

БИОЛОГИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МЕДИЦИНА

УДК 615.465:546.821].03.015.4.076.9

ИЗУЧЕНИЕ РЕПАРАТИВНЫХ СВОЙСТВ ЯЧЕИСТЫХ СТРУКТУР ИЗ ТИТАНА В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

В.П. Василюк, Г.И. Штраубе, В.А. Четвертных*

Пермский государственный медицинский университет им. академика Е.А. Вагнера, Россия

EXPERIMENTAL STUDY OF REPARATIVE PROPERTIES OF TITANIUM CELLULAR STRUCTURES

V.P. Vasilyuk, G.I. Shtraube, V.A. Chetvertnykh

Academician Ye.A. Vagner Perm State Medical University, Russian Federation

Цель. С помощью металлографии определить архитектонику ячеистых имплантатов, изготовленных методом стерилитографии. В условиях эксперимента сравнить структуру различных материалов и их степень фиксации в кости (ячистого титана, «Углекона-М» и пористого титана).

Материалы и методы. В работе представлены результаты моделирования, изготовления имплантатов из ячеистых структур (ячейка Вигнера – Зейтца). При моделировании применены трехмерные системы, а при изготовлении – технология стереолитографии. Приведены результаты исследования ячеистых имплантатов из титана с помощью универсального металлографического микроскопа «Альтами МЕТ-5Д» при увеличении от 50х до 200х.

Результаты. Было выявлено, что поверхность перегородок не гладкая, а бугристая за счет микроскопических углублений и выпячивания металла. На шлифе четко прослеживаются микроканалы, хаотично расположенные, одни из них являются сквозными, другие слепо заканчиваются. В микроканале перемычки имплантата обнаружена проросшая соединительная ткань, заполняющая все его пространство, по плотности не уступающая соединительной ткани, расположенной в самих ячейках. Установлено, что IV степень фиксации ячеистых имплантатов определена у 55,6 % животных, из пористого «Углекона-М» – у 28,6 %, из пористого титана – у 41,6 %, что указывает на высокие репаративные свойства ячеистых конструкций.

Выводы. Перемычки, образующие ячейки имплантатов, по строению имеют структуру пористого титана, обладающую репаративными свойствами. IV степень фиксации ячеистых имплантатов определена у 55,6 % животных, т.е. можно говорить о высоких репаративных свойствах ячеистых конструкций.

Ключевые слова. Ячеистые имплантаты из титана, стерилитография, металлография, трехмерные системы, микроканалы, репаративные свойства.

© Василюк В.П., Штраубе Г.И., Четвертных В.А., 2017

тел. +7 (342) 244 95 05

e-mail: vasilyuk.vladimir53@mail.ru

[Василюк В.П. (*контактное лицо) – кандидат медицинских наук, доцент кафедры хирургической стоматологии и челюстно-лицевой хирургии; Штраубе Г.И. – доктор медицинских наук, доцент, заведующая кафедрой хирургической стоматологии и челюстно-лицевой хирургии; Четвертных В.А. – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой гистологии, эмбриологии и цитологии].

Aim. To determine by means of metallography the architectonics of cellular implants, produced with the method of stereolithography; to compare the structure of different materials and the degree of their fixation to the bone in (cellular titanium, Uglecon-M and porous titanium) experimental conditions.

Materials and methods. The results of modeling and production of implants based on cellular structures (Wigner-Seitz cell) are presented in the paper. Three-dimensional systems were used for modeling, stereolithographic technology – for production. The results of studying cellular implants from titanium using the universal metallographic microscope Altami MET-5D with enlargement from 50X to 200X are indicated.

Results. It was revealed that the surface of cellular dams is not smooth, but uneven at the expense of microscopic deepenings and protrusion of metal. There are microtubules, clearly seen on the section, which are chaotically located; some of them are through, the others are blindly closed. In the implant dam microtubule, there is a grown connective tissue, filling all its space, which does not yield by its density to the connective tissue in the cells. It was established that the degree IV fixation of cellular implants was registered in 55,6 % of animals, porous Uglecon-M implants – in 28,6 %, porous titanium implants – in 41,6 %, that proves high reparative properties of cellular constructions.

Conclusions. Dams, forming the cells of implants, have the structure of porous titanium, which possesses reparative properties. The degree IV cellular implant fixation was determined in 55,6 % of animals that indicates high reparative properties of cellular constructions.

Key words. Cellular titanium implants, stereolithography, metallography, three-dimensional system, microtubules, reparative properties.

ВВЕДЕНИЕ

Методы замещения костных дефектов челюстей с использованием различных видов имплантатов на протяжении последних 20 лет получили широкое распространение. Научному обоснованию их применения, поиску дальнейших путей совершенствования посвящены многочисленные экспериментальные и клинические исследования отечественных и зарубежных авторов [1, 3, 4]. Несмотря на достигнутый прогресс в технологии изготовления пористых имплантатов и их покрытия, остаются вопросы, требующие решения: разработка оптимального объема имплантата, соответствующего анатомическому строению кости челюсти, определение размера его пор, в которые будут вращаться те или иные структуры кости, реакция тканей организма на имплантат и др. [5, 6]. Одним из наиважнейших свойств имплантатов является то, чтобы их поверхность, помимо остеокондуктивности, способствовала бы процессу остеогенеза в них. Применение ячеистых имплантатов из металла, обладающих меньшей жесткостью, по сравнению с монолитными,

может позволить приблизиться к решению проблемы биомеханического соответствия между имплантатом и структурой костной ткани. Однако этот вопрос требует детальной проработки. На наш взгляд, таким биомеханическим соответствием обладает ячеистая структура Вигнера – Зейтца, которую можно создать только с помощью инновационных технологий путем вспенивания расплава материала газами при суспензионном дублировании полимерной матрицы [7, 8].

Цель исследования – с помощью металлогрaфии определить архитеконику ячеистых имплантатов, изготовленных методом стерилитографии. В условиях эксперимента сравнить структуру различных материалов и их степень фиксации в кости (ячеистого титана, «Углекона-М» и пористого титана).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились на базе Пермского национального исследовательского политехнического университета и центральной научно-исследовательской лабора-

тории Пермского государственного медицинского университета имени академика Е.А. Вагнера. Размеры модели будущих имплантатов составляли 6×10×8 мм, размеры элементарных ячеек Вигнера – Зейтца – 250; 550; 850 мкм и до 2 мм, толщина перемычек – 0,05 мм. Модель рассекалась на слои в программном пакете Magics; создавался файл модели и поддержек формата STL. Для изготовления имплантата использовали технологию стереолитографии (Stereolithography-SLA): газовый (CO₂) лазер мощностью 200 Вт [2]. Выращивание металлических образцов проводилось на установке для селективного лазерного спекания Realizer SLM 50.

С целью изучения ячеистой структуры имплантатов, а также микроскопической картины самого металла были проведены исследования на «Альтами МЕТ-5Д» – универсальном металлографическом микроскопе, применяемом для работы в отраженном свете и позволяющем использовать методы светового поля, темного поля поляризации, дифференциально-интерференционного контраста, а также для изучения прозрачных и полупрозрачных объектов в проходящем свете. Нами исследованы объекты при увеличении 50х; 100х; 200х.

Перед тем как изделие поместить в световой микроскоп, проводили запрессовку образцов с целью дальнейшего получения шлифов на заливочном прессе LECO PR4X и обрабатывали концентрированной плавиковой кислотой. В качестве материала для запрессовки использовали бакелит. Вначале исследованию подверглись имплантаты с ячейками 250 мкм, а затем 550 и 850 мкм при увеличении от 50х, 100х до 200х, которые не содержали какую-либо ткань. В последующем изделия, удаленные из челюсти беспородных крыс, изучали в отраженном

свете. Была дана сравнительная характеристика титановых структур, образующих ячейки имплантатов, с имплантатами из «Углекона-М» и пористого титана, полученных методом металлографии.

Изучены препараты в световом микроскопе при увеличении 100х и 200х. В течение 9 месяцев экспериментального исследования получены сравнительные данные IV степени фиксации имплантатов, основу которых составляли ячейки Вигнера – Зейтца, а также имплантатов из пористого «Углекона-М» и пористого титана.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При увеличении в 50х выявлена структура (ячейка Вигнера – Зейтца) в виде полового шара, геометрически правильной формы, состоящей из множества перемычек, которые жестко соединены между собой. Перемычки, образующие в конечном счете тетракадайттер, имеют шероховато-пористую поверхность за счет наличия многочисленных углублений, вздутый металл в виде мелкопузырчатых образований. Размеры их варьируются от микроскопических до более крупных, и распространены они как с внутренних, так и с внешних сторон перемычек (рис. 1).

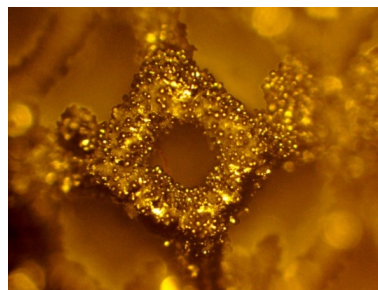


Рис. 1. Вид перемычек ячеистого имплантата. Увеличение 50х

При исследовании ячеистых имплантатов в отраженном свете при увеличении 100х видна структура, состоящая как бы из отдельных полусфер, образовавшихся в результате вспенивания порошкового металла. Поверхность металла исчерчена глубокими бороздами и провалами. В глубине также прослеживается неровная поверхность перемычек, образующих ячейки.

На шлифе при увеличении в 100х в металле перемычек, образующих ячейки, видны мелкие пустоты, размер которых составлял от 10 до 25 мкм, а также прослеживаются микроканалы диаметром от 5 до 10 мкм, пронизывающие толщу металла или слепо заканчивающиеся. В некоторых участках данные пустоты открываются как на внешних, так и на внутренних поверхностях перемычек. Края сошлифованных металлических перемычек неровные как внутри ячейки, так и с внешней стороны.

В отраженном свете при увеличении в 200х в структуре металла выявлено большое количество пустот до 25 мкм величиной, соединенных микроотверстиями, расположенных хаотично, соединяющих данные металлические полости и открывающихся наружу; некоторые из них пронизывают всю толщу металла.

При исследовании препаратов в световом микроскопе установлено: в имплантатах с ячейками 250 мкм вросшие тканевые структуры были плотными и однородными, но лишь в области наружных ячеек имплантата, а далее становились рыхлыми и в центре практически отсутствовали. В имплантатах с ячейками 550 мкм проросшие ткани были плотными и однородными, проникая на 2/3 ячеистой структуры имплантата, и лишь в центральных ячейках – рыхлыми и неоднородными. Имплантат с ячейками 850 мкм был

полностью заполнен однородными тканевыми структурами, пронизывающими всю структуру имплантата, прилегающими плотно к металлу. Проведенные исследования шлифов ячеистых имплантатов показали, что тканевые структуры плотно соединены с поверхностью перемычек изделия, проникают в многочисленные полости и мелкие пустоты (1), расположенные на их поверхности. Более того, в микроканале перемычки имплантата видна проросшая плотная соединительная ткань, заполняющая все его пространство (2), не уступающая по характеристикам соединительной ткани, расположенной в самих ячейках (рис. 2).

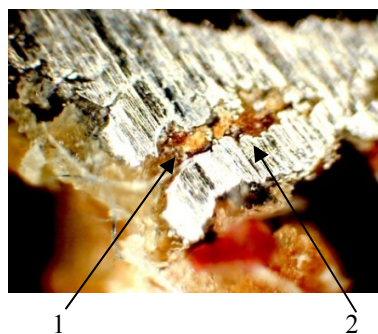


Рис. 2. Проросшая соединительная ткань в микроканале перемычки имплантата (2), плотно соединенная с поверхностью перемычек изделия (1)

Выявлено, что структура перемычек титановых образцов, которые получены методом стерилитографии, характеризуется высокой полиморфностью, связанной с микро- и макропорами. Размер их варьируется от 5 до 50 мкм и составляет 15–30 %. Рельеф поверхности самих перемычек характеризуется впадинами и пустотами, количество которых достигает 8 % (рис. 3).

Известно что, структура имплантатов из «Углекона-М» является более плотной и более однородной с отсутствием какой-либо

зернистости. Размер пор – от 0,3 до 0,9 мм. Структура титановых имплантатов характеризуется также высокой полиморфностью за счет микро- и макропористости. Размер микро- и макропор составляет от нескольких микронов до 0,05 мм. Рельеф поверхности имеет большое количество впадин, образующих пустоты; количество их достигает 8–10 %. При напылении оксида титана рельеф сглаживается, становится плотным, пористость этих образцов становится менее 2–3 %. По окончании эксперимента (через 9 месяцев) IV степень фиксации ячеистых имплантатов определена у 55,6 % животных. В те же сроки IV степень фиксации имплантатов из пористого «Углекона-М» выявлена у 28,6 % животных; имплантатов из пористого титана – у 41,6 % (рис. 4).

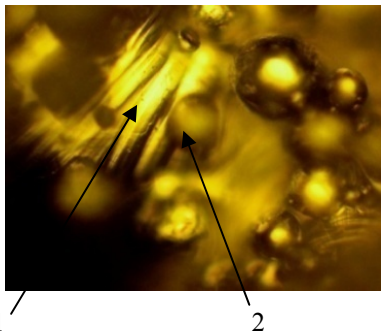


Рис. 3. Большое количество микро- и макропор (1), впадин и пустот (2)

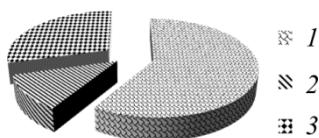


Рис. 4. Сравнительная характеристика степени фиксации ячеистого титана (1), «Углекона-М» (2) и пористого титана (3)

Выводы

В результате проведенного исследования получены следующие данные:

1. При увеличении в 50х поверхность перемычек, образующих ячейки имплантата, шероховатая, что увеличивает площадь соприкосновения растущей ткани с металлом.

2. При увеличении в 100х и особенно в 200х рельеф поверхности с большим количеством впадин, образующих пустоты, которые занимают до 8 %.

3. При увеличении в 200х в структуре сошлифованного металла выявлено большое количество пустот до 25 мкм, соединенных микроотверстиями, расположенных хаотично, соединяющих данные металлические полости и открывающихся наружу, некоторые пронизывают всю толщу металла.

4. Перемычки, образующие ячейки имплантатов, по строению имеют структуру пористого титана, обладающую репаративными свойствами.

5. IV степень фиксации ячеистых имплантатов определена у 55,6 % животных, имплантатов из пористого «Углекона-М» – у 28,6 %; из пористого титана – у 41,6%, что указывает на высокие репаративные свойства ячеистых конструкций.

Библиографический список

1. Иванов П.Ю., Журавлев В.П. Сравнительная характеристика показателей репаративного остеогенеза при пластике альвеолярных отростков челюстей. Актуальные вопросы челюстно-лицевой хирургии и стоматологии: материалы 1-й междунар. науч.-практ. конф. СПб. 2011.

2. Кислых Ф.И., Рогожников Г.И., Асташина Н.Б. Лечение больных с дефектами челюстных костей. М. 2006; 193.

3. Кузнецова Д.С., Тимашев П.С., Багратавили В.Н., Загайнова Е.В. Костные имплантаты на основе скаффолдов и кле-

точных систем в тканевой инженерии (обзор). Современные технологии в медицине 2014; 6 (4); 201–212.

4. Назарян Д.Н., Караян А.С., Сентюк А.Н. Вертикальная 3d-аугментация верхней и нижней челюстей для подготовки к дентальной имплантации. Анналы пластической, реконструктивной и эстетической хирургии 2012; 3: 10–19.

5. Патлатая Н.Н., Зыкова Л.Д., Котиков А.Р. Оценка репаративного остеогенеза на введение нового остеопластического материала «Бол-хитал» в эксперименте у крыс. Сибирский стоматологический форум: тр. всерос. стоматологич. конф. Красноярск 2012; 95–98.

6. Сысолятин П.Г., Гюнтер В.Э., Сысолятин С.П. Медицинские материалы и имплантаты с памятью формы. Имплантаты с памятью формы в челюстно-лицевой хирургии. Томск: МИЦ 2012; 4: 384.

7. Haurinson R.T. DDS, MS, FACP Implant reconstruct of a Nonossifuiuq fibroma. J Prosthodont 2011; 6: 520–522.

8. Mazzoli A. Selective laser sintering in biomedical engineering. Medical&Biological Engineering&Computing 2013; 51 (3): 245–256, available at: [http:// dx.doi.org/10.1007/s11517-012-1001-x](http://dx.doi.org/10.1007/s11517-012-1001-x).

Материал поступил в редакцию 14.04.2017