

УДК 616.711:611.93]-089.843(477)

## Передний межтеловой цервикоспондилодез с применением вертикальных цилиндрических сетчатых имплантатов

А.Е. Барыш, Р.И. Бузницкий

ГУ «Институт патологии позвоночника и суставов им. проф. М.И. Ситенко АМН Украины», Харьков

*The clinical application of vertical cylindrical mesh implants in 35 patients for surgical treatment of diseases and injuries of their cervical spine was analysed. This technology is an effective method for restoration of the carrying capacity of vertebral motor segments regardless of the length of the anterior cervical interbody fusion.*

*Проведено аналіз клінічного застосування у 35 хворих вертикальних циліндричних сітчастих імплантатів у процесі хірургічного лікування захворювань та ушкоджень шийного відділу хребта. Зазначена технологія є ефективним методом відновлення носійної здатності хребтових рухових сегментів незалежно від протяжності переднього міжтілового цервікоспондилодезу.*

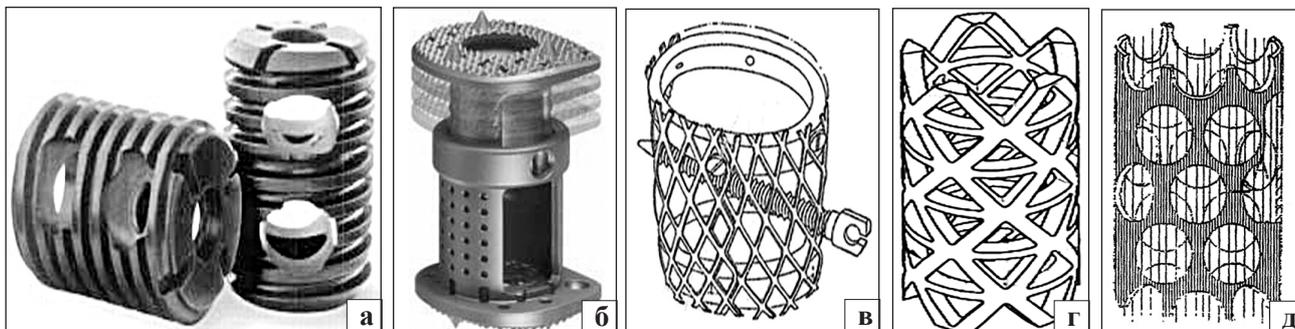
**Ключевые слова:** передний межтеловой спондилодез, цервикоспондилодез, кейджи, стабилизирующие операции

### Введение

Одной из наиболее важных составляющих хирургического лечения больных с повреждениями и заболеваниями шейного отдела позвоночника (ШОП) является восстановление несущей способности позвоночного двигательного сегмента (ПДС) [5]. Основным методом восстановления опороспособности переднего опорного комплекса до настоящего времени остается передний спондилодез с воссозданием межтеловой опоры при помощи костного кортикально-губчатого трансплантата, взятого из гребня подвздошной кости или из малоберцовой кости, в зависимости от протяженности спондилодеза [2]. В последнее время широко начали

применять полые цилиндрические металлические, преимущественно титановые, имплантаты [2, 8, 24]. Известны такие основные типы устройств, как горизонтальные винтообразные титановые кейджи; вертикальные раздвижные кейджи и вертикальные цилиндрические сетчатые кейджи (рис. 1) [2, 4, 7, 10, 19–21] и др.

Однако среди множества имплантатов, используемых для переднего межтелового спондилодеза в хирургии ШОП, только некоторые из них могут быть применены как для моносегментарного, так и би- и мультисегментарного спондилодеза. В настоящее время для переднего межтелового спондилодеза (ПМС) различной протяженности



**Рис 1.** Фотографии и схематические изображения цилиндрических металлических имплантатов: а — BAK cage («Zimmer», USA); б — Synex cage («Synthes», USA); в — Harms cage («DePuy Acromed», USA); г — Pyramesh cage («Medtronic Sofamor Danek», USA); д — Diamant cage («Inmasters», UA)

наиболее часто применяют вертикальные цилиндрические сетчатые имплантаты (ВЦСИ) [4, 20, 21], обеспечивающие ряд преимуществ перед костными трансплантатами и вышеуказанными имплантатами. В то же время широко известны такие осложнения, связанные с применением ВЦСИ, как их пролабирование в тела смежных позвонков, миграция металлоконструкции, формирование неполноценного костного блока и др., что приводит к появлению кифотической деформации ШОП и прогрессированию клинической симптоматики [12, 13, 18].

С учетом вышеизложенного целью данного исследования стал анализ результатов хирургического лечения больных с повреждениями и заболеваниями шейного отдела позвоночника при использовании разработанных в Институте вертикальных цилиндрических сетчатых имплантатов.

### Материал и методы

В клиническую группу вошли 35 пациентов (29 (82,9%) мужчин и 6 (17,1%) женщин) с заболеваниями и повреждениями ШОП, которым проводили хирургическое лечение с применением ВЦСИ, разработанных в ГУ «Институт патологии позвоночника и суставов им. проф. М.И. Ситенко АМН Украины» (рис. 1д) [4]. В данной клинической группе было 6 (17,1%) больных с дегенеративными поражениями, 7 (20%) — с травмами, 17 (48,6%) — с посттравматическими деформациями и 5 (14,3%) — с опухолями ШОП. Стабилизацию шейных ПДС выполняли на протяжении С II/V у 3 (8,6%) пациентов, С II/VI — у 2 (5,7%), С III/VI — у 15 (42,9%), С IV-V — у 3 (8,6%), С IV/VII — 9 (25,7%) и С V-VI — у 3 (8,6%) пациентов. У 6 (17,1%) больных выполняли моноsegmentарный спондилодез и у 29 (82,9%) — мультисegmentарный спондилодез, причем у 22 (84,6%) из них осуществили передний межтеловой спондилодез пластиной и у 3 (8,6%) — комбинированный переднезадний спондилодез. Таким образом, мультисegmentарную стабилизацию на протяжении 3 ПДС провели 27 (77,1%) больным и на протяжении 4 ПДС — 2 (5,7%) больным. У 5 (14,3%) пациентов применили вертикальные цилиндрические сетчатые имплантаты с пористым керамическим алюмооксидным покрытием [6].

ВЦСИ имеет вид полого стержня со сквозными боковыми отверстиями, размещенными ярусами по кольцевому периметру каждого из ярусов (рис. 1 д). Полость ВЦСИ может быть заполнена как измельченными костными трансплантатами, так и керамическими имплантатами. По наружной боковой поверхности стержня между отверстиями сделаны

углубления, величина поперечного среза которых меньше диаметра отверстий. Углубления выполнены в виде впадин, которые чередуются с возвышениями, образованными на боковой поверхности стержня методом пластической деформации. На наружной и внутренней поверхностях последнего, а также в его отверстиях выполнено покрытие из титана, нанесенное ионно-плазменным напылением, или покрытие из пористой алюмооксидной керамики.

Наличие на боковой поверхности ВЦСИ между его сквозными отверстиями углублений, величина поперечного среза которых меньше, чем диаметр отверстий, способствует увеличению общей поверхности стержня, которая контактирует с костной тканью тел позвонков для оптимизации процессов сращения. Выполнение углублений на боковой поверхности стержня между его отверстиями также значительно увеличивает площадь поверхности последнего, которая принимает участие в процессе адгезии с окружающими тканями. Кроме того, выполнение углублений методом пластической деформации обеспечивает повышение поверхностной прочности, а это, в свою очередь, обуславливает уменьшение толщины стенки имплантата, что оптимизирует прорастание регенерата через его отверстия. Выполнение на наружной и внутренней поверхности ВЦСИ, а также в его отверстиях покрытия из титана или пористой алюмооксидной керамики, нанесенного ионно-плазменным напылением, обеспечивает образование на указанных поверхностях и отверстиях имплантата шероховатости, которая способствует увеличению контактной поверхности с биологическими тканями и, соответственно, повышению прочности этого соединения.

Для установки ВЦСИ применяли разработанную новую технологию [2].

После осуществления доступа к передним отделам тел шейных позвонков выполняли рентгенологический контроль с маркировкой необходимого уровня. Осуществляли декомпрессивный этап хирургического вмешательства, объем которого зависел от конкретной клинической ситуации. В последующем формировали полукруглые углубления в центральной части каудального отдела тела вышележащего позвонка и краниального отдела нижележащего позвонка. Для заполнения полости ВЦСИ использовали имплантаты из пористой корундовой керамики, которая была разработана в Институте в 1978 году и успешно внедрялась в клиническую практику на протяжении последующих лет. При этом применяли как фрагментированные, плотно

подогнанные друг к другу, так и цельные керамические имплантаты, иногда в сочетании с костными аутографтами, полученными в результате корпэктомии. При помощи дистрактора позвонков дозированно увеличивали вертикальный размер межтелового промежутка на заданную величину. В зависимости от протяженности ятрогенного дефекта в телах шейных позвонков и межтеловых промежутках моделировали заданной величины ВЦСИ. Убедившись в соответствии ВЦСИ вертикальному размеру ятрогенного дефекта в телах шейных позвонков, с помощью импактора помещали последний в подготовленный межтеловой промежуток и устраняли дозированную сегментарную дистракцию позвонков, за счет чего достигали компрессии имплантата в межтеловом промежутке. Кроме того, после этого уменьшали разгибание ШОП за счет непрямых маневров. ПМС дополняли фиксацией межтеловой пластиной или конструкцией для заднего спондилодеза.

Оценку ортопедического и неврологического статуса больных выполняли с применением известных (ASIA/IMSOP, JOA) и разработанных методик [3]. У пациентов данной клинической группы имела место неврологическая симптоматика в виде шейной радикулопатии — в 7 (20%) случаях, радикуломиелопатии — в 5 (14,3%) случаях и миелопатии — в 14 (40%) случаях, особенности и динамику которой оценивали с помощью разработанной нами методики [3]. Эффективность проведенного лечения оценивали в соответствии с критериями Odom [1, 3]. Стабильность положения имплантатов и металлоконструкций исследовали рентгенологически по разработанным нами критериям [1]. Оценивали сагиттальный краниоцервикальный баланс (СКЦБ). Принято считать, что в норме центр массы головы проецируется на область медианного и дорсального квадрантов краниальной половины тела С VII. СКЦБ может считаться сохраненным, если проекция центра массы головы находится в пределах данных квадрантов, положительным — если в пределах вентральных квадрантов тела С VII, резко положительным — если проекция центра массы головы находится за пределами вентральной поверхности тела С VII, и отрицательным — если проекция центра массы головы находится за пределами дорсальной поверхности тела С VII. Оценивали общий шейный сагиттальный контур (ШСК) соответственно методике Gore и сегментарный ШСК по методике Cobb. ШСК может считаться сохраненным, если его кривизна составляет более 0–5° с углом, открытым дорсально, выпрямленным — 0°, а о кифотической деформации ШОП можно го-

ворить в том случае, если его кривизна составляет более 0–5° с углом, открытым вентрально. При отсутствии тяжелой неврологической симптоматики перевод больных в вертикальное положение осуществляли на 1–2-е сутки после операции. При наличии миелопатии вышеописанная методика спондилодеза позволяла осуществить комплекс реабилитационных мероприятий в полном объеме.

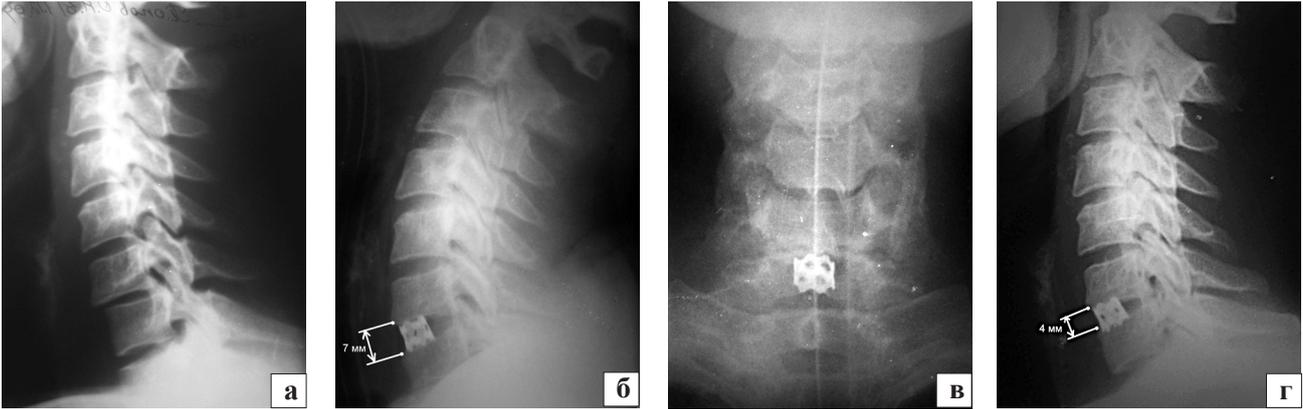
### Результаты и их обсуждение

У 31 (88,6%) пациента в послеоперационном периоде отмечали регресс неврологической симптоматики и улучшение состояния (I по Odom — у 21 пациента, II — у 7 и III — у 3), у 4 больных положительную динамику в клинической симптоматике не отмечали, что соответствует IV градации по Odom.

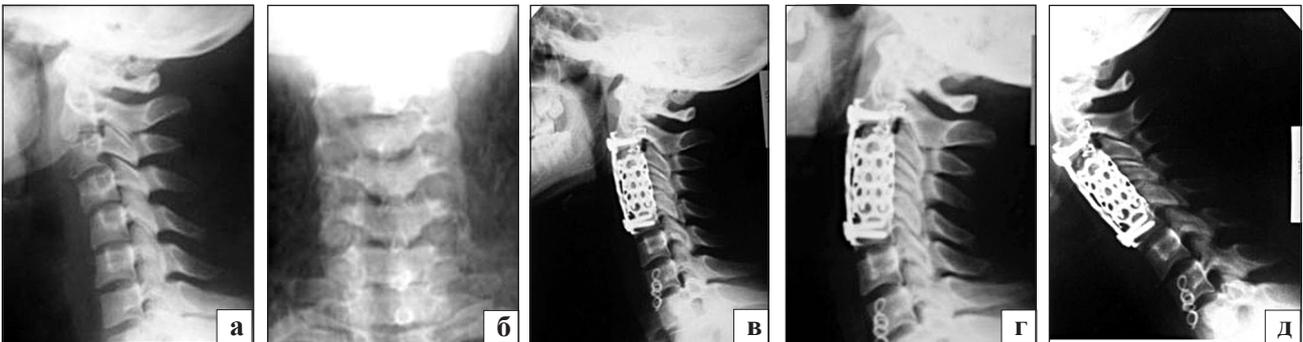
В данной клинической группе положительный СКЦБ в дооперационном периоде регистрировали у 3 (8,6%) пациентов, резко положительный — у 18 (51,4%) больных и отрицательный — у 3 (8,6%) пациентов. СКЦБ в пределах нормы отмечали у 11 (31,4%) больных. В позднем послеоперационном периоде СКЦБ в пределах нормы отмечали у 23 (65,7%) больных, положительный — у 9 (25,7%) больных и резко положительный — у 3 (8,6%) пациентов, т.е. в большинстве случаев отмечали коррекцию СКЦБ. До операции изменения сегментарного ШСК в виде его кифотической деформации имели место у 32 (91,4%) больных. Изменения общего ШСК в виде его выпрямления отмечали в 4 (11,4%) случаях и в виде его кифотической деформации — в 20 (57,1%) случаях. В отдаленном послеоперационном периоде у 17 (48,6%) больных отмечали восстановление сегментарного ШСК и у 9 (25,7%) — восстановление нормального общего ШСК.

Среди пациентов данной клинической группы после хирургического лечения с использованием ВЦСИ прослеживали взаимосвязь улучшения состояния и регресса неврологической симптоматики с нормализацией СКЦБ и реконструкцией сегментарного и общего ШСК. Восстановление СКЦБ в той или иной степени было достигнуто у 31 (88,6%) пациента. Реконструкции сегментарного и общего ШСК не удалось достичь у 10 (28,6%) больных с застарелыми посттравматическими деформациями ШОП на фоне имеющихся признаков сращения.

В 9 (25,7%) случаях, когда установку ВЦСИ проводили без дополнительной фиксации переднего или заднего опорного комплекса металлоконструкцией, отмечали частичное пролабирование ВЦСИ в тела смежных позвонков. Иллюстрация одного из клинических примеров представлена на рис. 2.



**Рис. 2.** Фотоотпечатки рентгенограмм больного П. с переломоподвывихом С VI до и после операции: а — в боковой проекции до операции; б, в — в боковой и переднезадней проекции на завершающем этапе операции; г — в боковой проекции через 3 мес после операции, снижение высоты межтелового промежутка 3 мм



**Рис. 3.** Фотоотпечатки рентгенограмм пациентки с опухолевым деструктивным поражением С III–С IV до и после хирургического лечения: а, б — рентгенограммы в прямой и боковой проекции до операции; в — рентгенограмма в боковой проекции через 1 год после операции, сагиттальный краниоцервикальный баланс в норме, сегментарный и общий шейный сагиттальный контур сохранены; г, д — рентгенограммы в боковой проекции при функциональной нагрузке через 1 год после операции, положение фиксирующих конструкций стабильное

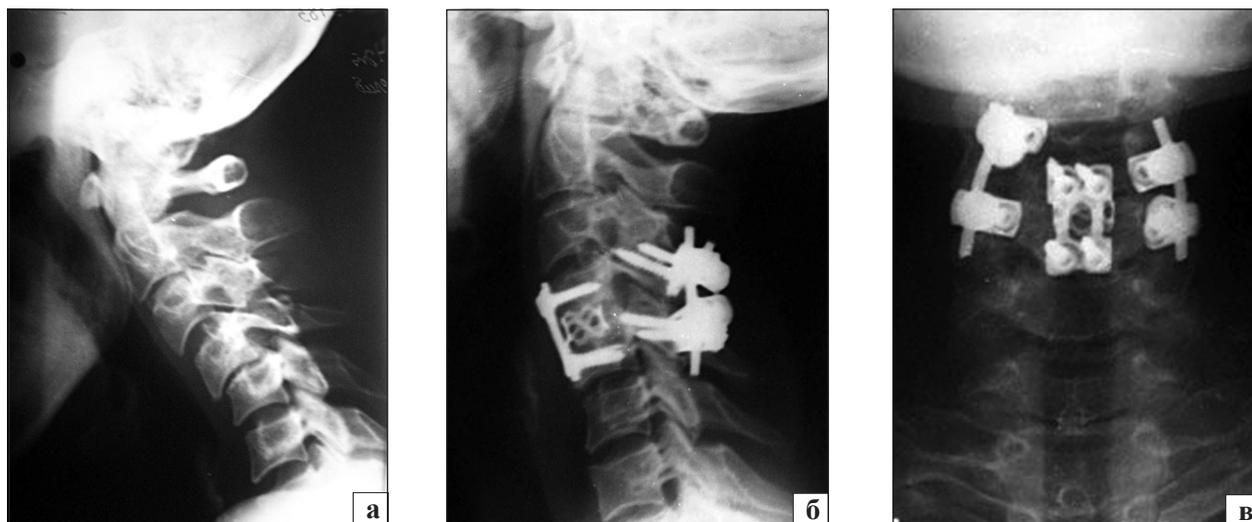
Максимальная вертикальная осевая дислокация имплантата не превышала 3 мм, при этом не оказав какого-либо отрицательного влияния на клиническую симптоматику. Это объясняется тем, что в данной подгруппе преобладали пациенты с выраженными артрозными и спондилозными изменениями, ограничивающими подвижность пораженных сегментов, или с застарелыми повреждениями, сопровождающимися начальными признаками формирования сращения. У 1 (2,9%) больного произошло парциальное выкручивание одного винта с его вентральной дислокацией в пределах 2 мм, что на конечный результат лечения не повлияло.

Каких-либо осложнений, связанных с техникой проведения винтов или с самими фиксирующими конструкциями, не отмечали ни в одном случае. У всех 35 (100%) больных данной клинической группы стабильность положения имплантатов и металлоконструкций соответствовала I градации (металлоконструкция стабильная при отсутствии признаков какой-либо поломки, рассоединения или миграции ее составных частей).

Клинические примеры применения ВЦСИ с дополнительной стабилизацией фиксирующими конструкциями представлены на рис. 3, 4.

ПМС с применением ВЦСИ получил заслуженное признание среди ортопедов-травматологов во всем мире. Только в США около 5000 тысяч таких устройств имплантируется ежегодно [22].

История применения полых цилиндрических клеток началась в Лас-Вегасе в 1977 г. Идея разработки и использования кейджей для межтелового спондилодеза принадлежит американскому нейрохирургу Bagby [9]. Работая совместно с ветеринарными докторами Grant и Wagner, он отметил, что хирургическое лечение цервикальной вертеброгенной миелопатии у серии чистопородных лошадей по методике Sloward приводило к недопустимо высокому уровню летальности. В связи с этим Bagby разработал новое устройство — первую межтеловую корзину из нержавеющей стали (Bagby basket) 30 мм длиной, с диаметром цилиндра 25 мм и двумя окнами в стенках для прорастания костной ткани, и имплантировал ее во время стандартной передней шейной декомпрессии. Дальнейшие наблюдения за



**Рис. 4.** Фотоотпечатки рентгенограмм пациентки с застарелым переломоподвывихом С IV до и после комбинированного переднезаднего спондилодеза: а — рентгенограмма в боковой проекции до операции; б, в — рентгенограммы в прямой и боковой проекции через 1 год после операции, сегментарный и общий шейный сагиттальный контур сохранен, положение фиксирующих конструкций стабильное

исследуемыми животными продемонстрировали регресс неврологической симптоматики; некоторые лошади не только прожили много лет, но даже выигрывали скачки.

С течением времени появились различные модификации вышеуказанного метода: внедрение в корзину стальных ниток, адаптирование кейджа для заднего поясничного межтелового спондилодеза, а в 1988 г. была изобретена двухкейджевая техника [14]. В настоящее время большой популярностью пользуются ВЦСИ (рис. 1 в, г) [2, 7, 10, 19], которые могут быть использованы для ПМС различной протяженности (от моносегментарного до мульти-сегментарного) и должны быть плотно заполнены, в классическом варианте, измельченными костными трансплантатами [14].

По мере приобретения практического опыта среди наиболее часто встречающихся осложнений, связанных с применением ВЦСИ, хирурги выделили такие, как пролабирование клеток в тела позвонков, несращение и миграция имплантатов [12, 13, 18]. С целью профилактики подобных осложнений были разработаны и внедрены в клиническую практику так называемые «внутренние кольца», соответствующие внутреннему диаметру клеток, специальным образом вставляющиеся в них перед имплантацией и способствующие снижению вертикальной нагрузки на костную ткань тел позвонков в области непосредственного контакта с ней металлического имплантата [15]. Это значительно увеличило массу металла, имплантируемого в биологические ткани, но не всегда служило надежным средством профилактики пролабирования имплантатов в тела позвонков.

В последующем одним из решений данной проблемы стала дополнительная межтеловая фиксация шейных позвонков пластинами. По данным различных авторов, сочетанное использование ВЦСИ, заполненных костными аутооттрансплантатами, и вентральных цервикальных пластин обеспечивает стабильную фиксацию оперируемого ПДС [11, 23]. В то же время имеются сообщения, что при данном способе ПМС могут встречаться такие осложнения, как миграция или поломка винтов, переломы пластин, частичное пролабирование ВЦСИ в тела позвонков и др. [16].

Одним из немаловажных факторов профилактики пролабирования ВЦСИ в тела смежных позвонков является максимально возможное сохранение механической прочности замыкательных пластинок. В то же время определенная часть замыкательной пластинки должна быть обязательно удалена для оптимизации процессов репаративной регенерации в области непосредственного контакта губчатой костной ткани тел позвонков с имплантируемой межтеловой опорой, что, в свою очередь, уменьшает механическую прочность замыкательных пластин тел позвонков. Кроме того, факторами риска для возникновения вышеописанных осложнений являются такие, как остеопения и остеопороз, несоответствие плотности костной ткани и материала имплантата, избыточная дистракция тел позвонков перед восстановлением межтеловой опоры, недостаточная механическая прочность имплантата и другие [17]. Наряду с этим одной из важных предпосылок для достижения сращения на уровне ПМС является тщательный подбор межтеловой опоры

соответствующего размера. В противном случае имплантат, не соответствующий в точности протяженности межтелового промежутка, может стать причиной потери фиксирующих свойств стабилизирующей конструкцией и нарастания деформации ШОП с последующим развитием тяжелой клинической симптоматики. Разработанная нами методика позволяет избежать таких осложнений.

## Заклучение

Хирургическое лечение заболеваний и повреждений шейного отдела позвоночника с применением вертикальных цилиндрических сетчатых имплантатов является эффективным методом восстановления несущей способности позвоночных двигательных сегментов независимо от протяженности переднего межтелового цервикоспондилодеза. Использование последних для восстановления межтеловой опоры без дополнительной фиксации переднего или заднего опорного комплекса шейных позвоночных сегментов во всех случаях сопровождается пролабированием в тела позвонков и их вертикальной осевой дислокацией различной степени в зависимости от характера патологических изменений шейного отдела позвоночника. При использовании вертикальных цилиндрических сетчатых имплантатов дополнительная вентральная фиксация цервикальной пластиной или задний спондилодез оперированных сегментов обеспечивает надежную их стабилизацию, которая позволяет в короткий срок мобилизовать больного и способствует формированию надежного сращения.

## Литература

- Барыш А.Е. Окципитоцервикоспондилодез в хирургическом лечении повреждений и заболеваний верхнешейного отдела позвоночника / А.Е. Барыш // Ортопед. травматол. — 2004. — № 4. — С. 40–47. — ISSN 0030-5987.
- Барыш А.Е. Обоснование новой технологии переднего межтелового цервикоспондилодеза с помощью гибридных металлокерамических фиксирующих устройств / А.Е. Барыш // Ортопед. травматол. — 2005. — № 2. — С. 15–21. — ISSN 0030-5987.
- Барыш А.Е. Современный подход к клинической оценке результатов хирургического лечения заболеваний и повреждений шейного отдела позвоночника в практике ортопеда-травматолога / А.Е. Барыш // Междунар. мед. журнал. — 2007. — № 2. — С. 75–81.
- Пат. 58900 А Украина, МПК<sup>7</sup> А 61 F 2/44. Эндопротез сегмента хребта / Корж М.О., Барыш О.С., Лук'яненко В.В., Макгоуан Д.П.; № 2002119196; заявл. 19.11.2002; опубл. 15.08.2003, Бюл. № 8.
- Корж Н.А. Нестабильность шейного отдела позвоночника: дисс. ... д-ра мед. наук: 14.01.21. / Корж Николай Алексеевич. — Х., 1985. — 433 с.
- Пат. 77910 (С2) Украина, МПК С 23 С 4/02. Спосіб детонаційного нанесення керамічного покриття на металеві виробі, переважно із титанових сплавів / Лук'яненко В.В., Власенко В.М.; заявник і патентовласник Товариство з обмеженою відповідальністю «Інмаїстерс». — № а200510623; заявл. 10.11.2005; опубл. 15.01.2007, Бюл. № 1.
- Хірургічне лікування перелома-вивихів в шийному відділі хребта з застосуванням кейджа та гідроксилапатитної кераміки / В.М. Шимон, М.М. Василиця, А.А. Мезів та ін. // Травма. — 2009. — Т. 10, № 3. — С. 339–342.
- Шотурсунов Ш.Ш. Передняя интеркорпоральная стабилизация шейного отдела позвоночника титановыми кейджами / Ш.Ш. Шотурсунов, Р.Р. Рафиков: материалы Междунар. конф., посвящ. 100-летию ГУ «Институт патологии позвоночника и суставов им. проф. М.И. Ситенко АМН Украины» [«Актуальные проблемы артрологии и вертебрологии»]; АМН Украины, МЗ Украины. — Харьков, 2007. — С. 118–120.
- Bagby G.W. Arthrodesis by the distraction-compression method using a stainless steel implant / G.W. Bagby // Orthopaedics. — 1988. — Vol. 11. — P. 931–934.
- Efficacy and safety of the use of titanium mesh cages and anterior cervical plates for interbody fusion after anterior cervical corpectomy / H.C. Chuang, D.Y. Cho, C.S. Chang et al. // Surg. Neurol. — 2006. — Vol. 65, № 5. — P. 464–471.
- Use of cylindrical titanium mesh and locking plates in anterior cervical fusion / K. Das, W.T. Couldwell, G. Sava, R.F. Taddonio // J. Neurosurg. (Spine 1). — 2001. — Vol. 94. — P. 174–177.
- Daubs M.D. Early failures following cervical corpectomy reconstruction with titanium mesh cages and anterior plating / M.D. Daubs // Spine. — 2005. — Vol. 30. — P. 1402–1406.
- Grob D. Titanium mesh cages (TMC) in spine surgery / D. Grob, S. Daehn, A.F. Mannion // Eur. Spine J. — 2005. — Vol. 14, № 3. — P. 211–221.
- Harms J. Instrumented spinal surgery; principles and technique / J. Harms, G. Tabasso. — Stuttgart-New York: Thieme, 1999. — 198 p.
- An experimental study on the interface strength between titanium mesh cage and vertebra in reference to vertebral bone mineral density / K. Hasegawa, M. Abe, T. Washio, T. Hara // Spine. — 2001. — Vol. 26, № 8. — P. 957–963.
- Pitfalls of anterior cervical fusion using titanium mesh and local autograft / M. Kanayama, T. Hashimoto, K. Shigenobu et al. // J. Spinal Disord. Tech. — 2003. — Vol. 16, № 6. — P. 513–518.
- Effect of endplate conditions and bone mineral density on the compressive strength of the graft-endplate interface in anterior cervical spine fusion / T.-H. Lim, H. Kwon, C.-H. Jeon et al. // Spine. — 2001. — Vol. 26, № 8. — P. 951–956.
- Complications and long-term follow-up results in titanium mesh cage reconstruction after cervical corpectomy / H. Nakase, Y.S. Park, H. Kimura et al. // J. Spinal Disord. Tech. — 2006. — Vol. 19, № 5. — P. 353–357.
- Narotam P.K. Titanium mesh cages for cervical spine stabilization after corpectomy: a clinical and radiological study / P.K. Narotam, S.M. Pauley, G.J. McGinn // J. Neurosurg. — 2003. — Vol. 99, Suppl. 2. — P. 172–180.
- Pat. 4,820,305 United States, Int. Cl.<sup>4</sup> A 61 F 2/28; A 61 F 2/44. Place holder, in particular for a vertebra body / Jurgen Harms, Lutz Biedermann; № 115,178; filed Oct. 30, 1987; public. Apr. 11, 1989.
- Pat. 6,585,770 B1 United States, Int. Cl.<sup>7</sup> A 61 F 2/44. Devices for supporting bony structures / John L. White, Eddie F. Ray, John Stewart Young; № 09/692,530; filed Oct. 19, 2000; public. Jul. 1, 2003.
- Cages: design and concepts / T. Steffen, A. Tsantrizos et al. // Euro Spine. — 2000. — Vol. 9, № 7. — P. 5089–5094.
- Thalgott J.S. Single stage anterior cervical reconstruction with titanium mesh cages, local bone graft, and anterior plating / J.S. Thalgott, C. Xiongsheng, J.M. Giuffre // Spine. — 2003. — Vol. 3, № 4. — P. 294–300.
- Expandable cage for cervical spine reconstruction / H.Y. Zhang, I. Thongtrangan, H. Le et al. // J. Korean Neurosurg. Soc. — 2005. — Vol. 38, № 6. — P. 435–441.