

УДК 616.728.3-089.843/193.4:004

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБЪЕМНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И 3D ПЕЧАТИ С ЦЕЛЬЮ СОЗДАНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ АРТРОДЕЗИРУЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ В РЕВИЗИОННОМ ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИИ КОЛЕННОГО СУСТАВА

Баитов В.С., Мамуладзе Т.З., Базлов В.А.

ФГБУ «Новосибирский НИИТО им. Я.Л.Цивьяна» Минздрава России, Новосибирск,
e-mail: Sbazlov@yandex.ru

В статье рассматривается возможность и особенности ревизионного эндопротезирования коленного сустава при больших костных дефектах большеберцовой и бедренной костей. Приводятся факторы определяющие риск выполнения ревизионного эндопротезирования коленного сустава зачастую приводящее к появлению крупных дефектов. Освещаются вопросы производства индивидуальных конструкций с возможностью формирования артродеза в коленном суставе, приводится программное обеспечение способное адаптировать виртуальные модели, а так же конвертировать файлы формата Dicom в Stl. Моделирование комплиментарного имплантата производится с учетом опороспособности костной ткани, оцениваемой по шкале плотности Хаунсфилда, что придает конструкции дополнительную стабильность при имплантации. Предлагается способ производства индивидуальных конструкций с возможностью формирования артродеза коленного сустава с использованием технологии объемной печати, кратко раскрывается принцип селективного лазерного спекания (SLS 3D-printing). Приводится пример виртуального моделирования имплантата пациенту с крупным дефектом бедренной и большеберцовой костей. В ходе работы определяется материал имплантата – EMI титан, разрешенный к имплантации системой сертификации ISO.

Ключевые слова: эндопротезирование коленного сустава, индивидуальные эндопротезы коленного сустава, артродез, крупные костные дефекты большеберцовой и бедренной костей, объемная печать

THE POSSIBILITY OF USING THREE-DIMENSIONAL MODELING AND 3D PRINTING TO CREATE INDIVIDUAL ARTHRODESIS DESIGNS IN REVISION ARTHROPLASTY OF THE KNEE JOINT

Baitov V.S., Mamuladze T.Z. , Bazlov V.A.

Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics n.a. Ya.L. Tsivyn, Novosibirsk,
e-mail: Sbazlov@yandex.ru

The article discusses the possibility and features of the revision knee arthroplasty with large bone defects of the tibia and the femur. The factors determining the risk of running arthroplasty the knee joint often lead to the appearance of major defects. Covers the production of individual designs with the possibility of the formation of the arthrodesis in the knee joint, is the software able to adapt the virtual model, and to convert Dicom format to Stl. The complementary modeling of the implant is made with regard to the supporting function of bone tissue measured on a scale of Hounsfield density that gives the structure extra stability during implantation. A process for producing the individual structures, with the possibility of formation of arthrodesis of the knee with the use of technology for bulk printing, briefly explain the principles of selective laser sintering (SLS 3D printing). An example of virtual modeling of the implant to the patient with a major defect of the femur and tibia. In the course of work is determined by the implant material – titanium EMI permitted for the implantation of a certification system ISO.

Key words: knee joint, an individual total knee arthroplasty, arthrodesis, and large bone defects of the tibia and the femur, three-dimensional printing

В настоящее время эндопротезирование коленного сустава является одним из самых востребованных и высокоэффективных методов лечения многих заболеваний и последствий травматических повреждений коленного сустава, в частности остеоартроза. В Российской Федерации заболеваемость остеоартрозом составляет в среднем 18 человек на 10000 населения [1]. Наибольшая потребность в этом виде хирургического лечения в последние годы возникает среди пациентов моложе 65 лет, притом, что в 2005 году возрастной ценз находился в пределах от 65 до 74 лет. Это связано с прогрессив-

ным ростом населения Земли, числа людей, страдающих от наличия избыточной массы тела, а также увеличением доли людей с потребностью вести активный образ жизни, несмотря на возраст и наличие заболеваний опорно-двигательного аппарата [2]. С увеличением оперативных вмешательств по поводу эндопротезирования коленного сустава растет и количество ревизий, связанных как с инфекцией области хирургического вмешательства, так и с нестабильностью компонентов эндопротеза. Очень часто после таких операций встает вопрос о замещении костного дефектата с целью дальнейшего ре-

эндопротезирования, либо формирование артродеза коленного сустава индивидуальной конструкцией, в случае, если по какой-либо причине невозможно реэндопротезирование.

Факторы риска, определяющие выполнение реэндопротезирование коленного сустава.

В первое десятилетие после первичного тотального эндопротезирования коленного сустава (ТЭКС) наблюдаются отличные и хорошие результаты более чем в 92% случаев [3]. Результаты анализа статистических данных регистра эндопротезирования коленного сустава Новосибирского НИИТО им. Я.Л. Цивьяна за период с 2010 по 2015 г. показывает, что на долю реэндопротезирования коленного сустава приходится около 8% от общего объема выполненных ТЭКС [4]. Выделяют ряд наиболее частых причины выполнения реэндопротезирования: 23,1% приходится на асептическую нестабильность компонентов эндопротеза; 18,4% ревизий производится из-за возникновения инфекционных осложнений; 18,1% – из-за износа полиэтиленового вкладыша; 17,7% – в связи с несостоятельностью капсульно-связочного аппарата; в 9,3% случаев пациентов беспокоили постоянные боли и неудовлетворительный объем движений в оперированном суставе; в 4,5% случаев ревизионное вмешательство выполнено по поводу остеолита вокруг компонентов эндопротеза; в 2,9% – диагностирована травматическая диспозиция компонентов эндопротеза [7].

Принципиально стоит выделить две категории пациентов требующих реэндопротезирования коленного сустава: первая – имеющие инфекционные осложнения и вторая – с отсутствием таковых. Данный фактор имеет определяющее значение в выборе тактики и объема последующего оперативного вмешательства.

При асептических осложнениях первоочередной задачей для хирурга является – восстановление механической части компонентов эндопротеза: одноэтапное реэндопротезирование ревизионными конструкциями с достижением надежной фиксации и трибологических свойств эндопротеза и связочной стабильности.

Однако если речь идет о возникновении перипротезной инфекции первостепенной является задача эффективной эрадикации инфекции, снижение болевого синдрома, максимально возможное сохранение объема движений коленного сустава.

Вопо J.V. с соавторами предлагает следующие варианты хирургической тактики лечения перипротезной инфекции [8]:

Открытый дебридмент с заменой полиэтиленового вкладыша и сохранением компонентов эндопротеза.

Тактика, подразумевающая удаление компонентов эндопротеза: одноэтапная реимплантация; двухэтапная реимплантация с формированием спейсера.

Альтернативные виды хирургических вмешательств:

резекционная артропластика;

артродез выполняется с применением аппарата внешней фиксации, интрамедуллярного штифта, индивидуальной конструкции.

Как в случаях асептической, так и инфекционной нестабильности формируются обширные дефекты кости, не позволяющие в последующем выполнить реэндопротезирование сустава стандартными конструкциями, в связи с невозможностью достичь должной стабильности. Именно в этих случаях встает вопрос о выполнении артродеза коленного сустава.

Достоинства и недостатки выполнения артродезирования коленного сустава.

Выполнение артродеза позволяет эффективно бороться с инфекционными осложнениями, стабилизирует коленный сустав во фронтальной и сагиттальной плоскости, купирует болевой синдром, сохраняет опороспособность нижней конечности. Но все эти преимущества нивелируются невозможностью артикуляции в коленном суставе, что делает весьма затруднительным пребывание пациента в положении сидя, а также многие другие аспекты повседневной жизни [5].

Артродез является операцией выбора при наличии массивного дефекта костной ткани бедренной и большеберцовой костей, не позволяющего установить ревизионную конструкцию. Несостоятельность или отсутствие разгибательного аппарата, многократные рецидивы инфекции, а также наличие полирезистентных микроорганизмов или микробных ассоциаций, трудно поддающихся антибактериальной терапии, также являются показаниями к проведению артродеза коленного сустава.

Существует несколько методик артродезирования коленного сустава при наличии инфекции: наложение аппарата внешней фиксации (АВФ), либо при помощи блокируемого стержня. В случае отсутствия инфекции: при помощи интрамедуллярного стержня, индивидуальной двухкомпонентной конструкцией с функцией артродеза. В виду доступности, относительной безопасности и технической простоты исполнения, наибольшее распространение получил аппарат внешней фиксации и артродез коленного сустава при помощи блокируемого стержня.

Однако, как и все вышеописанные подходы к лечению хронической глубокой инфекции области оперативного вмешательства, использование АВФ может сопровождаться рядом осложнений: повреждение сосудисто-нервного пучка, воспалительные процессы мягких тканей и переломы в местах проведения спиц и стержней. Формирование артродеза блокируемыми интрамедуллярными стержнями нередко осложняется переломом или миграцией стержня, не исключен и рецидив инфекции (от 41 до 53%) за счет недостаточной стабильности конструкции [9].

Цель исследования

Рассмотреть возможность использования индивидуальных артродезирующих конструкций в ревизионном эндопротезировании коленного сустава с учетом определения плотности костной ткани по шкале Хаунсфилда. Привести методологию создания индивидуальных объемных конструкций с использованием виртуального моделирования и технологий объемной печати.

Материалы и методы

Производство индивидуальных конструкций с функцией артродеза коленного сустава с использованием аддитивных технологий подразумевает несколько этапов. Связано это с тем, что каждое изделие будет обладать исключительными характеристиками, учитывающими особенности анато-



Рис.1.МСКТ области коленного сустава

мии и форму дефекта бедренной и большеберцовой кости.

На первом этапе проводится МСКТ (спиральное сканирование, с толщиной слоя 0,5 мм, 2,0±0,9 мЗв) (рис.1). Полученные данные в виде серии DICOM-файлов с

использованием специализированного программного обеспечения конвертируются в 3D-модель дефекта в формате obj [11]. Та-

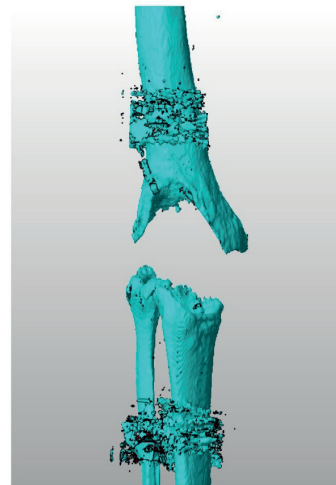


Рис. 2. Объемная модель дефекта (внешний вид, масштаб 1:3,5)

ким образом, появляется возможность работать с 3D моделью необходимой области опорно-двигательного аппарата (рис. 2).

Данный формат совместим с программами 3D-обработки визуальных объектов (Autodesk 3D Studio Max, Autodesk Maya и др.) [12]. Эти программы обладают расширенными возможностями объемного моделирования и виртуального скульптинга.

Далее стандартными средствами программного обеспечения выполняется моделирование компонентов артродезирующей конструкции с учетом индивидуальных особенностей дефекта бедренной и большеберцовой костей, а также с учетом плотности костной ткани (рис. 3). Для количественной оценки плотности, визуализируемых методом МСКТ костных структур, используется шкала ослабления рентгеновского излучения, получившая название шкалы Хаунсфилда. Диапазон единиц шкалы («денситометрических показателей»), соответствующих степени ослабления рентгеновского излучения анатомическими структурами организма, составляет от -1024 до +3071, т.е. 4096 чисел ослабления. Средний показатель в шкале Хаунсфилда (0 HU) соответствует плотности воды, отрицательные величины шкалы соответствуют воздуху и жировой ткани, положительные – мягким тканям, костной ткани и более плотному веществу.

В каждом клиническом случае измененные показатели ослабления могут не-



Рис. 3. Артродезирующая конструкция (внешний вид, масштаб 1:3,5)

сколько отличаться на разных аппаратах, но на практике этим можно пренебречь. При оценке сложной анатомо-гистологической структуры измерение её «рентгеновской плотности» не всегда даёт возможность с точностью утверждать, какая ткань визуализируется, именно для этого проводится виртуальная объемная реконструкция результатов МСКТ, в ходе которой удаляются «шумы» и мягкие ткани.

Результаты

На полученной виртуальной модели проводится адаптация мест прилегания имплантата к области деформации и, при необходимости, модификация его формы и коррекция конгруэнтности компонентов имплантата и костных поверхностей (рис. 4). После завершения 3D-моделирования имплантата его модель сохраняется в формате stl, необходимом для CAD/CAM-производства, файл имплантата изготавливается на 3D принтере методом SLS печати (селективное лазерное спекание). Технология выборочного лазерного спекания (SLS) подразумевает использование одной или нескольких лазерных установок (как правило, углекислотных) для спекания частиц порошкообразного материала до образования заданного объекта. В качестве расходных материалов используются пластики, металл, керамика или стекло. Спекание производится за счет вычерчивания контуров, заложенных в цифровой модели с помощью направленного лазерного луча. По завершении спекания очередного слоя, рабочая платформа опускается, и наносится новый слой материала. Процесс повторяется до образования объемной модели, при этом в

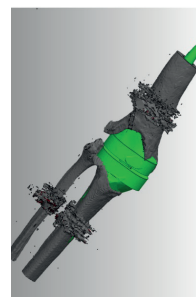


Рис. 4. Внешний вид замещения дефекта (масштаб 1:3,5)

отличие от таких методов аддитивного производства, как стереолитография (SLA) или метод послойного наплавления (FDM), при SLS печати навесные части модели поддерживаются неизрасходованным материалом. Такой подход позволяет добиться практически неограниченной геометрической сложности изготавливаемых моделей. Данный метод печати допускает использование ЕМІ титана, разрешенного к имплантации системой сертификации ISO, именно его используют нейрохирурги при замещении дефектов костей черепа [13,14].

Предложенная технология позволяет заместить дефекты кости любого объема, обеспечив стабильность и опороспособность коленного сустава, при этом сокращая сроки реабилитации пациента.

Заключение

В ходе работы было выполнено индивидуальное объемное моделирование бедренного и тибияльного компонентов имплантата с возможностью формирования артродеза. С помощью возможностей специализированного программного обеспечения соблюдена высокая степень конгруэнтности костных структур и компонентов конструкции, данная процедура выполнена с учетом плотности костной ткани оцениваемой по шкале Хаунсфилда. Данная конструкция имеет ряд преимуществ: устанавливается одномоментно, подразумевает раннюю активизацию пациента, относительно просто демонтируется в случае возможной установки компонентов эндопротеза, наибольшая стабильность и механическая надежность конструкции в сравнении с используемыми методами.

Список литературы

1. Корнилов Н. В. Травматология и ортопедия: учебник для вузов / под ред. Н. В. Корнилова. 3-е изд. М.: ГЭО-ТАР-Медиа, 2011. С. 423-425.
2. Корнилов Н. Н., Куляба Т. А. Артропластика коленного сустава. СПб. : РНИИТО им. Р.Р. Вредена, 2012. С.168-169.
3. Первичное эндопротезирование крупных суставов. Атлас / под ред. В.М. Прохоренко, М.А. Садового. - Новосибирск: Наука, 2016 С.76 - 85.
4. Прохоренко В.М. Профилактика и лечение гонартроза. / Прохоренко В.М., Садовой М.А., Фоменко С.М. – Новосибирск: АНО «Клиника НИИТО», 2009. – 444 с.
5. Казарезов М.В. Ортопедия и восстановительная хирургия: руководство по ортопедии/ М.В. Казарезов, В.М. Прохоренко, А.М. Королева. – Новосибирск: НПО «Бриз», 2008. – 448 с.: илл.
6. Первичное и ревизионное эндопротезирование коленного сустава: монография / В.М. Прохоренко. - Новосибирск: АНО «Клиника НИИТО», 2008.
7. Projections of primary and revision hip and knee arthroplasty in the United States from 2005 to 2030 / S. Kurtz, K. Ong, E. Lau, F. Mowat, M. Halpern // J. Bone Joint Surg. Am. 2007. Vol. 89, N 4. P. 780-785.
8. Why are total knee arthroplasties being revised? / D.F. Dalury, D.L. Pomeroy, R.S. Gorab, M.J. Adams // J. Arthroplasty. 2013. Vol. 28, N 8 Suppl. P. 120- 121. doi:10.1016/j.arth.2013.04.051.
9. Revision total knee arthroplasty / Eds. J.V. Bono, R.D. Scott. New York: Springer, 2005.
10. Rand J.A. Evaluation and management of infected total knee arthroplasty // Semin. Arthroplasty. 1994. Vol. 5, N 4. P. 178-182.
11. Плотников А.В., Прилуцкий Д.А., Селищев С.В. Стандарт DICOM в компьютерных медицинских технологиях. Московский Институт Электронной Техники. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mks.ru/library/article/1997/dicom.html> (дата обращения 08.11.2016).
12. Обзор программного обеспечения для виртуального моделирования: 3D – лучшее. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vgtk.ru/tips/350-3-luchshih-programmy-dlya-3d-modelirovaniya.html> (дата обращения 16.10.2016).
13. 3-D принтеры сегодня: электронный путеводитель URL: http://3dtoday.ru/wiki/SLS_print/ (дата обращения 24.11.2016).
14. Материалы для 3D печати: титан. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.foroffice.ru/articles/73613/> (дата обращения 08.08.2016).