

Проседание кейджа после операций на переднем отделе субаксиальной части шейного отдела позвоночника: моноцентровое проспективное клиническое исследование с 3-летним сроком наблюдения

С.В. Колесов¹, А.И. Казьмин¹, И.В. Скорина¹, В.В. Швец¹, М.Л. Сажнев¹,
А.А. Пантелеев¹, В.С. Переверзев¹, Д.А. Колбовский^{1,2}

¹ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва, Россия

² ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, Москва, Россия

Абстракт

Выбор имплантата для замещения дефекта тела позвонка после корпэктомии при травматических поражениях остается предметом дискуссии среди спинальных хирургов. Кейджи из наноструктурного углерода являются перспективными для применения в хирургии позвоночника. **Цель** данного исследования — определить частоту и степень проседания кейджа у пациентов с травматическим поражением шейного отдела позвоночника, которым выполняли одноуровневую переднюю корпэктомию с реконструкцией углеродным или титановым кейджем в субаксиальной части шейного отдела позвоночника. **Материал и методы.** Было проведено проспективное исследование 47 пациентов, которым выполняли одноуровневую корпэктомию шейного отдела позвоночника по поводу травматического поражения. Было сформировано методом адаптивной рандомизации две группы: в группу I вошли пациенты с углеродными кейджами ($n = 23$), а в группу II — пациенты с титановыми кейджами ($n = 24$). Оценку проседания и стабильности кейджей проводили по данным рентгенограмм и КТ до и после операции. Оценку качества жизни до и после операции проводили по данным опросников NDI и ВАШ. **Результаты.** По данным опросников, у абсолютного большинства пациентов групп I и II в послеоперационном периоде отмечено статистически значимое улучшение качества жизни ($p < 0,01$). Первые признаки проседания имплантатов отмечены через 3 мес. после операции в группе II. В группе I таковых не было. Итоговый результат проседания в конце срока наблюдения для группы I составил $0,6 \pm 0,4$ мм, в группе II — $3,1 \pm 1,4$ мм ($p = 0,023$). В группе II формирование костного блока между костной тканью и кейджем зафиксировано у 30% пациентов ($p = 0,037$), в группе I костный блок не формировался. При этом, по данным функциональных рентгенограмм, не было выявлено признаков нестабильности углеродных кейджей. Ни одному из пациентов в группах I и II не потребовалось ревизионного хирургического лечения, вызванного осложнениями, связанными с установкой кейджей. **Заключение.** Результаты применения углеродных наноструктурных кейджей в качестве телозамещающих имплантатов в шейном отделе позвоночника не уступают исходам после применения титановых сетчатых кейджей. В группе I проседание углеродных кейджей значительно уступает этому показателю в группе II с титановыми кейджами. Костный блок при применении углеродных кейджей не формируется. Стоит отметить, что углеродная структура кейджей позволяет проводить лучевую диагностику оперированного сегмента без образования артефактов.

Ключевые слова: травма шейного отдела позвоночника, углеродный кейдж, титановый сетчатый кейдж, проседание кейджа.

Колесов С.В., Казьмин А.И., Скорина И.В., Швец В.В., Сажнев М.Л., Пантелеев А.А., Переверзев В.С., Колбовский Д.А. Проседание кейджа после операций на переднем отделе субаксиальной части шейного отдела позвоночника: моноцентровое проспективное клиническое исследование с 3-летним сроком наблюдения. *Травматология и ортопедия России*. 2020;26(2):139-147. doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-2-139-147.

Cite as: Kolesov S.V., Kazmin A.I., Skorina I.V., Shvets V.V., Sazhnev M.L., Panteleev A.A., Pereverzev V.S., Kolbovski D.A. [Cage Subsidence after Surgery on the Anterior Part of the Subaxial Cervical Spine: a Monocentric Prospective Clinical Study with a 3-Year Follow-Up]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2020;26(2):139-147. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-2-139-147.

✉ Казьмин Аркадий Иванович / Arkady I. Kazmin; e-mail: kazmin.cito@mail.ru

Рукопись поступила/Received: 06.05.2019. Принята в печать/Accepted for publication: 04.03.2020.

Cage Subsidence after Surgery on the Anterior Part of the Subaxial Cervical Spine: a Monocentric Prospective Clinical Study with a 3-Year Follow-Up

S.V. Kolesov¹, A.I. Kazmin¹, I.V. Skorina¹, V.V. Shvets¹, M.L. Sazhnev¹, A.A. Panteleev¹, V.S. Pereverzev¹, D.A. Kolbovski^{1,2}

¹ Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopaedics, Moscow, Russian Federation

² Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russian Federation

Abstract

The choice of an implant for vertebra body defect replacement in corpectomy for traumatic lesions remains a point of discussion among spinal surgeons. Nanostructured carbon cages are promising for use in spinal surgery. **The purpose** of this study was to determine the rate and degree of cage subsidence in the patients with traumatic lesions of the cervical spine undergone a single-level anterior corpectomy in the subaxial part of the cervical spine with reconstruction using a carbon or titanium cage. **Materials and Methods.** A prospective study included 47 patients undergone a single-level corpectomy of the cervical spine due to traumatic injury. Two groups were formed by adaptive randomization: group I with the patients with carbon cages ($n = 23$), and group II with the patients with titanium cages ($n = 24$). The evaluation of cages subsidence and stability was carried by X-rays and CT before and after surgery. The quality of life before and after the surgery was evaluated using NDI and VAS questionnaires. **Results.** According to the questionnaires, the absolute majority of the patients in both groups showed a statistically significant improvement of quality of life in the postoperative period ($p < 0.01$). The first signs of implant subsidence were noted 3 months after surgery in group II. There were none of such cases in group I. The final result of the subsidence at the end of the follow-up comprised: for group I 0.6 ± 0.4 mm, for group II 3.1 ± 1.4 mm ($p = 0.023$). In group II, the bone block between bone tissue and the cage was recorded in 30% of patients ($p = 0.037$), in group I, the bone block was not formed. At the same time, according to the functional X-ray data, there were no signs of carbon cages instability in group I. None of the patients in groups I and II required revision surgery due to complications associated with cages placement. **Conclusion.** The outcomes of carbon nanostructure cages placement as body-replacing implants in the cervical spine were not inferior to the outcomes of titanium mesh cages using. In group I, the carbon cages subsidence was significantly lower than in group II with titanium cages. The bone block was not formed in the case of carbon cages. It is worth noting that the carbon structure of the cages allowed the radiological diagnostics of the operated segment without artifacts formation.

Keywords: cervical spine injury, carbon cage, titanium mesh cages.

Введение

Основным подходом в лечении нестабильных повреждений шейного отдела позвоночника является хирургическая стабилизация пораженного сегмента позвоночника с выполнением дополнительной декомпрессии невралжных структур в случае необходимости [1]. Вентральная шейная корпэктомия с реконструкцией передних отделов позвоночника является распространенной и эффективной методикой лечения заболеваний шейного отдела позвоночника, включая травму [2, 3]. Одним из основных показаний к ее применению является компрессионное поражение тел позвонков с возможностью прямой декомпрессии спинного мозга с помощью корпэктомии и последующей стабилизацией тем или иным видом имплантата. Передний доступ является малотравматичным и не только позволяет обеспечить декомпрессию,

но и обеспечивает вправление фасеточных суставов в случае их вывиха, а также восстановление лордоза шейного отдела позвоночника [4, 5]. При этом остается проблемой сохранение структурной целостности шейного отдела позвоночника после корпэктомии [6].

Наиболее часто для формирования костного блока применяют костные трансплантаты или межтеловые кейджи. В качестве костных трансплантатов используют как ауто трансплантаты из гребня подвздошной кости, так и аллотрансплантаты. Применение ауто трансплантатов связано с большим количеством осложнений в послеоперационном периоде, такими как боль в области донорского ложа, переломы в области донорского ложа, инфицирование области забора трансплантата, псевдоартроз, смещение трансплантата, его перелом или деформация [7]. Однако в литературе

показана значительно более высокая степень формирования костного блока и более низкая частота возникновения коллапса у пациентов с аутотрансплантатом, чем у пациентов с аллотрансплантатом [8, 9].

С целью снижения риска послеоперационных осложнений были разработаны различные межтеловые кейджи, чтобы улучшить стабильность передней колонны, избежать осложнений в области донорских участков, улучшить биосовместимость и снизить количество осложнений, связанных с используемыми имплантатами [10]. Однако все предложенные импланты имеют те или иные недостатки, что заставляет продолжать поиск в данной области [11, 12].

С конца 1980-х гг. осуществлялись неоднократные попытки применения углеродных имплантатов в хирургии позвоночника, в том числе и для замещения тел позвонков [13, 14, 15]. С 2012 г. новый импульс применению имплантатов на основе углерода дал запуск завода по производству наноструктурных углеродных кейджей в России. С 2015 г. по настоящее время на базе нескольких крупных российских клиник проводится мультицентровое исследование по применению углеродных наноструктурных имплантатов в клинической практике [2].

Цель данного исследования состояла в том, чтобы определить частоту и степень проседания кейджа у пациентов с травматическим поражением шейного отдела позвоночника, которым выполняли одноуровневую переднюю корпэктомия с реконструкцией углеродным или титановым кейджем в субаксиальной части шейного отдела позвоночника.

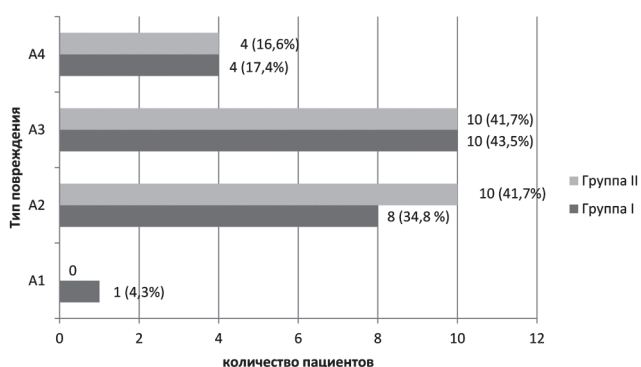


Рис. 1. Распределение пациентов по классификации AOSpine

Fig. 1. Patient distribution by AOSpine classification

Материал и методы

Дизайн исследования

Проведено моноцентровое проспективное рандомизированное исследование пациентов, которым выполняли одноуровневую корпэктомия шейного отдела позвоночника по поводу травматического поражения с 2014 по 2016 г. Все пациенты были оперированы двумя ведущими хирургами отделения. Исследование получило одобрение локального этического комитета.

Всего в исследование были включены 47 пациентов, которые были разделены на группы: группа I — пациенты, которым были имплантированы кейджи из наноструктурного углерода, группа II — пациенты, которым имплантировались стандартные сетчатые титановые кейджи. Распределение по группам проводилось методом адаптивной рандомизации.

Критерии включения:

- повреждение типа А по классификации AOSpine;
- поражение на уровне С3-С7 позвонков;
- изолированное поражение тела одного позвонка.

Травматические поражения субаксиальной части шейного отдела позвоночника оценивали в соответствии с классификацией AOSpine. В исследование включали пациентов с типом повреждения А (рис. 1).

Большая часть пациентов не имела неврологического дефицита в предоперационном периоде, что соответствует значению Е по классификации Frankel (рис. 2). Та или иная степень неврологического дефицита зафиксирована у 6 пациентов в группе I и у 8 пациентов в группе II.

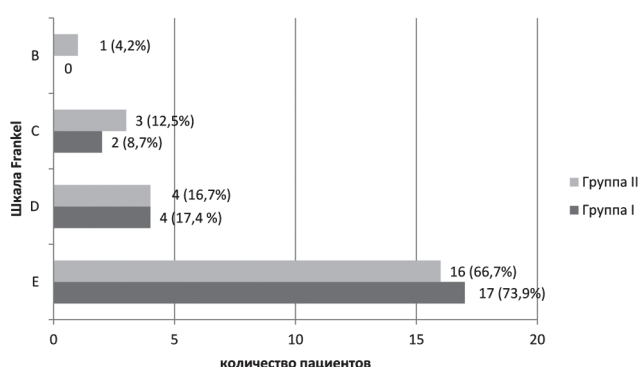


Рис. 2. Распределение пациентов по шкале Frankel

Fig. 2. Frankel scale patient distribution

Методы оценки результатов

Оценку качества жизни до и после операции проводили по опросникам NDI и ВАШ. Оценку проседания и стабильности кейджей проводили в контрольные сроки по данным рентгенограмм и КТ до и после операции. Проседание фиксировали, если уменьшение высоты оперированного сегмента при последнем лучевом исследовании составляло 2 мм и более по сравнению с результатами в день операции, или когда проникновение кейджа в замыкательную пластину тела позвонка было очевидным.

Техника операции

Во всех случаях внутрь кейджа перед имплантацией помещались аутотрансплантаты из резецированного тела позвонка, при использовании УНИ аутотрансплантаты укладывались вдоль кейджа. Дополнительную стабилизацию позвоночника всем пациентам осуществляли титановыми пластинами.

Статистический анализ

Статистический анализ представлен в виде среднего арифметического \pm среднее квадратичное отклонение для непрерывных данных и в виде процентного отношения для категориальных переменных. Порог статистической значимости соответствовал $p < 0,05$. Статистический анализ осуществлялся при помощи независимого t -теста, парного t -теста и χ^2 и программного обеспечения Statistica 12 (StatSoft, США). Проверка равенства дисперсий проводилась при помощи критерия Фишера. Проверка нормальности распределения проведена по критерию Колмогорова – Смирнова.

Результаты

Из 47 пациентов, включенных в исследование, большую часть составляли лица мужского пола (31 мужчина, 16 женщин). Кейджи из наноструктурированного углерода имплантированы 23 пациентам (группа I), сетчатые титановые кейджи – 24 (группа II). Дизайн исследования представлен на рисунке 3.

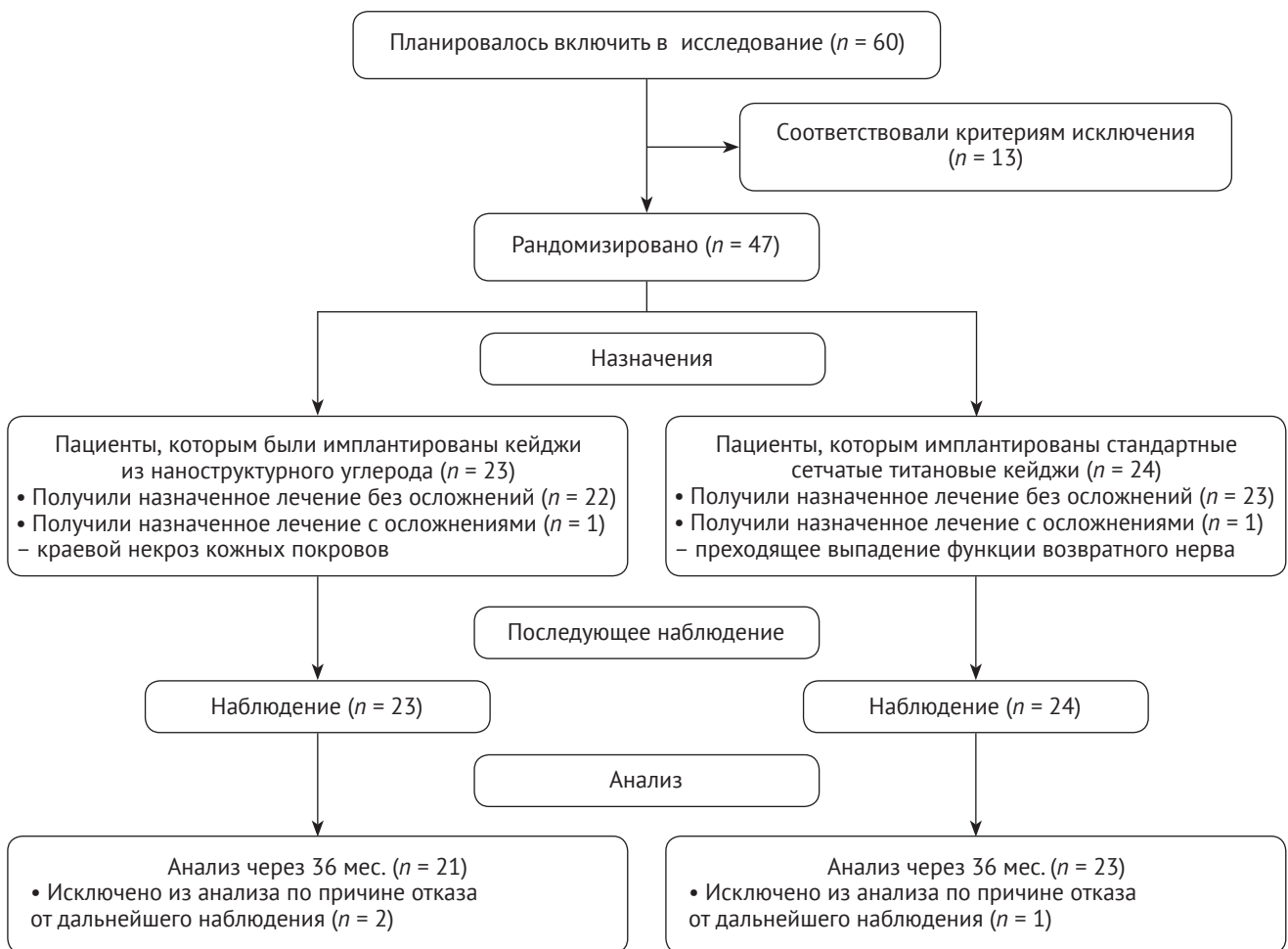


Рис. 3. Блок-схема дизайна исследования
Fig. 3. Flow chart of the study

При сравнительном анализе групп статистических различий по полу, возрасту, ИМТ, а также минеральной плотности костной ткани выявлено не было (табл. 1).

Наиболее частой причиной травмы были дорожно-транспортные происшествия (83% в группе I и 79% — в группе II). При этом в обеих группах пациентов наиболее часто поражались нижнешейные позвонки C6 и C7 (74% в группе I и 75% в группе II) (рис. 4).

По данным опросников, у абсолютного большинства пациентов обеих групп в послеопераци-

онном периоде отмечено статистически значимое улучшение качества жизни ($p < 0,01$) (табл. 2).

Первые признаки проседания имплантатов отмечены через 3 мес. после операции в группе II (рис. 5).

Итоговый результат проседания в конце срока наблюдения через 3 года после операции в группе I составил $0,6 \pm 0,4$ мм, в группе II — $3,1 \pm 1,4$ мм ($p = 0,023$). При этом у 43,5% пациентов группы I не было признаков проседания, тогда как в группе II этот процент составил 79,3% ($p = 0,008$) (рис. 6).

Таблица 1

Характеристика пациентов обеих групп

Показатель	Группа I	Группа II	p
Средний возраст, лет	45,5 ±10,7	41,5 ±8,7	0,976
Пол			
М	14	17	0,324
Ж	9	7	
ИМТ, кг/м ²	24,7±8,9	26,1±7,5	0,577
МПК, г/см ²	0,853±0,119	0,879±0,132	0,634
Период наблюдения, мес.	42,4 ±8,3	44,7 ±10,8	0,412

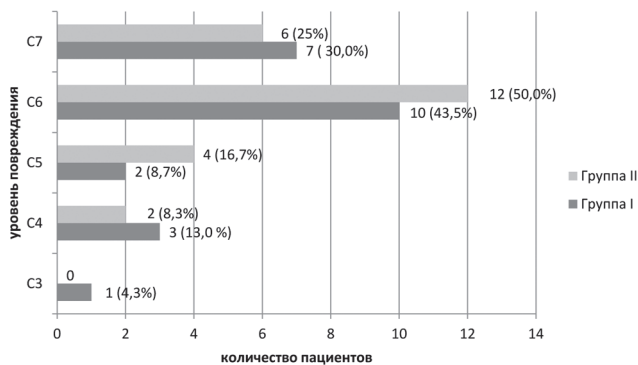


Рис. 4. Уровни поражения позвонков в группах
Fig. 4. Levels of vertebrae lesions in the groups

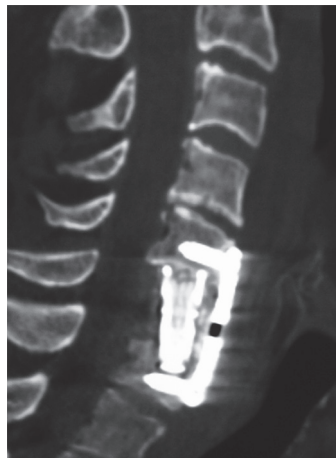


Рис. 5. Пациент, 34 года, группа II: КТ через 3,5 мес. после операции, первые признаки проседания имплантатов

Fig. 5. Patient, 34 years old, group II, CT scan after 3.5 months after the surgery surgery, the first signs of implant subsidence

Таблица 2

Качество жизни пациентов по результатам опросников до и после операции в группах I и II

Группа	Опросник	До операции	Через 3 года после операции
I	NDI	55,6±21,3%	24,5±14,7%
	ВАШ	8,1±1,1	3,2±1,3
II	NDI	57,7±31,1%	26,5±15,3%
	ВАШ	7,9±1,6	3,3±1,5

$p < 0,001$.

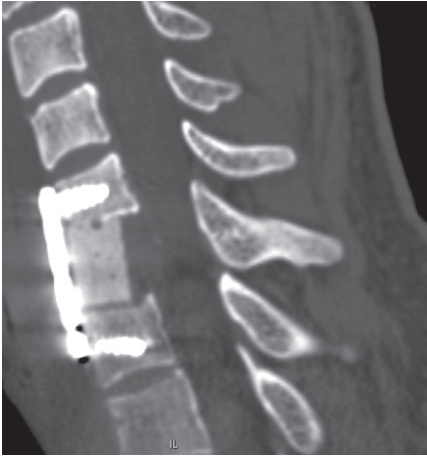


Рис. 6. Пациент 39 лет, группа I — 12 мес. после операции. Положение углеродного кейджа стабильное, признаков резорбции и проседания нет

Fig. 6. Patient, 39 years old, group I, 12 months after the surgery. The position of the carbon cage is stable, there are no signs of resorption and subsidence

В группе I формирование костного блока между костной тканью и углеродным кейджем зафиксировано только у 2 пациентов, что значительно уступает таковому показателю в группе II, где надежный костный блок сформировался у 7 пациентов ($p = 0,037$) (рис. 7).

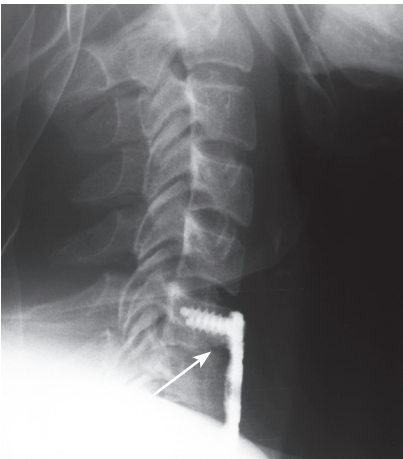


Рис. 7. Пациент 39 лет, группа I — 1,5 года после операции. Положение углеродного кейджа стабильное, признаков резорбции и проседания нет. Отсутствуют признаки формирования костного блока, прослеживается щель между телом позвонка и углеродным стержнем (отмечена стрелкой)

Fig. 7. Patient, 39 years old, group I, 1.5 years after surgery. The position of the carbon cage is stable without the signs of resorption and subsidence. Also there are no signs of bone block formation, a gap can be traced between the vertebral body and the carbon rod (marked by arrow)

У пациентов с углеродными кейджами на функциональных рентгенограммах не было зафиксировано нестабильности кейджа, что можно трактовать как развитие фиброзного блока между тканями пациента и кейджем.

Осложнения

Ни одному из пациентов в группах I и II не потребовалось ревизионного хирургического лечения, вызванного осложнениями, связанными с установкой кейджей. У одного пациента из группы I в послеоперационном периоде имел место краевой некроз кожных покровов, не потребовавший дополнительных вмешательств. У одного пациента из группы II наблюдалось преходящее выпадение функции возвратного нерва, проявившееся осиплостью голоса с последующим полным восстановлением.

Обсуждение

С учетом неснижающегося количества травм шейного отдела позвоночника, требующих хирургического вмешательства, вопрос выбора имплантата для замещения дефектов тел позвонков не теряет своей актуальности [16, 17]. Большая часть травм шейного отдела позвоночника у взрослых приходится на субаксиальный отдел, при этом более 50% приходится на сегменты C5-C7 [18]. Такая же тенденция прослеживается и в нашем исследовании. Несмотря на неутрачиваемые споры о хирургических подходах, зачастую передний доступ является основным в лечении субаксиальных повреждений шейного отдела позвоночника [19, 20, 21] ввиду своей малотравматичности, возможности восстановления лордоза, вправления фасеточных суставов, а также возможности адекватной декомпрессии.

Несмотря на то, что аутотрансплантат обеспечивает максимальную скорость формирования костного блока и меньшую частоту проседания, большинство хирургов предпочитают не использовать данный вариант замещения дефектов в связи с высоким риском потенциальных осложнений со стороны как донорского участка, так и самого трансплантата [22]. В этой связи использование аутологичных трансплантатов в значительной степени заменено полиэфирэфиркетонами и титановыми кейджами.

Еще в 2005 г. было высказано предположение о том, что клинически значимым является общее проседание кейджа более 4 мм [23]. Однако в литературе нет убедительных данных о корреляции между степенью проседания и клиническими проявлениями. Изучение данного вопроса для новых имплантатов важно для понимания рисков осложнений применения в отдаленные сроки наблюдения.

В нашем исследовании углеродные кейджи показали значительно меньшее проседание по сравнению с титановыми кейджами. Среднее проседание в группе углеродных имплантатов (0,6 мм) было сопоставимо с результатами исследования, опубликованного в 2010 г., в котором сообщается о схожих показателях проседания [24]. Также мы наблюдали тенденцию к увеличению проседания у пожилых пациентов, что согласуется с данными литературы и коррелирует со снижением качества и плотности кости позвоночника [25].

Результаты нашего исследования продемонстрировали отсутствие корреляции между степенью проседания и риском развития осложнений, требующих ревизионного хирургического лечения, при том, что в большинстве своем к ревизионной операции ведет клинически проявляющийся псевдоартроз [10].

Ограничения исследования

В первую очередь, это размер выборки, который для каждой группы является относительно небольшим. Также увеличение уровней фиксации повышает риск развития проседания и псевдоартроза с увеличением количества ревизионных операций [25, 26, 27], в то время как в наше исследование вошли пациенты с одним уровнем фиксации.

Проседание углеродных кейджей происходит статистически реже, чем титановых имплантатов, при этом степень проседания у пациентов с углеродными кейджами также значительно меньше, чем у пациентов с титановыми кейджами ($p = 0,023$). Костный блок при применении углеродных наноструктурированных имплантатов не формируется. Углеродная структура кейджей позволяет проводить лучевую диагностику оперированного сегмента без образования артефактов. Применение углеродных наноструктурных кейджей в качестве телозамещающих имплантатов в шейном отделе позвоночника показало результаты, не уступающие таковым при применении титановых сетчатых кейджей.

Для оценки отдаленных результатов более пяти лет необходимы дальнейшие исследования, в том числе и мультицентровые, что позволит более детально изучить возможности применения углеродных наноструктурированных кейджей.

Этика публикации

Пациенты дали добровольное информированное согласие на участие в исследовании и публикацию клинического наблюдения.

Конфликт интересов: не заявлен.

Источник финансирования: государственное бюджетное финансирование.

Вклад авторов

Колесов С.В. — разработка концепции и дизайна исследования, интерпретация и анализ полученных данных, редактирование.

Казьмин А.И. — координация участников исследования, интерпретация и анализ полученных данных, статистическая обработка полученных данных, подготовка текста.

Скорина И.В. — сбор и обработка материала, проведение исследований, подготовка текста.

Швец В.В. — разработка концепции и дизайна исследования, интерпретация и анализ полученных данных, редактирование.

Сажнев М.Л. — сбор и обработка материала, проведение исследований, подготовка текста.

Пантелеев А.А. — сбор и обработка материала, проведение исследований, подготовка текста.

Переверзев В.С. — сбор и обработка материала, проведение исследований, подготовка текста.

Колбовский Д.А. — статистическая обработка и анализ полученных данных, подготовка текста.

Литература [References]

1. Koller H., Reynolds J., Zenner J., Forstner R., Hempfing A., Maislinger I. et al. Mid- to long-term outcome of instrumented anterior cervical fusion for subaxial injuries. *Eur Spine J.* 2009;18(5):630-653. doi: 10.1007/s00586-008-0879-3.
2. Колесов С.В., Пташников Д.А., Шве́ц В.В. Повреждения спинного мозга и позвоночника. Москва: Авторская Академия; 2018. 568 с.
Kolesov S.V., Ptashnikov D.A., Shvets V.V. [Injuries of spinal cord and spine]. Moscow: Authors Academy; 2018. 568 p. (In Russian).
3. Arnold P.M., Cheng I., Harris J.A., Hussain M.M., Zhang C., Karamian B. et al. Single-Level In Vitro Kinematic Comparison of Novel Inline Cervical Interbody Devices With Intervertebral Screw, Anchor, or Blade. *Global Spine J.* 2019;9(7):696-707. doi: 10.1177/2192568219833055.
4. Reindl R., Ouellet J., Harvey E.J., Berry G., Arlet V. Anterior reduction for cervical spine dislocation. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006;31(6):648-652. doi: 10.1097/01.brs.0000202811.03476.a0.
5. Hilibrand A.S., Balasubramanian K., Eichenbaum M., Thinnis J.H., Daffne S., Berta S. et al. The Effect of Anterior Cervical Fusion on Neck Motion. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006;31(15):1688-1692. doi: 10.1097/01.brs.0000224165.66444.71.
6. Колбовский Д.А., Колесов С.В., Шве́ц В.В., Рерих В.В., Вишне́вский А.А., Скорина И.В. и др. Остеокондуктивные свойства углеродных имплантов, применяемых в хирургии повреждений и заболеваний позвоночника (случай из практики). *Гений ортопедии*. 2018;24(2): 229-233. doi: 10.18019/1028-4427-2018-24-2-229-233.
Kolbovskiy D.A., Kolesov S.V., Shvets V.V., Rerikh V.V., Vishnevsky A.A., Skorina I.V. et al. [Osteoconductive properties of carbon fibre implants used in surgery of spine injuries and disorders (case report)]. *Genij Ortopedii*. 2018;24(2):229-233. doi: 10.18019/1028-4427-2018-24-2-229-233. (In Russian).
7. Arts M.P., Peul W.C. Vertebral body replacement systems with expandable cages in the treatment of various spinal

- pathologies: a prospectively followed case series of 60 patients. *Neurosurgery*. 2008;63(3):537-544; discussion 544-545. doi: 10.1227/01.NEU.0000325260.00628.DC.
8. Floyd T., Ohnmeiss D. A meta-analysis of autograft versus allograft in anterior cervical fusion. *Eur Spine J*. 2000;9(5):398-403. doi: 10.1007/s005860000160.
 9. Shriver M.F., Lewis D.J., Kshetry V.R., Rosenbaum B.P., Benzel E.C., Mroz T.E. Dysphagia Rates after Anterior Cervical Discectomy and Fusion: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Global Spine J*. 2017;7(1):95-103. doi: 10.1055/s-0036-1583944.
 10. Weber M.H., Fortin M., Shen J., Tay B., Hu S.S., Berven S. et al. Graft Subsidence Following Anterior Cervical Corpectomy: A Clinical Study Comparing Different Interbody Cages. *Clin Spine Surg*. 2017;30(9):E1239-E1245. doi: 10.1097/BSD.0000000000000428.
 11. Brenke C., Fischer S., Carolus A., Schmieder K., Ening G. Complications associated with cervical vertebral body replacement with expandable titanium cages. *J Clin Neurosci*. 2016;32:35-40. doi: 10.1016/j.jocn.2015.12.036.
 12. Raslan F., Koehler S., Berg F., Rueckriegel S., Ernestus R.I., Meinhardt M. et al. Vertebral body replacement with PEEK-cages after anterior corpectomy in multilevel cervical spinal stenosis: A clinical and radiological evaluation. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2014;134(5):611-618. doi: 10.1007/s00402-014-1972-1.
 13. Лавров И.Н., Хурцилава Н.Д. Замена тел шейных позвонков углеродными имплантатами. В кн.: *Заболевания и повреждения позвоночника и спинного мозга*. Москва; 1985. С. 26-28
Lavrov I.N., Khurtsilava N.D. [Replacing cervical vertebral bodies with carbon implants]. In: *Zabolevaniya i povrezhdeniya pozvonochnika i spinnogo mozga* [Diseases and injuries of the spine and spinal cord]. Moscow; 1985. p. 26-28. (In Russian).
 14. Лавров И.Н., Костиков В.И., Мусалатов Х.А., Хурцилава Н.Д., Куликов Л.С., Юмашев А.Г. Импланты из углерода в травматологии и ортопедии. В кн.: *Ортезирование, экспресс-ортезирование и биоматериалы в травматологии и ортопедии*. Харьков; 1987. С. 86-87.
Lavrov I.N., Kostikov V.I., Musalатов Ch.A., Khurtsilava N.D., Kulikov L.S., Yumashev A.G. [Carbon implants in traumatology and orthopedics]. In: *Ortezirovanie, express-ortezirovanie i biomaterialy v travmatologii i orthopedii* [Orthotics, express orthotics and biomaterials in traumatology and orthopedics]. Kharkov; 1987. p. 86-87. (In Russian).
 15. Проценко А.И., Юмашев Г.С., Учник П.А., Швец В.В. Передний шейный спондилодез углеродными имплантатами. В кн.: *Патология позвоночника*. Ленинград; 1990. с. 45-48.
Protsenko A.I., Yumashev G.S., Utshnik P.A., Shvets V.V. [Cervical anterior spinal fusion with carbon implants]. In: *Patologiya pozvonochnica* [Spine pathology]. Leningrad; 1990. p. 45-48. (In Russian).
 16. Wilson J.R., Grossman R.G., Frankowski R.F., Kiss A., Davis A.M., Kulkarni A.V. et al. A clinical prediction model for long-term functional outcome after traumatic spinal cord injury based on acute clinical and imaging factors. *J Neurotrauma*. 2012;29(13):2263-2271. doi: 10.1089/neu.2012.2417.
 17. Gattozzi D.A., Yekzaman B.R., Jack M.M., O'Bryan M.J., Arnold P.M. Early ventral surgical treatment without traction of acute traumatic subaxial cervical spine injuries. *Surg Neurol Int*. 2018;9:254. doi: 10.4103/sni.sni_352_18.
 18. Jain V., Madan A., Thakur M., Thakur A. Functional Outcomes of Subaxial Spine Injuries Managed With 2-Level Anterior Cervical Corpectomy and Fusion: A Prospective Study. *Neurospine*. 2018;15(4):368-375. doi: 10.14245/ns.1836100.050.
 19. Aebi M. Surgical treatment of upper, middle and lower cervical injuries and non-unions by anterior procedures. *Eur Spine J*. 2010;19(Suppl 1):33-39. doi: 10.1007/s00586-009-1120-8.
 20. Feuchtbaum E., Buchowski J., Zebala L. Subaxial cervical spine trauma. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2016;9(4):496-504. doi: 10.1007/s12178-016-9377-0.
 21. Han M.S., Lee G.J., Kim J.H., Lee S.K., Moon B.J., Lee J.K. Outcomes of Anterior Cervical Fusion Using Polyetheretherketone Cage with Demineralized Bone Matrix and Plate for Management of Subaxial Cervical Spine Injuries. *Korean J Neurotrauma*. 2018;14(2):123-128. doi: 10.13004/kjnt.2018.14.2.123.
 22. Kim S.H., Lee J.K., Jang J.W., Park H.W., Hur H. Polyetheretherketone cage with demineralized bone matrix can replace iliac crest autografts for anterior cervical discectomy and fusion in subaxial cervical spine injuries. *J Korean Neurosurg Soc*. 2017;60(2):211-219. doi: 10.3340/jkns.2015.0203.014.
 23. van Jonbergen H.P., Spruit M., Anderson P.G., Pavlov P.W. Anterior cervical interbody fusion with a titanium box cage: Early radiological assessment of fusion and subsidence. *Spine J*. 2005;5(6):645-649. doi: 10.1016/j.spinee.2005.07.007.
 24. Kabir S.M., Alabi J., Rezajooi K., Casey A.T. Anterior cervical corpectomy: Review and comparison of results using titanium mesh cages and carbon fibre reinforced polymer cages. *Br J Neurosurg*. 2010;24(5):542-546. doi: 10.3109/02688697.2010.503819.
 25. Lonjon N., Favreuil E., Huppert J., Lioret E., Delhaye M., Mraidi R. Clinical and radiological outcomes of a cervical cage with integrated fixation. *Medicine (Baltimore)*. 2019;98(3):e14097. doi: 10.1097/MD.00000000000014097.
 26. Yamagata T., Takami T., Uda T., Ikeda H., Nagata T., Sakamoto S. et al. Outcomes of contemporary use of rectangular titanium stand-alone cages in anterior cervical discectomy and fusion: Cage subsidence and cervical alignment. *J Clin Neurosci*. 2012;19(12):1673-1678. doi: 10.1016/j.jocn.2011.11.043.
 27. Sun K., Sun J., Wang S., Xu X., Wang Y., Xu T. et al. Placement of Titanium Mesh in Hybrid Decompression Surgery to Avoid Graft Subsidence in Treatment of Three-Level Cervical Spondylotic Myelopathy: Cephalad or Caudal? *Med Sci Monit*. 2018;24:9479-9487. doi: 10.12659/MSM.912650.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Колесов Сергей Васильевич — д-р мед. наук, заведующий отделением патологии позвоночника, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва

AUTHORS' INFORMATION:

Sergey V. Kolesov — Dr. Sci. (Med.), Chief of Spine Pathology Department, Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russian Federation

Казьмин Аркадий Иванович — канд. мед. наук, врач отделения патологии позвоночника, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва

Скорина Игорь Витальевич — аспирант отделения патологии позвоночника, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва

Швец Владимир Викторович — д-р мед. наук, ведущий научный сотрудник отделения патологии позвоночника, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва

Сажнев Максим Леонидович — канд. мед. наук, врач отделения патологии позвоночника, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва

Пантелеев Андрей Андреевич — врач отделения патологии позвоночника, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва

Переверзев Владимир Сергеевич — врач отделения патологии позвоночника, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва

Колбовский Дмитрий Александрович — канд. мед. наук, старший научный сотрудник отделения патологии позвоночника, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России; ассистент кафедры травматологии и ортопедии, ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, Москва, Россия

Arkady I. Kazmin — Cand. Sci. (Med.), Orthopedic Surgeon, Spine Pathology Department, Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russian Federation

Igor' V. Skorina — PhD Student, Spine Pathology Department, Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russian Federation

Vladimir V. Shvets — Dr. Sci. (Med.), Leading Researcher, Spine Pathology Department, Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russian Federation

Maxim L. Sazhnev — Cand. Sci. (Med.), Orthopedic Surgeon, Spine Pathology Department, Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russian Federation

Andrey A. Panteleev — Orthopedic Surgeon, Spine Pathology Department, Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russian Federation

Vladimir S. Pereverzev — Orthopedic Surgeon, Spine Pathology Department, Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russian Federation

Dmitry A. Kolbovsky — Cand. Sci. (Med.), Senior Researcher, Spine Pathology Department, Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics; Assistant, Traumatology and Orthopedics Department, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education Moscow, Russian Federation