

УДК 617.559-089.163:681.3

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЯСНИЧНЫХ ПОЗВОНКОВ
В ПРЕДОПЕРАЦИОННОМ ПЕРИОДЕ****М. В. Олизарович****Гомельский государственный медицинский университет**

Хирургическое лечение неопухолевых компрессионных поясничных радикулопатий требует предоперационного планирования для достижения необходимых результатов.

Современные методы планирования объема и хода оперативного вмешательства включают компьютерное моделирование зоны хирургического вмешательства.

Проведено 3D-моделирование поясничных позвонков для виртуального планирования в предоперационном периоде.

Ключевые слова: поясничный позвонок, компьютерное моделирование.

**COMPUTER MODELING OF THE LUMBAR VERTEBRAE
IN THE PREOPERATIVE PERIOD****M. V. Olizarovich****Gomel State Medical University**

Surgical treatment of non-tumor compressive lumbar radiculopathy requires preoperative planning in order to achieve the necessary results.

Modern methods of planning and course of surgery include computer modeling of the area of the surgical intervention.

The 3D-modeling of the lumbar spine was performed for the virtual planning in the preoperative period.

Key words: lumbar vertebra, computer simulation.

Введение

Болевой синдром в поясничном отделе позвоночника, в том числе и с иррадиацией в нижнюю конечность — наиболее частая причина ограничения физической активности пациентов моложе 45 лет, занимающая третье место по частоте обращений за медицинской помощью после простудных заболеваний и малых травм [5, 7]. Он также является одной из причин временной утраты трудоспособности и нередко инвалидизации пациента [4, 5].

Основным этиологическим фактором поясничных болей вертеброгенного характера является остеохондроз пояснично-крестцового отдела позвоночника, нередко сочетающийся со вторичным спондилоартрозом и деформирующим спондилезом [6].

При сформированной грыже межпозвоночного диска, компримирующей корешок или спинной мозг, основным методом лечения является хирургическое удаление фрагментов выпавшего пульпозного ядра.

Современные методы компьютерного 3D-моделирования позволяют создавать модели различных анатомических областей позвоночника [1, 2, 3, 8]. Визуальное планирование хирургических вмешательств по таким моделям безопасно для пациента и позволяет хирургу более реалистично и точно представлять зону оперативного вмешательства [1].

Таким образом, создание компьютерной 3D-модели поясничного отдела позвоночника и ее применение для планирования хирургического вмешательства способствует успешному проведению операции и, соответственно, улучшает результаты лечения.

Цель и методы исследования

Целью настоящего исследования было создание компьютерной 3D-модели нижнепоясничного отдела позвоночника для предоперационного анализа при грыжах поясничных межпозвоночных дисков.

Методика исследования включала создание 3D-модели в программе 3DS MAX 9 и анализ компьютерно-томографических заключений оперированных пациентов.

Объектом исследования стали случаи хирургического лечения пациентов с дискогенными поясничными радикулопатиями.

Изучены карты стационарного больного и протоколы томографических исследований пациентов, лечившихся в нейрохирургическом отделении учреждения «Гомельская областная клиническая больница» в 2011 г.

Проанализированы следующие показатели: поло-возрастная структура пациентов, размеры составляющих позвоночно-двигательного сегмента на уровне планируемой операции, а также данные рентгеновской компьютерной и магнитно-резонансной томографии.

Результаты и обсуждение

Способ построения модели поясничного отдела позвоночника

При изготовлении образца был применен метод компьютерного полигонального моделирования, в процессе которого использованы основные функции и инструменты 3DS MAX9. Модель построена на основе простых примитивов (параллелепипед).

Моделирование выполнялось с использованием двухмерных изображений поясничного позвонка в боковой и аксиальной проекции. Для этого вначале были созданы две перпендикулярные друг другу плоскости, на которые наносились изображения поясничного позвонка с соответствующими размерами.

Во время моделирования использовались такие операции, как выделение, перемещение, удаление, масштабирование, поворот, выравнивание, зеркальное отображение, копирование.

В процессе создания 3D-модели использованы три модификатора: EditPoly, который обеспечил произвольную деформацию поверхностей простых и сложных примитивов; Mesh Smooth, позволяющий выполнять сглаживание поверхностей, и Symmetry, с помощью которого создавались симметричные предметы.

Модель тела позвонка разработана на основе примитива «параллелепипед». При этом, ориентируясь на проекционные изображения, ему были приданы соответствующие размеры, после чего с помощью операции «удаление» была убрана половина параллелепипеда в сагиттальной плоскости.

На следующем этапе был задействован модификатор EditPoly, позволяющий изменять взаиморасположение вершин полигонов и, как следствие, придавать ранее выполненному каркасу примитива форму, соответствующую телу позвонка.

Так как в процессе моделирования проекционное изображение тела позвонка во фронтальной проекции не использовалось, при моделировании боковых сторон параллелепипеда была выполнена операция «масштабирование» для того, чтобы все стороны примитива изменялись в одинаковой степени. При этом для приведения в соответствие контуров тела позвонка и границ рисунка использовалась операция «перемещение».

Верхняя и нижняя стороны виртуального объекта модифицировались одновременно с помощью операций «масштабирование» и «перемещение». Также этим плоскостям придана вогнутость формы путем перемещения полигонов по оси «Z». Затем к измененной половине параллелепипеда был применен модификатор Symmetry, после чего получилась предварительная (с грубыми формами) модель будущего тела позвонка, которую модифицировали с помощью Mesh Smooth, придав модели обтекаемость.

На следующем этапе работы у модели тела позвонка был изменен цвет на темно-бежевый для придания большей схожести с костными тканями.

Особенностью моделирования тела позвонка было то, что параллелепипед для уменьшения числа программных операций делился пополам. Все остальные элементы модели создавались на основе цельного примитива «параллелепипед» по такому же принципу. Для создания симметричных элементов использовалась операция «зеркальное отображение».

Вслед за телом позвонка была создана модель корня дужки, которая будет определять высоту позвоночно-двигательного сегмента на данном уровне. На следующем этапе визуализировали модель полудужки, определяющую ширину позвоночного канала.

Остистый отросток смоделирован из примитива «параллелепипед» без применения модификатора Symmetry и операции «зеркальное отображение», так как этот элемент является оригинальным и не повторяется в позвонке. Затем проведено моделирование верхнего и нижнего суставных отростков.

При создании изображения межпозвонкового диска за основу была взята модель тела позвонка, которую уменьшили в вертикальном размере и изменили угол между горизонтальными плоскостями.

На последующем этапе были сделаны схематические модели верхних суставных отростков и основания крестца.

Все модели составных частей поясничного позвонка были сопоставлены друг с другом с помощью операций «перемещение» и «поворот».

Дальнейшим шагом моделирования было сближение всех частей вместе с помощью операции «перемещение», что представлено на рисунке 1.

С помощью операции «копирование» нами продублированы все элементы модели за исключением основания крестца. В результате сформирована модель нижнепоясничного отдела позвоночника, состоящая из трех поясничных позвонков с межпозвонковыми дисками и основанием крестца, которая представлена на рисунке 2.

На окончательном этапе работы все элементы модели соединялись в нужной последовательности с помощью операции «перемещение». С помощью операции «удаление» были убраны плоскости с проекционными изображениями поясничного позвонка.

Завершенная модель нижнепоясничного отдела позвоночника включает 27 частей: основание крестца; 3 тела поясничных позвонков (LIII–LV); 3 дуги поясничных позвонков (LIII–LV); 3 межпозвонковых диска (LIII–LV); 14 суставных отростков; 3 остистых отростка поясничных позвонков (LIII–LV).

В конце компьютерного конструирования созданы и интегрированы в модель схематиче-

ские изображения спинного мозга и его корешков, а также грыжи межпозвонкового диска.

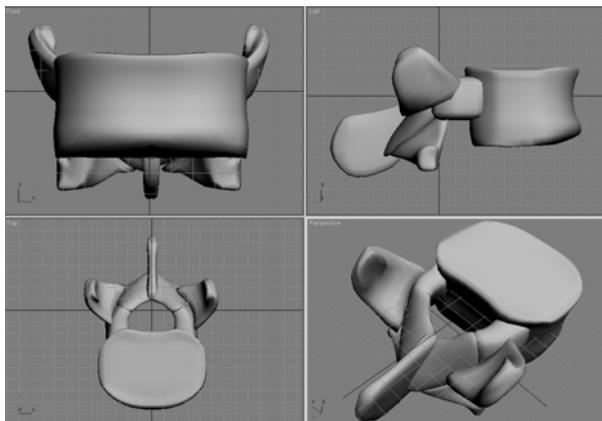


Рисунок 1 — Готовая цельная модель поясничного позвонка

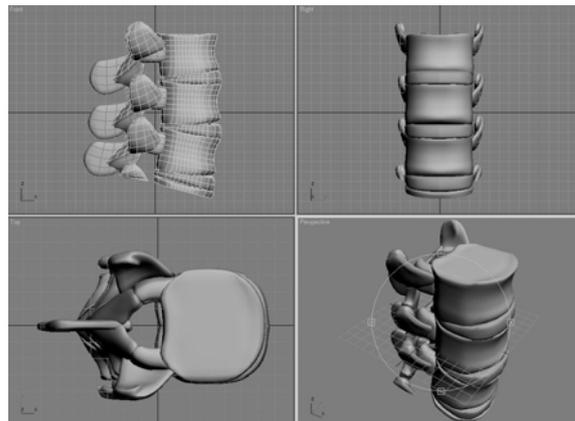


Рисунок 2 — Цельная модель нижнепоясничного отдела позвоночника

Методика предоперационного анализа зоны нейрохирургического вмешательства

Для изменения размера элемента модели необходимо выделить этот элемент, после чего на командной панели выбрать вкладку «Modify», в ней выбрать строку с названием примитива (в этой модели все примитивы «Box»). В появившемся предупреждении выбрать подтверждение («Yes»), что обеспечивало доступ к параметрам элемента.

Единицей измерения является миллиметр. Для получения наиболее точного изображения позвоночно-двигательного сегмента был введен коэффициент на поправку, равный «3».

Этим создавался наиболее реалистичный визуальный эффект проведения предоперационного планирования с моделями позвонков и межпозвонковых дисков разных размеров, что представлено на рисунке 3.

Поло-возрастная характеристика группы пациентов, оперированных с применением анализа по данным компьютерной модели

Поло-возрастной состав пациентов изучен с использованием общепринятого разделения по возрасту. Полученные данные представлены в таблице 1.

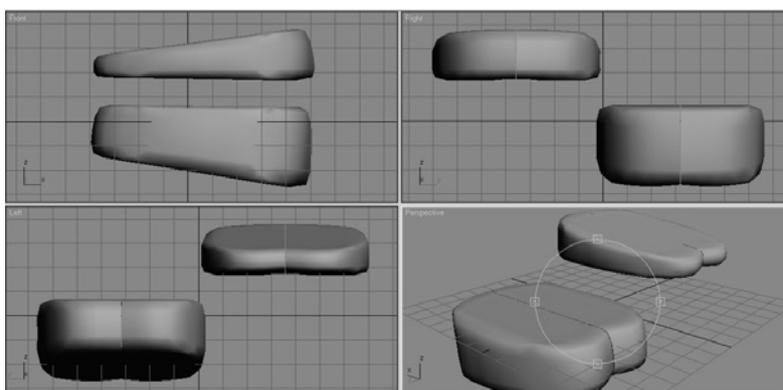


Рисунок 3 — Варианты модели МПД разных размеров при предоперационном планировании

Таблица 1 — Распределение пациентов по возрасту и полу

Возраст, лет	Количество пациентов, n	%	Пол			
			женский	%	мужской	%
20–29	2	7,2	1	3,6	1	3,6
30–39	9	32,1	5	17,8	4	14,4
40–49	10	35,7	5	17,8	5	17,8
50–59	6	21,4	1	3,6	5	17,8
Старше 60	1	3,6	1	3,6	0	0
Всего	28	100	13	46,4	15	53,6

Как следует из данных таблицы, среди пациентов в исследованной группе преобладали лица зрелого возраста (30–49 лет — 67,8 %), женщины составили 46,4 %.

Размерности структур поясничного отдела позвоночника, примененные к модели

Для анализа 3D-модели в разных размерностях позвоночно-двигательного сегмента были вычислены величины структур его составляющих (тел смежных позвонков и межпозвонковых дисков), что представлено в таблице 2.

Исходя из результатов исследования, при математической обработке данных в этой группе пациентов статистическая значимость различия размеров переднего и заднего контуров дисков LIV–V и LV–SI на уровне выпавшей грыжи межпозвонкового диска подтвер-

ждена с критерием $p < 0,05$ (высота передней части межпозвонкового диска выше задней).

Характеристика данных, полученных при рентгеновской компьютерной и магнитно-резонансной томографии пояснично-крестцового отдела позвоночника

Множественность поражения

Оценку множественности поражения поясничного отдела позвоночника проводили по данным компьютерной рентгеновской и магнитно-резонансной томографии пояснично-крестцового отдела позвоночника. Оценивали размер выпячивания всех исследованных поясничных межпозвонковых дисков, при этом в работу были включены только те из них, размеры которых превышали физиологическую протрузию (2 мм). Данные представлены в таблице 3.

Таблица 2 — Размеры структур позвоночно-двигательного сегмента на уровне дискорадикулярного конфликта

Уровень дискорадикулярного конфликта	Верхний позвонок в сегменте, мм		Нижний позвонок в сегменте, мм		МПД на уровне грыжи, мм	
	высота по переднему контуру	высота по заднему контуру	высота по переднему контуру	высота по заднему контуру	высота по переднему контуру	высота по заднему контуру
LIV–V	25,7 ± 2,3	26,3 ± 2,7	27,9 ± 2,3	24,7 ± 2,4	13,2 ± 2,7	6,6 ± 2,3
LV–SI	24,7 ± 3,0	24,6 ± 2,8	—	—	12,8 ± 3,0	5,7 ± 2,1

Таблица 3 — Множественность грыжевых выпячиваний на поясничном уровне

Число грыж у одного пациента	Группа обследованных	
	n	%
Одна	19	67,8
Две	9	32,2
Всего	28	100,0

Как следует из данных таблицы 3, множественные грыжевые выпячивание установлены у 9 (32,2 %) пациентов.

Характеристика уровня дискорадикулярного конфликта

При планировании хирургического вмешательства проведена математическая оценка уровня диско-радикулярного конфликта. При

этом получены данные рентгеновской компьютерной и магнитно-резонансной томографии, свидетельствующие о величине грыжевого выпячивания и сагиттальном размере позвоночного канала на уровне грыжи (таблица 4).

Данные таблицы 4 свидетельствуют о том, что у половины оперированных пациентов величина грыжевого выпячивания была в пределах 5–8 мм (50 %).

Таблица 4 — Размеры грыжевого выпячивания

Размер грыжевого выпячивания, мм	Число случаев	
	n	%
2–4	10	35,7
5–8	14	50,0
9 и более	4	14,3

Выводы

1. Создание и применение в нейрохирургической практике визуальной масштабируемой 3D-модели нижнепоясничного отдела позвоночника позволит улучшить результаты

операции за счет более точного планирования вмешательства.

2. Возможно использование модели в учебном процессе для студентов и врачей-стажеров нейрохирургов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Барыш, А. Е. Конечно-элементное бисегментарное моделирование позвоночных двигательных сегментов CIV–CVI / А. Е. Барыш // Ортоп., травм. и протезир. — 2005. — № 1. — С. 41–49.
2. Верстак, В. А. 3DS Max 8. Секреты мастерства / В. А. Верстак. — СПб.: Питер, 2006. — 672 с.
3. Верстак, В. А. 3DS Max 8 на 100 % / В. А. Верстак, С. В. Бондаренко, М. Ю. Бондаренко. — СПб.: Питер, 2006. — 416 с.
4. Кузнецов, В. С. Вертеброневрология: клиника, диагностика, лечение заболеваний позвоночника / В. С. Кузнецов. — Минск: Книжный дом, 2004. — С. 180–191.
5. Никифоров, А. С. Остеохондроз позвоночника: патогенез, неврологические проявления и современные подходы к лечению / А. С. Никифоров, О. И. Мендель // Укр. мед. часопис. — 2009. — Т. 5–6, № 3 (71). — С. 29–35.
6. Парфенов, В. А. Диагноз и лечение при острых болях в нижней части спины / В. А. Парфенов // Рос. мед. журн. — 2007. — № 4. — С. 17–21.
7. Ширишов, А. В. Поясничной остеохондроз: клиника, диагностика, лечение / А. В. Ширишов, М. А. Пирадов // Рос. мед. журн. — 2004. — № 4. — С. 212–213.
8. 3D modeling and deformation analysis of the vertebra with spherical harmonics / G. Lefaix [et al.] // Engineering in Medicine and Biology Society, 1997. Proceedings of the 19th Ann. International Conf. of the IEEE. — 1997. — Vol. 1. — P. 422–425.

Поступила 29.01.2013

УДК 579:606+620.3:546.57

БИОСОВМЕСТИМЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫЕ ПОКРЫТИЯ
ДЛЯ ЗАЩИТЫ ИМПЛАНТАТОВ ОТ МИКРОБНЫХ БИОПЛЕНОК¹Д. В. Тапальский, ¹В. А. Осипов, ¹Г. Н. Сухая,
²М. А. Ярмоленко, ²А. А. Рогачев, ²А. В. Рогачев¹Гомельский государственный медицинский университет
²Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины

Цель: оценить эффективность предотвращения формирования микробных биопленок на титановых поверхностях, содержащих антибактериальные покрытия различного состава, и выбрать оптимальный метод стерилизации имплантатов с антибактериальным покрытием.

Материалы и методы. Для семи типов полимерных покрытий оценена способность предотвращать формирование микробных биопленок *Staphylococcus aureus* и *Pseudomonas aeruginosa*. Изучена эффективность физических методов стерилизации имплантатов с антибактериальными покрытиями.

Результаты. Выявлена способность полного предотвращения формирования микробных биопленок композиционными покрытиями полиуретан – ципрофлоксацин, полилактид – ципрофлоксацин и полиуретан – полилактид – серебро – ципрофлоксацин. Показано, что режимы паровой и воздушной стерилизации имплантатов с полимерными покрытиями позволяют достичь стерильности.

Заключение. Показана высокая микробиологическая эффективность антибактериальных покрытий. Выбран оптимальный режим паровой стерилизации (127 °С, 30 мин), не влияющий на бактерицидную активность образцов.

Ключевые слова: антибактериальные покрытия, наночастицы, серебро, ципрофлоксацин, полимеры, микробные биопленки, стерилизация.

BIOCOMPATIBLE COMPOSITE ANTIBACTERIAL COATINGS
FOR PROTECTION OF IMPLANTS AGAINST MICROBIAL BIOFILMS¹D. V. Tapalskiy, ¹V. A. Osipov, ¹G. N. Sukhaya,
²M. A. Yarmolenko, ²A. A. Rogachiov, ²A. V. Rogachiov¹Gomel State Medical University
²Gomel State University named after F. Skorina

Aim: to estimate efficacy of prevention of microbial biofilm formation on titanium surfaces containing antibacterial coatings with different components, and to choose the optimum method of sterilization for implants with antibacterial coating.

Materials and methods. The ability to prevent the formation of *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa* microbial biofilms was estimated for seven types of polymeric coatings. The sterilization efficacy of the physical methods for implants with antibacterial coatings was studied.

Results. The study revealed the ability of complete prevention against microbial biofilm formation by composite coatings of polyurethane-ciprofloxacin, polylactide-ciprofloxacin and polyurethane-polylactide-silver-ciprofloxacin. It was shown, that the regimens of steam and air sterilization of the implants with polymeric coatings make it possible to reach sterility.

Conclusion. The study showed the increased microbiological efficacy of the antibacterial coatings. The optimal regimen of steam sterilization (127 °C, 30 minutes) not influencing the bactericidal activity of samples was chosen.

Key words: antibacterial coatings, nanoparticles, silver, ciprofloxacin, polymers, microbial biofilms, sterilization.

Бактериальные инфекции являются серьезными осложнениями при использовании катетеров и имплантатов. Инфекции, связанные с их

применением, являются результатом адгезии бактерий и последующего формирования микробных биопленок в месте имплантации. В боль-