как транспедикулярной фиксации, так и артикулярного, межкостистого или переднего спондилодеза имплантатами различных модификаций [9–12].

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучить частоту и варианты лечения несостоятельности системы задней динамической стабилизации.

Удаление грыжи поясничного отдела нередко сопровождается структурными трансформациями опорного комплекса ПДС и нарушением биомеханики позвоночника. Исследования последних лет установили взаимосвязь между дегенеративными изменениями структур ПДС и сагиттальным балансом или пространственной стабильностью, тогда как объём активных и пассивных движений позвоночного столба, как правило, находится в зависимости от выраженности костно-суставных трансформаций [11, 13]. Предпосылкой использования динамической стабилизации позвоночного сегмента стало исследование D. Butler и соавт. [14], в котором авторы выявили взаимозависимость дегенеративных изменений дугоотростчатых суставов и межпозвонковых дисков. Результаты исследований показали, что вследствие нарушения биомеханики ПДС в первую очередь страдает межпозвонковый диск. Дальнейшие ограничения подвижности сегмента, процессы перестройки и перераспределения механических нагрузок обуславливают повреждение фасеточных суставов, развитие остеоартрита и нестабильности сочленений.

Устройства динамической стабилизации используются для разгрузки заднего опорного комплекса, включающего в себя дугоотростчатые суставы, остистые отростки и часть фиброзного кольца межпозвонкового диска, с целью сохранения объёма физиологических движений и профилактики патологии смежного уровня [11, 15]. То есть основой для использования динамической межкостистой системы явилась необходимость сохранения биомеханики опорных структур позвоночно-двигательных сегментов, профилактика прогрессирования заболевания [15]. Межкостистые фиксаторы изготавливают из титанового сплава, что обеспечивает конструкции достаточную прочность, жёсткость, биосовместимость с низким риском формирования артефактов при проведении магнитно-резонансной томографии (МРТ) [16–19]. Основные задачи конструкции – снижение нагрузки на фасеточные суставы, сохранение физиологического объёма движений в ПДС с адекватным распределением напряжения на патологически изменённый и смежные ПДС.

танового сплава, что обеспечивает конструкции достаточную прочность, жёсткость, биосовместимость с низким риском формирования артефактов при проведении магнитно-резонансной томографии (МРТ) [16–19]. Основные задачи конструкции – снижение нагрузки на фасеточные суставы, сохранение физиологического объёма движений в ПДС с адекватным распределением напряжения на патологически изменённый и смежные ПДС.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Основу работы составил ретроспективный анализ лечения 58 пациентов с дегенеративными поражениями поясничного отдела позвоночника, оперированных с использованием динамической стабилизации позвоночника системой «Coflex» (Paradigm Spine LLC, Германия), находившихся на лечении в отделении нейрохирургии ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии» (ИНЦХТ) в период с 2011 по 2020 г. Среди них 18 женщин и 40 мужчин в возрасте от 17 до 63 лет ($47,4 \pm 9,4$ года). Инструментальные и нейровизуальные методы исследования позвоночника включали обзорную и функциональную рентгенографию, мультиспиральную компьютерную томографию (МСКТ) (42 случая), МРТ (58 случаев) и МСКТ-миелографию (27 случаев) поясничного отдела позвоночника. Оценку функционального состояния ПДС производили при анализе данных рентгенографии поясничного отдела позвоночника с нагрузочными пробами в положении сгибания на 30° и 90° . Для исследования биомеханической состоятельности оперированного сегмента позвоночника с имплантируемой системой межкостистой фиксации на смежных уровнях изучали морфометрические параметры: фронтальный, косой и сагиттальный размеры позвоночного канала; размеры и угловые показатели сопряжённости дугоотростчатых суставов.

Оперативное лечение – удаление грыжи или костно-хрящевого образования диска со стабилизацией сегмента межкостистой динамической системой «Coflex» – выполнено 58 пациентам.

Показаниями к проведению ревизионной хирургии являлись стойкий болевой синдром, не купирующийся консервативными методами лечения; МРТ- или МСКТ-данные о компрессии корешка в зоне дегенеративно-изменённого сегмента; выявление нестабильности ПДС. Межкостистая фиксация на уровне $L_{IV}-L_V$ выполнена 48 (83 %) пациентам, на уровне $L_{II}-L_{III}$ – 2 (3 %), на уровне $L_{III}-L_{IV}$ – 3 (5 %), на люмбосакральном L_V-S_1 уровне – 5 (9 %). В 35 случаях имплант установлен при ревизионном вмешательстве, из них у 6 пациентов задняя межкостистая стабилизация произведена вследствие рецидива грыжи диска $L_{IV}-L_V$ и L_V-S_1 ; в 11 случаях выявлен дегенеративный стеноз позвоночного канала на смежном уровне, обусловленный спондилоартрозом с краевыми разрастаниями остеофитов; у 18 больных имело место сочетание грыжи или протрузии с дегенеративным стенозом. Хирургическое вмешательство с динамической фиксацией системой «Coflex» выполнено первично 23 пациентам при удалении грыжи диска.

Ревизионное вмешательство у больных с несостоятельностью устройства, неоартрозом и гетеротопической оссификацией системы «Софлекс» включало переднюю стабилизацию с использованием межтелового поясничного реек-кейджа. У одного пациента поводом к повторной операции послужила первичная нестабильность металлоконструкции, связанная с переломом остистого отростка, фиксированного имплантом. В отсроченном периоде, спустя 2 и 4 года после операции, у 4 пациентов выявлена рентгенологическая картина гетеротопической оссификации конструкции и нестабильность ПДС; в 2 наблюдениях диагностирован рецидив межпозвонковой грыжи. Протокол исследования одобрен локальным этическим комитетом ИНЦХТ (протокол № 1 от 22.01.2019).

Данные представлены в виде количественного и процентного соотношения. Различия между группами оценивались с использованием Хи-квадрата с поправкой Йейтса и критерия Фишера.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Повторное вмешательство при несостоятельности системы динамической стабилизации проведено 7 (12 %) из 58 пациентов, при этом сформирован ригидный спондилодез при использовании поясничного реек-кейджа и сохранении интегрированного с костной тканью остистых отростков устройства «Софлекс».

Прогрессирующая дегенерация межпозвонковых дисков установлена при МСКТ и МРТ на основании вы-

явления гипертрофии суставных отростков, наличия газа в полости сустава (вакуум-феномен) у 6 пациентов и стеноза позвоночного канала – у 2.

После ревизионного оперативного вмешательства полный регресс неврологического дефицита отмечен у 6 (86 %) пациентов. Динамика чувствительных и двигательных расстройств в раннем и отдалённом послеоперационном периодах представлена в таблице 1.

Анализ результатов лечения позволил предположить, что в процессе дегенерации межпозвонкового диска происходит утрата его амортизирующих свойств, что является предпосылкой для развития линейного и углового смещения тел смежных позвонков и в последующем – формирования нестабильности сегмента. Использование межостистого импланта направлено на протезирование свойств диска, предотвращение прогрессирующей дегенерации и нестабильности ПДС. Однако с течением времени оссификация тканей в области рабочих поверхностей фиксатора приводит к значительному снижению амортизирующих свойства «Софлекс», и устройство приобретает характеристики фиксирующей распорки.

Также нельзя не учитывать и факт, что межостистые импланты не инертны биологически. Более того, такие факторы, как напряжение металла и, как следствие, микродвижность, вызывают изменения в структуре импланта и являются предрасполагающим фактором формирования дисбаланса механических нагрузок на суставные отростки с развитием клинических проявлений несостоятельности конструкции [20, 21].

ТАБЛИЦА 1
ДИНАМИКА ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ И ДВИГАТЕЛЬНЫХ РАССТРОЙСТВ (n = 7)

Выявленные расстройства	До операции	Спустя 9, 24 месяца после операции	Спустя 48 месяцев после операции
Вертеброгенный синдром	7 (100 %)	5 (71 %)	1 (14 %)
Нарушение чувствительности:			
гипестезия	7 (100 %)	2 (29 %)	1 (14 %)
анестезия	4 (57 %)	1 (14 %)	1 (14 %)
гиперестезия	2 (29 %)	1 (14 %)	–
парестезия	3 (43 %)	1 (14 %)	–
Снижение силы мышц нижней конечности:			
слабость мышц бедра, голени	4 (57 %)	1 (14 %)	1 (14 %)
слабость мышц стопы	5 (71 %)	2 (29 %)	2 (29 %)
парез мышц разгибателей стопы	3 (43 %)	–	–
Нарушение рефлексов:			
коленные	5 (71 %)	2 (29 %)	1 (14 %)
ахилловы	2 (29 %)	1 (14 %)	1 (14 %)
Симптомы натяжения	7 (100 %)	–	–

TABLE 1
DYNAMICS OF SENSORY AND MOTOR DISORDERS (n = 7)

Длительное использование фиксатора «Coflex» обуславливает формирование и другого специфического осложнения, а именно гетеротопической оссификации устройства межостистой стабилизации, что обуславливает развитие патологии «смежного уровня». Так, несостоятельность импланта с оссификацией зарегистрирована в 3 из 35 случаев повторных и в 1 из 23 случаев первичных хирургических вмешательств. Для выявления зависимости риска несостоятельности импланта от частоты операций использовали критерий Хи-квадрат с поправкой Йейтса ($p = 0,928$) и двусторонний критерий Фишера ($p > 0,05$). Результаты анализа указывают на то, что взаимосвязь несостоятельности импланта с повторной или первичной хирургией очень слабая. Следовательно, повторное вмешательство не оказывает статистически значимого влияния на риск дисфункции конструкции. Тем не менее, проблема требует дальнейшего изучения для выявления причинно-следственных взаи-

моотношений несостоятельности системы динамической стабилизации.

Клиническое наблюдение, представленное ниже, является ярким свидетельством этого постулата.

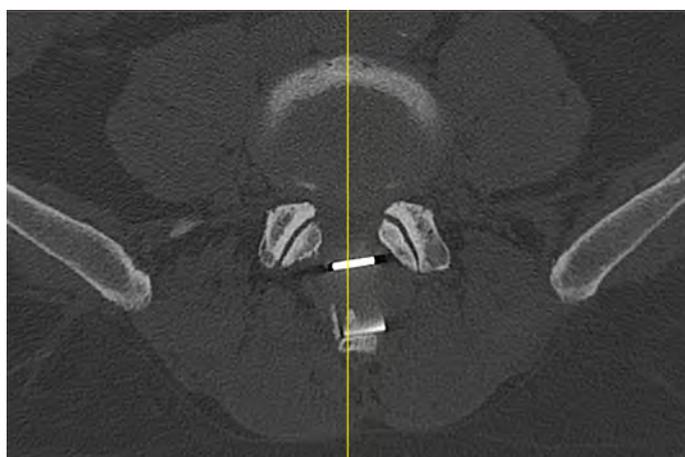
КЛИНИЧЕСКИЙ ПРИМЕР

Пациент П., 48 лет. Диагноз: Дегенеративный латеральный (фораминальный) стеноз позвоночного канала на уровне L_{IV}-L_V слева. Костно-хрящевой узел L_{IV}-L_V. Деформирующий спондилёз. Спондилоартроз. Послеоперационный эпидуральный фиброз, наличие системы межостистой динамической фиксации позвоночника на уровне L_{IV}-L_V. Радикулопатия L₅ слева. Выраженный болевой и мышечно-тонический синдромы.

Боли в поясничном отделе позвоночника и левой нижней конечности беспокоят в течение 3 месяцев.



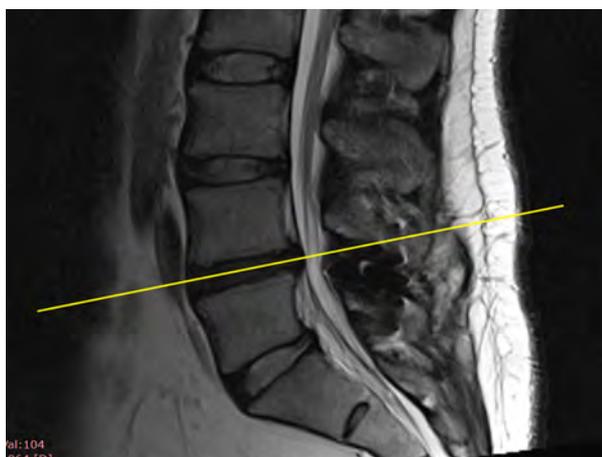
а



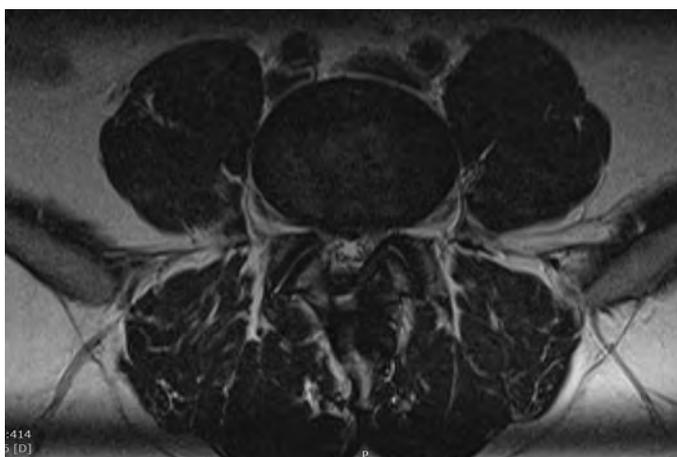
б

РИС. 1.
Пациент П. МСКТ поясничного отдела позвоночника. Мультипланарная реконструкция в сагиттальной плоскости (**а**), аксиальный срез (**б**)

FIG. 1.
Patient P. Multi-layer spiral computed tomography of the lumbar spine. Multiplanar reconstruction in the sagittal plane (**a**), axial section (**b**)



а



б

РИС. 2.
Пациент П. МРТ поясничного отдела позвоночника. T2-взвешенные изображения. Мультипланарная реконструкция в сагиттальной плоскости (**а**), аксиальный срез (**б**)

FIG. 2.
Patient P. MRI of the lumbar spine. T2 weighted images. Multiplanar reconstruction in the sagittal plane (**a**), axial section (**b**)

Боли сопровождаются ограничением активных движений в поясничном отделе позвоночника, усиливаются в вертикальном положении и при ходьбе, иррадируют по наружной поверхности левого бедра и голени.

Из анамнеза: дважды оперирован на поясничном отделе позвоночника: в 2011 г. – удаление грыжи диска L_{IV}-L_V слева с установкой динамической системы «Coflex» (Paradigm Spine LLC., США). В 2014 г. выполнена ревизия и микрохирургическая фораминотомия по ходу L₅ корешка слева.

Со слов пациента, в течение последнего года стал отмечать нарастание болевого вертеброгенного син-

дрома в поясничном отделе позвоночника, связанного с физическими нагрузками. Проводимое консервативное лечение у невролога – без эффекта. По результатам МРТ поясничного отдела позвоночника у пациента верифицирован рецидив срединной грыжи диска L_{IV}-L_V (рис. 2).

МСКТ поясничного отдела позвоночника выявила ряд особенностей состояния межостистого фиксатора, который интегрировался в костную ткань остистых отростков; пространство рабочей динамической петли металлоконструкции заполнилось соединительной тканью с элементами костной перестройки (рис. 1).



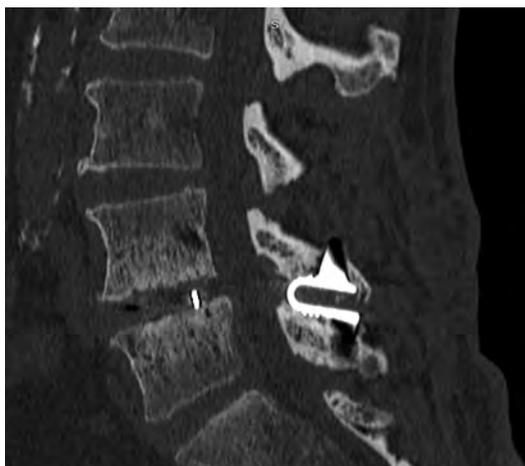
а

РИС. 3. Пациент П. Спондилограммы в боковой (а) и прямой (б) проекциях в послеоперационном периоде



б

FIG. 3. Patient P. Spondylograms in lateral (a) and frontal (b) view in the postoperative period



а

РИС. 4. Пациент П. МСКТ поясничного отдела позвоночника через 6 месяцев после операции. Мультипланарная реконструкция в сагиттальной плоскости (а), аксиальный срез (б). Определяются метки переднего и заднего краёв межтелового кейджа. Формирование переднего спондилодеза



б

FIG. 4. Patient P. Multi-layer spiral computed tomography of the lumbar spine 6 months after the surgery. Multiplanar reconstruction in the sagittal plane (a), axial section (b). The marks of the anterior and posterior edges of the interbody cage are determined. Formation of the anterior fusion

Операция (18.06.2020): интерламинэктомия, медиальная фасетэктомия, микрохирургическая декомпрессия корешка L₅ слева. Удаление костно-хрящевое узла L_{IV}-L_V. Межтеловой спондилодез L_{IV}-L_V поясничным реек-кейджем.

Послеоперационный период протекал без осложнений. Активизирован на 2-е сутки после операции. Отмечен регресс болевого вертеброгенного и корешкового синдромов. Выписан из отделения для прохождения реабилитационного лечения на 7-е сутки в удовлетворительном состоянии. При контрольных осмотрах в течение периода наблюдения жалоб не предъявляет, рентгенологически имплантат и межкостистый фиксатор стабильны (рис. 3, 4).

ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ результатов лечения пациентов, которым выполнена дискэктомия с динамической фиксацией позвоночно-двигательного сегмента межкостистым имплантом, свидетельствует о её эффективности и способности предотвратить рецидив болевого синдрома, как и развитие патологии на смежном уровне. Тем не менее, хотя система динамической межкостистой фиксации не приводит к замыканию позвоночно-двигательного сегмента, выявленные рентгенологические признаки дегенерации межпозвонкового диска и дугоотростчатых суставов вышележащих сегментов свидетельствуют о риске развития стеноза позвоночного канала. Межкостистый динамический имплант со временем становится функционально не состоятельным, участвует в формировании гетеротипической оссификации или заднего «костно-металлического» псевдоартроза [15]. По данным А.Е. Симоновича (2005), С. Thome и соавт. (2005) [13, 22], конструктивные особенности динамических систем не позволяют одновременно обеспечивать сохранность биомеханики и надёжную опороспособность позвоночного сегмента.

Дополнительная имплантация поясничного реек-кейджа при сохранении системы «Coflex» позволила создать ригидный межтеловой спондилодез без использования транспедикулярной фиксации ПДС. Данная тактика оправдывает себя как с точки зрения сохранения опороспособности переднего комплекса, так и с точки зрения лечения нестабильности сегмента. Доступ к позвоночному каналу и межпозвонковому диску осуществляется при интерламинэктомии и медиальной фасетэктомии, что снижает травматичность самой операции.

Формирование спондилодеза без удаления системы «Coflex» с использованием межпозвонкового кейджа является достаточной и обоснованной технологией, однако в ряде случаев может быть дополнена моносементарной транспедикулярной фиксацией.

Интеграция импланта с костной тканью остистых отростков, как и реек-кейджа с замыкательными пластинами смежных позвонков, обеспечивает консолидацию достаточную для спондилодеза. Наличие полых пространств в теле кейджа, заполненных костным материалом, способствует формированию прочного спондилодеза и ускоренному формированию костного блока. Технология задней

межкостистой динамической стабилизации может использоваться как альтернатива, а в ряде случаев – как предварительный этап формирования ригидного спондилодеза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование свидетельствует о том, что у ряда пациентов после дискэктомии и динамической стабилизации позвоночника системой «Coflex» развивается сегментарная нестабильность вследствие гетеротипической оссификации и формирования неартроза и нередко требует ревизионного вмешательства. Формирование ригидного спондилодеза при использовании межпозвонкового кейджа и сохранении системы «Coflex» является эффективным средством решения проблемы.

Источник финансирования

Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Крутько А.В., Байков Е.С., Коновалов Н.А., Назаренко А.Г. Сегментарная нестабильность позвоночника: нерешенные вопросы. *Хирургия позвоночника*. 2017; 14(3): 74-83. [Krutko AV, Baikov ES, Kononov NA, Nazarenko AG. Segmental Spinal Instability: Unsolved problems. *Russian Journal of Spine Surgery*. 2017; 14(3): 74-83. (In Russ.)]. doi: 10.14531/ss2017.3.74-83
2. Масевнин С.В., Пташников Д.А., Михайлов Д.А., Смекаленков О.А., Заборовский Н.С., Лапаева О.А., и др. Роль основных факторов риска в раннем развитии синдрома смежного уровня у пациентов после спондилодеза поясничного отдела позвоночника. *Хирургия позвоночника*. 2016; 13(3): 60-67. [Masevnin SV, Ptashnikov DA, Mikhailov DA, Smekalenkov OA, Zaborovsky NS, Lapaeva OA, et al. The role of the main risk factors in the early adjacent segment disease development in patients after lumbar fusion. *Russian Journal of Spine Surgery*. 2016; 13(3): 60-67. (In Russ.)]. doi: 10.14531/ss2016.3.60-67
3. Евсюков А.В., Климов В.С., Лопарев Е.А. Результаты повторных вмешательств после инструментальной фиксации позвоночника при дегенеративно-дистрофическом заболевании поясничного отдела позвоночника. *Нейрохирургия*. 2017; (4): 65-73. [Evsyukov AV, Klimov VS, Loparev EA. Results of repeated surgical interventions after instrumental fixation of vertebral column in patients with degenerative-dystrophic disease of lumbar spine. *Russian Journal of Neurosurgery*. 2017; (4): 65-73. (In Russ.)].
4. Животенко А.П., Потапов В.Э., Кошкарева З.В., Сороковиков В.А. Клинический случай хирургического лечения смежного сегмента позвоночника при спондилодезе. *Acta biomedica scientifica*. 2020; 5(5): 53-59. [Zhivotenko AP, Potapov VE, Koshkareva ZV, Sorokovikov VA. A clinical case of surgical treatment

of the adjacent segment of the spine during fusion. *Acta biomechanica scientifica*. 2020; 5(5): 53-59. (In Russ.]. doi: 10.29413/ABS.2020-5.5.7

5. Chang SY, Chae IS, Mok S, Park SC, Chang BS, Kim H. Can indirect decompression reduce adjacent segment degeneration and the associated reoperation rate after lumbar interbody fusion? A systemic review and meta-analysis. *World Neurosurg*. 2021; 153: e435-e445. doi: 10.1016/j.wneu.2021.06.134

6. Афаунов А.А., Басанкин И.В., Кузьменко А.В., Шаповалов В.К., Муханов М.Л. Предоперационное планирование при хирургическом лечении больных с поясничным спинальным стенозом дегенеративной этиологии. *Инновационная медицина Кубани*. 2020; 17(1): 6-15. [Afaunov AA, Basankin IV, Kuzmenko AV, Shapovalov VK, Mukhanov ML. Pre-operative planning in surgical treatment of patients with lumbar spinal stenosis of degenerative etiology. *Innovative Medicine of Kuban*. 2020; 17(1): 6-15. (In Russ.]. doi: 10.35401/2500-0268-2020-17-1-6-15

7. Шнякин П.Г., Ботов А.В., Амельченко А.А. Хирургические методы лечения рецидива болевого синдрома при дегенеративной патологии поясничного отдела позвоночника. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2018; 12(3): 61-68. [Shnyakin PG, Botov AV, Amelchenko AA. Surgical methods of treatment of back pain syndrome recurrence in the degenerative pathology of the lumbar spine. *Annals of Clinical and Experimental Neurology*. 2018; 12(3): 61-68. (In Russ.]. doi: 10.25692/ACEN.2018.3.8

8. Jain P, Rana M, Biswas JK, Khan MR. Biomechanics of spinal implants – A review. *Biomed Phys Eng Express*. 2020; 6(4): 042002. doi: 10.1088/2057-1976/ab9dd2

9. Cecchinato R, Bourghli A, Obeid I. Revision surgery of spinal dynamic implants: A literature review and algorithm proposal. *Eur Spine J*. 2020; 29(Suppl 1): 57-65. doi: 10.1007/s00586-019-06282-w

10. Donnally CJ 3rd, Patel PD, Canseco JA, Divi SN, Goz V, Sherman MB, et al. Current incidence of adjacent segment pathology following lumbar fusion versus motion-preserving procedures: A systematic review and meta-analysis of recent projections. *Spine J*. 2020; 20(10): 1554-1565. doi: 10.1016/j.spinee.2020.05.100

11. Liu CW, Wang LL, Xu YK, Chen CM, Wang JC, Tsai WT, et al. Traditional and cortical trajectory screws of static and dynamic lumbar fixation – A finite element study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2020; 463. doi: 10.1186/s12891-020-03437-5

12. Reid PC, Morr S, Kaiser MG. State of the union: a review of lumbar fusion indications and techniques for degenerative spine disease. *J Neurosurg Spine*. 2019; 31(1): 1-14. doi: 10.3171/2019.4.SPINE18915

13. Thome C, Zevgaridis D, Leneta O, Bazner H. Outcome after less-invasive decompression of lumbar spinal stenosis:

A randomized comparison of unilateral laminotomy, bilateral laminotomy and laminectomy. *J Neurosurg Aug*. 2005; 3(2): 129-141. doi: 10.3171/spi.2005.3.2.0129

14. Butler D, Trafimow JH, Andersson GB, McNeill TW, Huckman MS. Discs degenerate before facets. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1990; 15(2): 111-113. doi: 10.1097/00007632-199002000-00012

15. Kaye AD, Edinoff AN, Temple SN, Kaye AJ, Chami AA, Shah RJ, et al. A comprehensive review of novel interventional techniques for chronic pain: Spinal stenosis and degenerative disc disease – MILD percutaneous image guided lumbar decompression, Vertiflex interspinous spacer, MinuteMan G3 interspinous-interlaminar fusion. *Adv Ther*. 2021; 38(9): 4628-4645. doi: 10.1007/s12325-021-01875-8

16. Bedair TM, Lee CK, Kim D-S, Baek SW, Bedair HM, Joshi HP, et al. Magnesium hydroxide-incorporated PLGA composite attenuates inflammation and promotes BMP2-induced bone formation in spinal fusion. *J Tissue Eng*. 2020; 11: 2041731420967591. doi: 10.1177/2041731420967591

17. Hargreaves BA, Worters PW, Pauly KB, Pauly JM, Koch KM, Gold GE. Metal-induced artifacts in MRI. *AJR Am J Roentgenol*. 2011; 197(3): 547-555. doi: 10.2214/AJR.11.7364

18. Jungmann PM, Agten CA, Pfirrmann CW, Sutter R. Advances in MRI around metal. *J Magn Reson Imaging*. 2017; 46(4): 972-991. doi: 10.1002/jmri.25708

19. Mavrogenis AF, Vottis C, Triantafyllopoulos G, Papagelopoulos PJ, Pneumaticos SG. PEEK rod systems for the spine. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2014; 24(Suppl 1): S111-S116. doi: 10.1007/s00590-014-1421-4

20. Seyedhoseinpoor T, Dadgoo M, Taghipour M, Ebrahimi Takamjani I, Sanjari MA, Kazemnejad A, et al. Combining clinical exams can better predict lumbar spine radiographic instability. *Musculoskelet Sci Pract*. 2022; 58: 102504. doi: 10.1016/j.msksp.2022.102504

21. Volkheimer D, Galbusera F, Liebsch C, Schlegel S, Rohlmann F, Kleiner S, et al. Is intervertebral disc degeneration related to segmental instability? An evaluation with two different grading systems based on clinical imaging. *Acta Radiol*. 2018; 59(3): 327-335. doi: 10.1177/0284185117715284

22. Симонович А.Е. Хирургическое лечение дегенеративных поражений поясничного отдела позвоночника с использованием инструментария DYNESYS для транспедикулярной динамической фиксации. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2005; (2): 11-15. [Simonovich AE. Surgical treatment of degenerative lesions of the lumbar spine using DYNESYS instruments for transpedicular dynamic fixation. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2005; (2): 11-15. (In Russ.].

Сведения об авторах

Потапов Виталий Энгельсович – кандидат медицинских наук, заведующий нейрохирургическим отделением, ведущий научный сотрудник научно-клинического отдела нейрохирургии, ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии», e-mail: pva454@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9167-637X>

Ларионов Сергей Николаевич – доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник научно-клинического отдела нейрохирургии, ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии», e-mail: snlar@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9189-3323>

Животенко Александр Петрович – младший научный сотрудник научно-клинического отдела нейрохирургии, ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии», e-mail: sivotenko1976@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4032-8575>

Горбунов Анатолий Владимирович – врач-нейрохирург нейрохирургического отделения, младший научный сотрудник научно-клинического отдела нейрохирургии, ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии», e-mail: a.v.gorbunov58@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1352-0502>

Сороковиков Владимир Алексеевич – доктор медицинских наук, профессор, директор, ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии»; заведующий кафедрой травматологии, ортопедии и нейрохирургии, Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования – филиал ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, e-mail: vasorokovikov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9008-6383>

Information about the authors

Vitaliy E. Potapov – Cand. Sc. (Med.), Head of the Neurosurgical Unit, Leading Research Officer at the Clinical Research Department of Neurosurgery, Irkutsk Scientific Centre of Surgery and Traumatology, e-mail: pva454@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9167-637X>

Sergey N. Larionov – Dr. Sc. (Med.), Leading Research Officer at the Clinical Research Department of Neurosurgery, Irkutsk Scientific Centre of Surgery and Traumatology, e-mail: snlar@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9189-3323>

Alexandr P. Zhivotenko – Junior Research Officer at the Clinical Research Department of Neurosurgery, Irkutsk Scientific Centre of Surgery and Traumatology, e-mail: sivotenko1976@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4032-8575>

Anatoly V. Gorbunov – Neurosurgeon at the Neurosurgical Unit, Junior Research Officer at the Clinical Research Department of Neurosurgery, Irkutsk Scientific Centre of Surgery and Traumatology, e-mail: a.v.gorbunov58@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1352-0502>

Vladimir A. Sorokovikov – Dr. Sc. (Med.), Professor, Director, Irkutsk Scientific Centre of Surgery and Traumatology; Head of the Department of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education – Branch Campus of the Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, e-mail: vasorokovikov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9008-6383>

Статья опубликована в рамках Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвящённой 25-летию Иркутского научного центра хирургии и травматологии.