



лоберцовой кости имеют потенциальные осложнения, включая несращение, задержку сращения, перелом трансплантата, подвывих лучезапястного сустава и травмирование донорского участка. Реконструкция с использованием костно-суставного аллотрансплантата представляется перспективной. Однако ограниченный ресурс аллотрансплантатов, неоднородность и несоответствие между трансплантатом и костями запястья ограничивают применение этого метода [6]. Несмотря на обширный опыт протезирования околоуставных опухолей нижней конечности, имеется мало сообщений о протезировании дистального отдела лучевой кости вместе с какими-либо отдаленными результатами.

Наиболее частыми недостатками и осложнениями эндопротезирования являются нестабильность и тугоподвижность лучезапястного сустава из-за недостаточной конгруэнтности площади контакта. Мы предположили, что изготовленный индивидуальный протез с трехмерной (3D) печатью с наиболее адекватной суставной поверхностью был бы лучшим выбором для последующего функционирования.

Использование индивидуального протеза лучевой кости является альтернативой использованию стандартных протезов лучевой кости или лучезапястного сустава. Это простое и надежное решение, позволяющее осуществить полную замену поврежденной костной ткани с максимальным восстановлением формы и функции. Изготовление индивидуального импланта производится методом 3D-печати.

Лучезапястный сустав образован дистальной суставной поверхностью лучевой и частично локтевой кости, образующей слегка вогнутую плоскость, которая сочленяется с выпуклой проксимальной суставной поверхностью костей запястья: ладьевидной, полулунной, трехгранной. Имеется и дистальный лучелоктевой сустав, участвующий в ротации предплечья.

Позиционирование кисти в пространстве достигается за счет совместной работы срединно-запястного (в основном латеральная/медиальная девиация), лучезапястного (в основном сгибание/разгибание) суставов и пронации/супинации лучелоктевых суставов.

Для сохранения необходимой подвижности сустава при замещении лучевой кости необходимо спроектировать вогнутую поверхность, позволяющую воссоздать биомеханику движения. Суставная поверхность дистального отдела лучевой кости представляет собой две сопряженные ямки для полулунной и ладьевидной костей со стороны запястья и одну – для локтевой кости.

## Материалы и методы

В качестве исходных данных для изготовления цифровой и физической моделей лучевой кости использовались данные компьютерной томографии пациента в виде файлов в формате DICOM.

Для проектирования цифровой модели эндопротеза использовалось программное обеспечение, позволяющее работать с полигональными моделями. Разрабатываемый индивидуальный имплант был создан в первую очередь с целью замещения и полного восстановления работы лучезапястного сустава.

Для проектирования замещающего фрагмента поврежденной конечности использовалась отзеркаленная цифровая модель здоровой конечности. Суставная часть редактировалась таким образом, чтобы создать поверхность суставной впадины.

Поверхность суставной впадины импланта не обязательно должна полностью повторять анатомию здоровой конечности, но должна сохранять механические свойства. Две ямки для полулунной и ладьевидной костей можно совместить в одну впадину с параметрами, необходимыми для совмещения с костями запястья. Для этого необходимо построить тор, центром вращения которого является центр суставной части среднего пальца и головчатой кости. Внутриканальная ножка проектируется по КТ костно-мозгового канала большой стороны.

В качестве исходного материала для изготовления металлического эндопротеза использовался порошок сплава титана.

## Результаты

На основе данных компьютерной томографии исследования пациента производился расчет необходимых индивидуальных параметров спроектированного эндопротеза.

От центра вращения тора был проложен отрезок до наиболее отдаленной суставной точки лучевой кости (рис. 1). Полученный отрезок являлся внешним радиусом тора, соединяющего центр с внешним краем тора. Отрезок задавался на снимке здоровой конечности и совпадал с аналогичным отрезком на снимке с поврежденной конечностью.

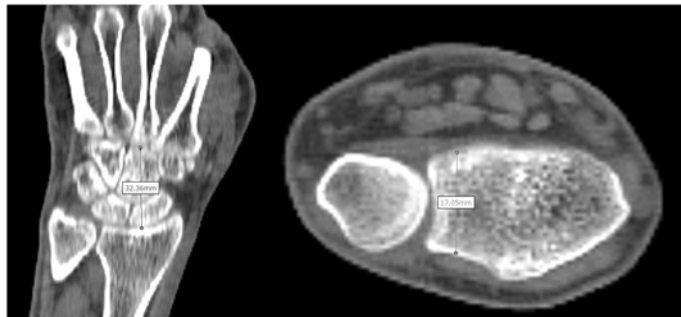


Рис. 1. Компьютерная томограмма костей запястья: слева – во фронтальной плоскости с обозначением центра и точки внешнего края тора; справа – в аксиальной плоскости с обозначением точек определения радиуса образующей окружности тора

Для определения радиуса образующей окружности была измерена суставная часть по вертикали в аксиальной плоскости. В измерении не учитывался бугорок. Радиус рассчитывался как половина отрезка, полученного в ходе измерения.

Радиус вращения тора задавался разностью отрезка и радиуса образующей окружности. На основе полученных параметров был построен тор во фронтальной плоскости и размещен в необходимом положении.

Сфера, созданная впадиной дистального лучелоктевого сустава, определялась на КТ-снимках четырьмя наиболее углубленными точками во впадине здоровой лучевой кости. Поверхность сферы должна была повторять движение локтевой кости в суставе (рис. 2).

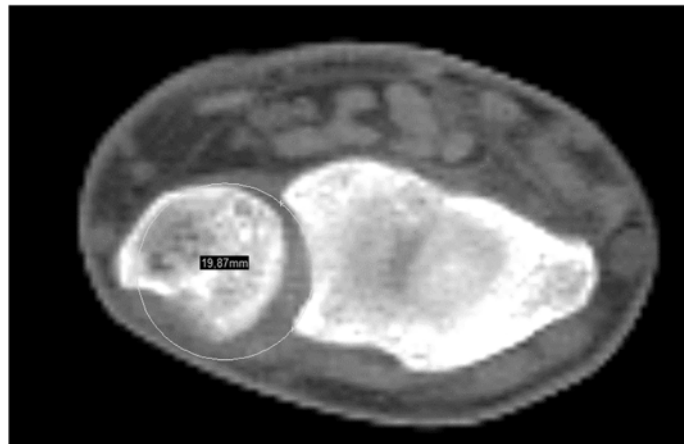


Рис. 2. Компьютерная томограмма локтевой и лучевой костей с обозначением определения радиуса сферы лучелоктевого сустава

Полученные модели сферы и тора вычитались из модели здоровой лучевой кости.

Шиловидный отросток должен быть массивным и осуществлять роль поддержки для суставного диска и иметь место для крепления локтевой коллатеральной связки. Шиловидный отросток создавался инструментами вытягивания и сглаживания поверхностей до необходимого размера.

Полученную модель суставной части импланта лучевой кости, повторяющей здоровый дистальный конец кости, не-

обходимо совместить с поврежденной конечностью и определить расположение импланта по снимкам. Восстановление недостающей части кости необходимо для совмещения спроектированного импланта суставной части и кости пациента после проведения резекции. Воссоздание необходимой длины и формы диафиза импланта, плавно переходящего в кость пациента, осуществлялось при помощи инструментов замещения участка кости.

Полученная конструкция была облегчена за счет добавления полостей, разделенных стенками толщиной в 2 мм, осуществляющих роль дополнительных опорных перегородок.

Для фиксации полученного импланта была спроектирована внутриканальная ножка, которая должна помещаться во внутренний канал кости после резекции. Внутриканальная ножка представляла собой конус с параметрами, полученными путем замера диаметров костного канала по снимкам КТ больной стороны. Длину конуса определяет врач по КТ-снимкам. Для снижения риска поломки конструкции и увеличения прочности установленного импланта переход от замещаемой кости к ножке был выполнен в виде плавного арочного перехода.

В полученном импланте были добавлены отверстия для лигатур. Нити использовались в суставной части для воссоздания и крепления суставной капсулы и связочного аппарата. Размеры и количество отверстий в импланте определялись врачом. Отверстия имели гладкие поверхности для предотвращения повреждения нити.

На внутриканальную ножку и место соприкосновения импланта с костью было добавлено тело ячеистой структуры для обеспечения деротационных свойств и ускорения остеоинтеграции импланта. Толщина тела ячеистой структуры может варьироваться от 0,5 до 2 мм.

Спроектированная модель импланта лучевой кости была изготовлена посредством 3Д-печати. Полученный имплант был установлен пациенту, результат сканирования после операции показан на рис. 3.



Рис. 3. Рентгенограмма предплечья после установки индивидуального эндопротеза

### Выводы и дальнейшие исследования

Преимуществами концепта данного эндопротеза являются:

- 1) возможность замещения поврежденной кости с высокой точностью и конгруэнтностью;
- 2) уменьшение длительности операции;

- 3) возможность использования протеза в случаях широких резекций лучевой кости при онкологических заболеваниях;
- 4) хорошая остеоинтеграция;
- 5) возможность частичного замещения сустава;
- 6) отсутствие косметических дефектов;
- 7) возможность формирования малотравматичного «легкого» импланта, не утяжеляющего конечность.

На данный момент послеоперационный срок является недостаточным для подведения окончательных результатов операции.

В дальнейшем конструкция может быть дополнена пластиковыми элементами и ответной частью для тех клинических случаев, когда требуется более широкая резекция костных и мягкотканых структур при тотальной артропластике лучезапястного сустава с сохранением подвижности сустава.

Реконструкция дефектов, оставшихся после удаления новообразования дистального отдела лучевой кости, остается сложной задачей в ортопедии. Это связано с минимальным количеством покровных тканей, интимной близостью с сухожилиями, магистральными сосудами и нервами.

Артрорезы лучезапястного сустава с использованием костных трансплантатов могут давать хорошую стабильность за счет потери мобильности, нередки случаи переломов трансплантата и осложнения в зоне донорского участка [7].

Используя протез дистального отдела лучевой кости лучезапястного сустава, мы смогли достичь хорошего функционального результата без присущих данному протезированию осложнений. Долгосрочное наблюдение за пациентом показало удовлетворительное функционирование без боли или клинических признаков расшатывания. Это позволяет предположить, что описанный метод может быть приемлемой альтернативой функциональной реконструкции суставов у взрослых.

### Список литературы:

1. Goldenberg R.R., Campbell C.J., Bonfiglio M. Giant-cell tumor of bone. An analysis of two hundred and eighteen cases // The Journal of Bone and Joint Surgery. 1970. № 52. PP. 619-663.
2. Eckardt J.J., Grogan T.J. Giant cell tumor of bone // Clinical Orthopaedics and Related Research. 1986. № 204. PP. 45-58.
3. Chadha M., Arora S.S., Singh A.P., Gulati D., Singh A.P. Autogenous non-vascularized fibula for treatment of giant cell tumor of distal end radius // Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery. 2010. № 130. PP. 1467-1473.
4. Muramatsu K., Ihara K., Azuma E. Free vascularized fibula grafting for reconstruction of the wrist following wide tumor excision // Microsurgery. 2005. № 25. PP. 101-106.
5. Saraf S.K., Goel S.C. Complications of resection and reconstruction in giant cell tumour of distal end of radius – An analysis // Indian Journal of Orthopaedics. 2005. № 39. PP. 206-211.
6. Szabo R.M., Anderson K.A., Chen J.L. Functional outcome of en bloc excision and osteoarticular allograft replacement with the Sauve-Kapandji procedure for Campanacci grade 3 giant-cell tumor of the distal radius // Journal of Hand Surgery. 2006. № 31. PP. 1340-1348.
7. Leung P.C., Chan K.T. Giant cell tumor of the distal end of the radius treated by the resection and free vascularized iliac crest graft // Clinical Orthopaedics and Related Research. 1986. № 202. PP. 232-236.

Алина Рамилевна Шайхлисламова,  
инженер-конструктор,  
ООО «ЛВМ АТ Медицина»,  
г. С.-Петербург,

Илья Иванович Анисеня,  
канд. мед. наук, ст. научный сотрудник,  
отделение общей онкологии,

Научно-исследовательский институт онкологии,  
Томский национальный исследовательский  
медицинский центр РАН,

г. Томск,

e-mail: alinashayk94@gmail.com