



# СТРУКТУРА ПОРИСТЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ НИКЕЛИДА ТИТАНА ПОСЛЕ ВЕНТРАЛЬНОГО СПОНДИЛОДЕЗА

В.П. Кельмаков<sup>1</sup>, В.И. Итин<sup>2</sup>, И.К. Раткин<sup>1</sup>, О.К. Лепакова<sup>2</sup>, Л.Л. Мейснер<sup>2</sup>, Н.У. Чабдаров<sup>3</sup>, В.Д. Китлер<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Новокузнецкий государственный институт усовершенствования врачей

<sup>2</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томский научный центр СО РАН

<sup>3</sup>Областная больница, Уральск, Казахстан

**Цель исследования.** Определение степени интеграции костной ткани в пористый имплантат и количественного содержания кальция и фосфора в имплантатах, извлеченных через 4,5 мес. и 1,5 года после установки.

**Материал и методы.** Изучена микроструктура препаратов из пористого никелида титана методом фазового контраста. Химический состав препаратов определяли методом микрорентгеноспектрального анализа.

**Результаты.** Через 1,5 года после установки имплантата из никелида титана органические ткани различной морфологии, плотности и толщины занимают 100 % площади анализируемой поверхности, заполняемость пор через 4,5 мес. — 60 %. Содержание элементов кальция и фосфора в поверхностных порах через 1,5 года близко к их концентрации в кости человека.

**Заключение.** Интеграция кости и пористого имплантата соответствует задачам использования пористых конструкций для замещения дефектов и артродезирования тел позвонков, уже через 4,5 мес. после имплантации выделить конструкцию из кости невозможно. В этой связи необходимо абсолютно точное выполнение метода хирургического вмешательства с использованием пористых имплантатов.

**Ключевые слова:** костная интеграция, пористый имплантат, никелид титана.

STRUCTURAL CHANGES IN POROUS NITI IMPLANT AFTER ANTERIOR FUSION

V.P. Kelmakov, V.I. Itin, I.K. Ratkin, O.K. Lepakova, L.L. Meisner, H.U. Chabdarov, V.D. Kitler

**Objective.** To define the rate of bone tissue integration with porous implant and quantity of calcium and phosphorus in implants extracted in 4.5 months and 1.5 years after insertion.

**Material and Methods.** Microstructure of specimens of porous titanium nickelide was examined by phase contrast. Chemical composition of specimens was determined by micro X-ray spectral analysis.

**Results.** In 1.5 years after implantation the organic tissues of various morphology, density and thickness occupied 100 % of analyzed area, and in 4.5 months 60 % of pores were filled with tissue. Calcium and phosphorus contents in surface pores were close to their natural concentrations in human bone in 1.5 years.

**Conclusion.** Bone — porous implant integration meets the tasks of porous device for bone defect replacement and spinal fusion. It is impossible to separate the implant from bone in 4.5 months after implantation. This demands strict adherence to surgical technique involving the use of porous implants.

**Key Words:** bone integration, porous implant, titanium nickelide.

Hir. Pozvonoc. 2010;(1):88–91.

Имплантаты из пористого никелида титана достаточно широко используются для замещения дефектов губчатых и трубчатых костей в артродезирующих операциях, прежде всего в хирургии позвоночника. Все конструкции из пористого никелида титана — однократного применения, срок

их эксплуатации не ограничен. Предполагается врастание костной ткани в открытые поры снаружи имплантата и формирование костной ткани во внутренних порах имплантата из клеточных структур, привнесенных кровью. Костная интеграция обеспечивает стабильное положение

имплантата и предотвращает его разрушение под воздействием функциональных нагрузок на протяжении жизни пациента [4].

Экспериментальные исследования для выявления сроков костной интеграции, степени заполняемости пор костью, количественного опреде-

В.П. Кельмаков, врач-нейрохирург; В.И. Итин, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотрудник; И.К. Раткин, д-р мед. наук, проф., проф. кафедры нейрохирургии; О.К. Лепакова, канд. техн. наук, науч. сотрудник; Л.Л. Мейснер, д-р физ.-мат. наук, вед. науч. сотрудник; Н.У. Чабдаров, канд. мед. наук, зав. отделением нейрохирургии; В.Д. Китлер, науч. сотрудник.

ления элементов минерального компонента кости выполнены на животных (грызунах, собаках, баранах) [2, 3].

Публикации по исследованию структуры пористых конструкций после имплантации в организм человека в литературе не встречали.

Цель исследования — определение степени интеграции костной ткани в пористый имплантат, количественного содержания кальция и фосфора в порах имплантатов на разных уровнях его объема в имплантатах, извлеченных через 4,5 мес. и 1,5 года после установки.

### Материал и методы

Пациенту К., 36 лет, с истмическим спондилолистезом II степени, выполнен межтеловой спондилодез пористым винтовым имплантатом из никелида титана на уровне L<sub>5</sub>–S<sub>1</sub> (рис. 1). Через некоторое время пациент поступил в нейрохирургическое отделение с тяжелой черепно-мозговой травмой. После смерти больного извлечен костный блок с пористым имплантатом. Конструкция была полностью вмурована в костную ткань, выделить ее не представлялось возможным. Костный блок помещен в 7 % раствор нейтрального формалина.

Пациент П., 51 года, госпитализирован в отделение нейрохирургии с жалобами на боли в верхних конечностях и клиникой неврологических расстройств, обусловленной сдавлением спинного мозга пористым имплантатом. Установлено, что вентральный полисегментарный спондилодез на уровне С<sub>4</sub>–С<sub>6</sub> пациенту был выполнен с грубыми ошибками (рис. 2). С целью устранения сдавления спинного мозга имплантат удален. После безрезультатных попыток выделить имплантат конструкция фрагментирована с использованием корончатых фрез, костных щипцов и конхотомов. Фрагменты имплантата, выделенные из поверхностных и глубоких слоев, помещены в разные флаконы с 7 % раствором формалина.

Микроструктура препаратов, взятых у названных пациентов, исследована с помощью оптического микроскопа «Axiovert-200M».

Препараты высушивали в течение 48 ч в сухожаровом шкафу при температуре 50 °С, затем заливали эпоксидной смолой. Шлифовку поверхности выполняли с помощью алмазных паст зернистостью 60/40 до 3/2 мкм, наносимых на бумагу. Окончательную полировку осуществляли алмазной пастой 1/0,5 мкм, нанесенной на шелковую ткань.

При изучении микроструктуры препаратов использовали метод фазового контраста в оптической микроскопии высокого разрешения в сравнении фазоконтрастного, полученного методом оптического дифференциально-интерференционного контраста, и светопольного изображений.

В результате разности хода когерентных поляризованных лучей света при отражении от поверхности разной плотности выявляются структурные особенности тканей, включенных в поры никелида титана.

Химический состав препаратов определяли методом микрорентгеноспектрального анализа при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе пучка 10<sup>-8</sup> А. Локальность анализа примерно 3 мкм<sup>3</sup>. На токонепроводящие образцы предварительно наносили электропроводящее покрытие (золото). Содержание элементов в исследуемых фазах определяли путем пересчета относительных интенсивностей характеристических линий в образце и эталоне посредством стандартной программы, использующей метод коррекции ZAF.

### Результаты и обсуждение

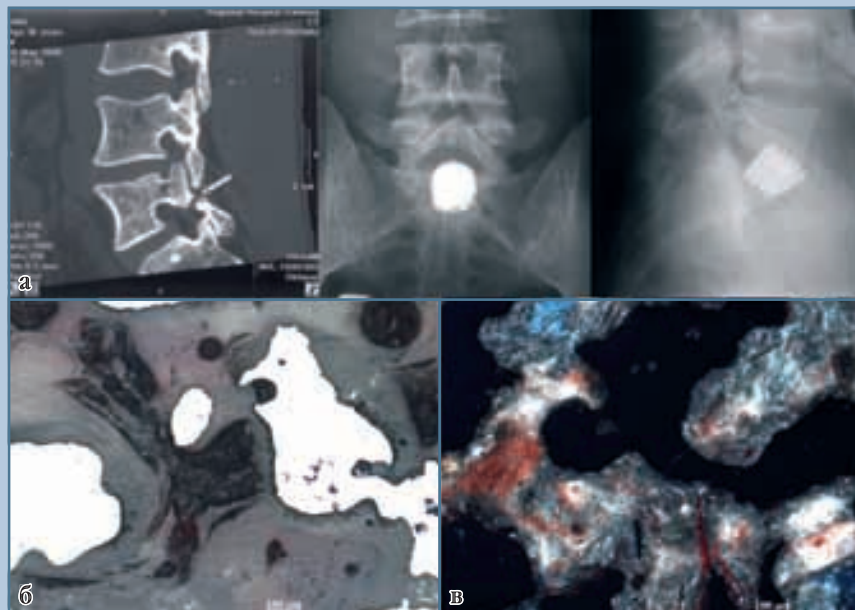
Через 1,5 года после межтелового спондилодеза в близких к поверхности конструкции порах определяется оптически плотная ткань, отражающая структуру неактивной минеральной фазы кости. В светопольном изображении оптическая плотность в срединном участке поры снижается, создавая картину трабекулярной сети костной ткани с чередованием полос с различной оптической плотностью.

Непосредственно к поверхности металла прилежит тонкая каемка ткани с неравномерной толщиной и зернистой структурой (рис. 1).

Более точную картину разнородной структуры ткани во внутренних порах имплантата позволяет получить метод дифференциально-интерференционного контраста, основанный на усилении рассеянного когерентного оптического излучения разной длины волны и обеспечивающий появление изображений от плотных и полупрозрачных органических тканей на металлической подложке. Цветная картина изображения позволяет выявить по периферии поры морфологию минерального комплекса, состоящую из зерен размерами менее 1 мкм. Органические ткани различной морфологии, плотности и толщины занимают 100 % площади анализируемой поверхности, что косвенно свидетельствует о высокой интеграции имплантата с биотканью.

Заполняемость пор снаружи и внутри конструкции через 1,5 года после имплантации полная. Костная интеграция значительно увеличивает прочность пористого имплантата на излом [1]: 9 300 Н (у аналогичной пористой конструкции 2 500 Н), однако существенно меньше прочности кости поясничных позвонков (13 000 Н). В связи с нехваткой материала прочность имплантата к ротирующим нагрузкам не определяли.

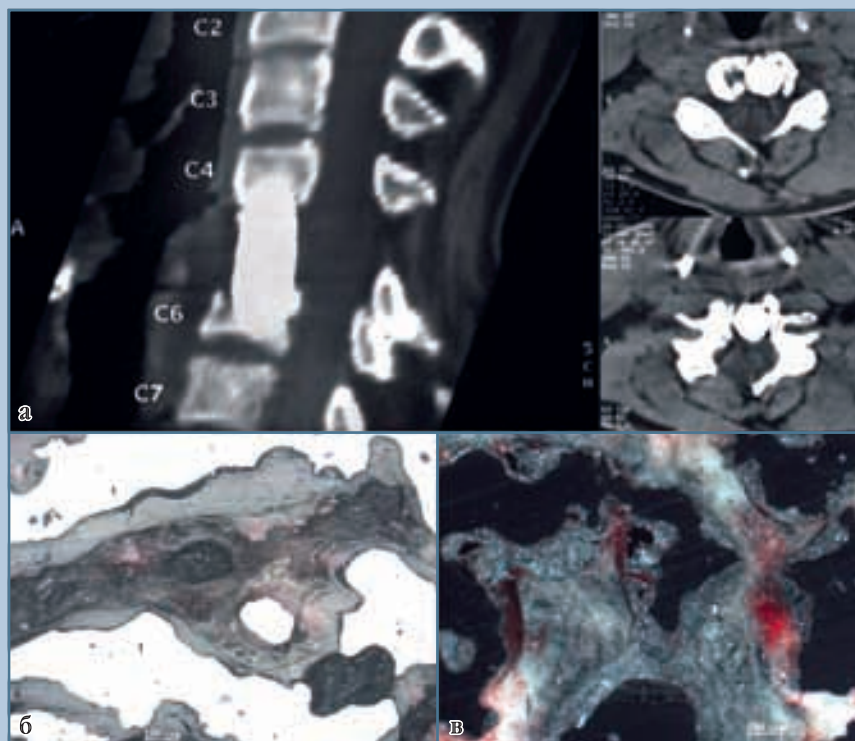
При исследовании фрагментов пористой конструкции через 4,5 мес. после имплантации на глубине 2–3 мм заполняемость пор 100 %. Светлые области на оптических светопольных изображениях соответствуют обнаженной металлической поверхности. Непосредственно к металлической поверхности прилежит тонкая протеиноподобная ткань, переходящая в слой более плотной по структуре ткани. В центре поры слоистые структуры различной плотности, включающие концентрические образования, соответствующие остеоону. Все типы тканей располагаются внутри поры в закономерной последовательности, причем приграничные области между

**Рис. 1**

КТ, рентгенограммы и микропрепараты пациента К, 36 лет, с истмическим спондилолистезом II степени:

**а** – до и после межтелового спондилодеза;  
**б** – через 1,5 года: в порах поверхностных слоев имплантата находится минерализованная ткань;

**в** – в глубоких порах имплантата степень минерализации снижена

**Рис. 2**

КТ и микропрепараты пациента П., 51 года, после вентрального полисегментарного спондилодеза на уровне C<sub>4</sub>-C<sub>6</sub>:

**а** – частичное выпадение пористого имплантата в спинно-мозговой канал;  
**б** – структура тканей в прилежащих к кости порах имплантата;

**в** – структура тканей в глубоких слоях

ними сложного рельефа с внедрением в более глубокие слои.

Объем минерального матрикса в три раза меньше объема органического матрикса, и его количество значительно убывает в глубоких порах, заполняемость которых составляет 60 % от анализируемой поверхности (рис. 2).

Количественное содержание элементов кальция и фосфора соответствует результатам оптического исследования (табл.). Соотношение элементов кальция и фосфора во всех пробах 2:1. Во всех пробах из поверхностных пор конструкции, извлеченной через 4,5 мес. после имплантации, количество кальция и фосфора меньше

нормы более чем в три раза. Количество этих элементов в поверхностных порах через 1,5 года после установки имплантата увеличивается практически до нормальных величин [5]. Однако в глубоких порах количество элементов кальция и фосфора меньше в два раза по сравнению с аналогичными показателями из поверхностных пор.

Таблица

Содержание кальция и фосфора в поверхностных и глубоких слоях пористых имплантатов после переднего межтелового спондилодеза, атомные проценты ( $M \pm m$ )

Локализация взятия пробы	Через 4,5 мес.		Через 1,5 года	
	Ca	P	Ca	P
Поверхностные слои имплантата	270,000 ± 2,845	150,000 ± 1,269	994,000 ± 1,164	443,000 ± 1,433
Глубокие слои имплантата	193,000 ± 2,845	92,000 ± 1,379	436,000 ± 3,711	185,000 ± 3,485

## Заключение

Через 4,5 мес. после имплантации конструкции из пористого никелида титана наблюдается 100 % интеграция кости в поверхностные поры, что обеспечивает стабилизацию имплантата в костной ткани тела позвонка и не позволяет сво-

бодно выделить имплантат из окружающих тканей. Интеграция костной ткани в пористых имплантатах через 1,5 года после межтелового спондилодеза повышает его прочность в четыре раза.

Интеграция кости и пористого имплантата соответствует задачам использования пористых конструк-

ций для замещения дефектов и артродезирования тел позвонков. Однако через 4,5 мес. после имплантации выделить конструкцию из кости невозможно. В этой связи необходимо абсолютно точное выполнение метода хирургического вмешательства с использованием пористых имплантатов.

## Литература

1. **Крючков В.Н.** Механика и морфология переломов. М., 1986.
2. **Ликиби Ф., Шарретт С., Ассад М. и др.** Гистологическое и гистоморфометрическое исследование костной интеграции пористого NiTi, используемого в качестве имплантата для межтелового спондилодеза // Хирургия позвоночника. 2004. № 1. С. 121–127.
3. **Мейснер Л.Л.** Механические и физико-химические свойства сплавов на основе никелида титана

с тонкими поверхностными слоями, модифицированными потоками заряженных частиц: Автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук. Томск, 2004.

4. **Пахомов И.А., Рерих В.В., Борзых К.О. и др.** Диагностика и лечение сочетанных повреждений позвоночника и стоп // Хирургия позвоночника. 2008. № 1. С. 8–13.
5. **Торбенко В.П., Касавина Б.С.** Функциональная биохимия костной ткани. М., 1977.

### Адрес для переписки:

Кельмаков Владимир Павлович  
654034, Новокузнецк, ул. Шестакова, 14,  
Новокузнецкий государственный  
институт усовершенствования врачей,  
lotos200@mail.ru

Статья поступила в редакцию 20.02.2009