

РЕВЕРСИВНОЕ ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИЕ ПЛЕЧЕВОГО СУСТАВА С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ХИРУРГИЧЕСКИХ НАПРАВИТЕЛЕЙ (СЕРИЯ КЛИНИЧЕСКИХ СЛУЧАЕВ)

Майков С.В.¹, Хорак К.И.¹, Билык С.С.¹, Гончаров М.Ю.¹

¹ФГБОУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Р.Р. Вредена» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, e-mail: maykovsv@yandex.ru

В данной статье представлены три клинических наблюдения использования индивидуальных направителей при реверсивном эндопротезировании плечевого сустава у пациентов с идиопатическим артрозом. Целью исследования было определить точность позиционирования лопаточного компонента реверсивного эндопротеза при использовании пациентспецифичных направителей центральной спицы. Поступившим на операцию пациентам были выполнены рентгенография плечевого сустава в двух проекциях и компьютерная томография области вмешательства до и после операции. Направители и анатомические модели разработаны на основании трехмерной реконструкции лопатки, полученной после обработки серии КТ срезов. Производство физических моделей направителей осуществлено с использованием FDM печати. Полученные изделия были стерилизованы в устройстве для низкотемпературной стерилизации. Установка гленоидного компонента была осуществлена с применением разработанных пациентспецифичных направителей центральной спицы. Установка плечевого компонента проводилась по стандартной технике. Оценка точности позиционирования метаглена осуществлялась путем сравнения послеоперационной позиции лопаточного компонента с его позицией на предоперационном планировании по данным трехмерной реконструкции на основании КТ. Результаты позиционирования лопаточного компонента с использованием пациентспецифичных направителей были точнее, чем при использовании стандартной техники, согласно литературным данным.

Ключевые слова: реверсивное эндопротезирование плечевого сустава, пациентспецифичные направители, точность позиционирования гленоидного компонента, 3D предоперационное планирование.

REVERSIBLE SHOULDER JOINT REPLACEMENT WITH USING OF PATIENT SPECIFIC GUIDES (CLINICAL CASE SERIES)

Maikov S.V.¹, Khorak K.I.¹, Bilyk S.S.¹, Goncharov M.Y.¹

¹Vreden national medical scientific center of Traumatology and Orthopedics, Saint Petersburg, e-mail: maykovsv@yandex.ru

Current article present series of three clinical cases of reversible shoulder joint replacement with use of patient specific instrumentation. The aim of the study was to determine the accuracy of positioning of the glenoidal component of a reversible arthroplasty when using patient-specific instrumentation for central guide pin drilling. Pre- and postoperative CT scanning of affected joint and radiographies obtained in axial and sagittal were performed. Patient-specific guides were designed based on a three-dimensional reconstruction of the scapula obtained after processing a series of CT slices. Patient-specific instrumentations and anatomical models were produced by in-hospital FDM-machine. Printed plastic items were sterilized using low temperature sterilizing system. Glenoidal component was positioned using designed patient-specific guide for central pin. Humeral component was implanted using standard technique. Accuracy assessment was based on comparison of postoperative and preoperative spatial positioning of glenoidal component. Our results show that patient specific instrumentation provides superior accuracy comparing to standard navigation technique.

Keywords: reverse shoulder arthroplasty, patient-specific guide, accuracy glenoid positioning, 3D preoperative planning.

Реверсивное эндопротезирование плечевого сустава в последние десятилетия получает все большее распространение в лечении патологии данной области с хорошим уровнем купирования боли и восстановления функции [1, 2]. Одним из ключевых факторов успеха в реверсивном эндопротезировании плечевого сустава является правильное позиционирование

лопаточного компонента. Однако протезирование суставного отростка лопатки при выраженных ее деформациях и дефектах остается существенной проблемой при выполнении подобных оперативных вмешательств [3].

Протезирование суставной поверхности гленоида может быть осложнено как ограниченным хирургическим доступом и недостаточной интраоперационной визуализацией, так и вариабельностью или отсутствием надежных анатомических ориентиров, на основе которых хирургом корректируются ретроверсия и ориентация лопаточного компонента [4]. Особенно часто интраоперационные сложности в позиционировании лопаточного компонента встречаются при выраженном эксцентричном стирании суставной поверхности в случаях прогрессирующего артроза и связанном с этим ограниченным объемом костной ткани гленоида [5].

Правильное интраоперационное позиционирование компонентов основывается на тщательном предоперационном планировании. Традиционные методы планирования опираются на предоперационный анализ рентгенограмм, 2D КТ в аксиальных проекциях, которые, в свою очередь, могут быть некорректными вследствие положения пациента и ротации лопатки во время исследования [6]. Конечно, в позиционировании лопаточного компонента важную роль играют интраоперационные инструменты ориентирования, входящие в состав систем имплантатов, и опыт хирурга, но в случае выраженных деформаций риск некорректной установки имплантата остается высоким. В связи с этим в настоящее время все больший интерес вызывают 3D-реконструкция лопатки, трехмерное измерение ретроверсии и угла инклинации, сублюксации головки плечевой кости, применение индивидуальных (пациентспецифичных) направителей, спроектированных на основе 3D-реконструкции гленоида [7, 8].

Таким образом, в настоящий момент одной из самых актуальных задач является изучение возможностей технологий трехмерного проектирования в эндопротезировании плечевого сустава при значительных дефектах и деформациях суставного отростка лопатки.

Цель исследования – определить точность позиционирования лопаточного компонента реверсивного эндопротеза при использовании пациентспецифичных направителей центральной спицы.

Материалы и методы исследования. В исследование вошли 3 случая эндопротезирования плечевого сустава у пациентов с идиопатическим артрозом. Всем пациентам на предоперационном этапе были выполнены рентгенографическое исследование в прямой и аксиальной проекциях и КТ сканирование оперируемого плечевого сустава.

Получение точной виртуальной модели лопатки и прочих анатомических структур, например сосудов (при необходимости), выполняют на основании компьютерной томографии.

Для обеспечения необходимой точности трехмерных моделей и оптимизации процесса обработки срезов томограмм и сегментирования анатомических структур, т.е. выделения желаемых анатомических структур для их трехмерной визуализации, томография должна соответствовать ряду требований. Компьютерная томография выполнялась на томографе Siemens Somatom Definition с шагом срезов 1 мм. Отсутствие артефактов либо их минимальное проявление также является необходимым условием получения качественного и точного трехмерного изображения анатомических структур. Наиболее частыми артефактами, возникающими при сегментировании КТ-срезов пациентов ортопедического профиля, служат металлические артефакты, наличие которых проявляется дефектами трехмерной модели, получаемой на основании такой томографии. В зависимости от наличия или отсутствия металлических имплантатов в области суставного отростка лопатки или в канале плеча может быть использован протокол подавления металлических артефактов для повышения точности сегментирования. Особенностью данной технологии является большая лучевая нагрузка при исследовании.

Полученные файлы в формате DICOM были обработаны в специализированном программном обеспечении. Путем сегментирования (процедуры выделения на плоскостных срезах конкретных областей, необходимых для трехмерной визуализации анатомической структуры) обеспечивалась визуализация конкретной анатомической структуры. В нашей работе областями интереса сегментирования являлись кости лопатки пациентов. В результате обработки срезов были получены трехмерные модели костей лопатки для каждого случая. Полученные при сегментировании трехмерные анатомические модели впоследствии были сохранены в формате STL. Файлы данного формата позволяют осуществлять печать пластиковых прототипов с применением 3D-принтера либо могут быть использованы для дальнейшей разработки индивидуальных направителей. Для получения виртуальной модели гленоидного компонента было выполнено трехмерное сканирование в свете удаленного аналогичного компонента. Таким образом, для планирования позиции гленоидного компонента были использованы две модели виртуального лопаточного компонента - со стандартной и с длинной ножкой. Позиционирование гленоидного компонента выполнялось в нижнем полюсе суставного отростка лопатки, визуализируемой на КТ срезах для точной дифференцировки ее края от остеофитов. Из-за несоответствия позиции лопатки и плоскостей получаемых срезов, зависящих от угла гантри, на основании полученной трехмерной модели была построена новая плоскость для визуализации лопатки по трем точкам: центр гленоидальной ямки, наиболее медиальная точка на медиальном крае лопатки, а также самая дистальная точка в нижнем углу лопатки. На основании этой плоскости были рассчитаны

новые КТ-изображения для измерения наклона и версии гленоидального компонента. Направление проведения центральной спицы было задано в соответствии с осями лопатки.

Далее выполнялось оптимальное пространственное позиционирование лопаточного компонента (метаглена), определялась оптимальная точка входа центральной спицы, на основании которых были спроектированы пациентспецифичные направители. Ключевой особенностью использованных направителей был кольцевой дизайн с распложенными по периметру «лапками», обеспечивающими конгруэнтность направителя к суставной поверхности лопатки. Для проведения спицы согласно предоперационному плану направитель был оснащен каналом соответствующего диаметра. При диаметре сверла 2,5 мм диаметр канала был равен 2,8 мм, что позволяло, с одной стороны, провести спицу без усилия, а с другой - обеспечивало жесткое проведение спицы в заданном направлении без ее отклонения от запланированной позиции.

Для получения спроектированных пластиковых анатомических моделей лопатки и пластиковых индивидуальных направителей была использована аддитивная технология, предполагающая послойное добавление предварительно расплавленного материала, именуемая FDM (filament direct melting - прямое расплавление прутка). В нашей работе был использован 3D-принтер Ultimaker 2+ с картезианской системой координат, произведенный в Нидерландах. Размер рабочей камеры принтера составил 223x223x205 мм, что позволяло целиком печатать направители и анатомические модели лопатки соответствующей стороны операции. Высота шага при выращивании прототипов по оси Z составляла 0,3 мм, а диаметр просвета сопла - 0,6 мм. Данные настройки давали возможность оптимизировать количество времени для трехмерной печати прототипов, сохраняя при этом их высокую точность.

В качестве материала для трехмерной печати нами был использован PLA пластик, представляющий собой полимолочную кислоту. Предпочтение именно этому материалу было отдано ввиду почти полного отсутствия усадки при остывании, что значительно упрощает 3D-печать.

Для обеспечения наглядности и облегчения позиционирования направителей во время операции были разработаны и произведены по аналогичной технологии анатомические модели лопатки и аугмента для каждого пациента (рис. 1).



Рис. 1. Образец анатомической модели лопатки с фиксированным направителем и моделью аугмента

Полученные изделия были стерилизованы с применением технологии низкотемпературной стерилизации.

В послеоперационном периоде всем пациентам выполнено контрольное КТ-сканирование. Для оценки точности позиционирования гленоидного компонента нами было выполнено сопоставление трехмерной модели лопатки и фактически имплантированного гленоидного компонента, полученных по данным послеоперационной компьютерной томографии, с трехмерной моделью лопатки и запланированного трехмерного гленоидного компонента, полученных на этапе предоперационного планирования (рис. 2).

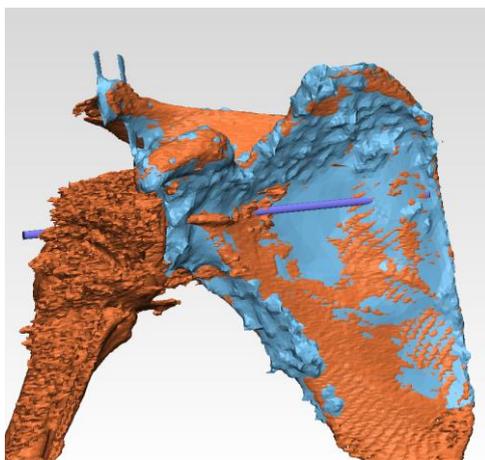


Рис. 2. Выполнено сопоставление предоперационной (голубая) модели трехмерной реконструкции и трехмерной модели (оранжевая) послеоперационной реконструкции

Для этого нами было измерено отклонение углов инклинации и версии гленоидного компонента в сравнении с запланированной позицией, а также проведено измерение расстояния отклонения точки входа центральной спицы в сравнении с запланированной

позицией. Измерения выполнялись в трех проекциях - аксиальной, фронтальной и сагиттальной.

Клинический случай № 1

Пациентка Б., 47 лет, поступила с жалобами на боли, ограничение движения в левом плечевом суставе. Из анамнеза настоящего заболевания следует, что боли беспокоят в течение 3 лет. Консервативное лечение без эффекта. Сопутствующие заболевания: ГБ II, риск 3, АГ 2. ИМТ 35. Установлен диагноз: Идиопатический артроз левого плечевого сустава. Тип гленоида по Walch-B3. Ретроверсия гленоида 22,4°; угол инклинации (RSA) 24,8°.

Клинический случай № 2

Пациент К., 44 года, поступил с жалобами на боли, ограничение движения в правом плечевом суставе. Из анамнеза известно, что боли беспокоят в течение 4 лет. Консервативное лечение без эффекта. Сопутствующие заболевания: ГБ II, риск 3, АГ 2. ИМТ 32. Выставлен диагноз: Идиопатический артроз правого плечевого сустава. Тип гленоида по Walch - C. Версия до операции 49,5°. Угол инклинации (RSA) до операции 41,7°.

Клинический случай № 3

Пациентка О., 72 года, поступила с жалобами на боли, ограничение движения в левом плечевом суставе. Со слов пациента, боли, ограничение движений в левом плечевом суставе беспокоит в течение последних 4 лет. Консервативное лечение без эффекта. Сопутствующие заболевания: ГБ 2-й ст., риск 3 АГ 2. Атеросклеротический кардиосклероз. Сердечная недостаточность I. Язвенная болезнь желудка, ремиссия. Хр. гастродуоденит. ИМТ 25. Установлен диагноз: Идиопатический артроз левого плечевого сустава. Тип гленоида по Walch - C. Версия до операции 33,1°. Угол инклинации (RSA) до операции 46,7°.

Всем пациентам было выполнено эндопротезирование плечевого сустава эндопротезом DeltaXtend по следующей методике. Положение пациента « пляжное кресло», дельтопекторальным доступом визуализирован плечевой сустав. После резекции проксимального отдела плечевой кости и мобилизации суставного отростка лопатки с помощью пациентспецифичных направителей выполнено засверливание центральной спицы согласно предоперационному плану. Далее выполнено фрезерование суставного отростка лопатки под установку лопаточного компонента. После этого выполнялась костная аутопластика дефекта гленоида утильной аутокостью с последующей установкой метаглена. Дальнейшая установка компонентов эндопротеза выполнялась по стандартной методике.

Результаты исследования и их обсуждение

Клинический случай № 1

Версия имплантата с расхождением с планом - 4°. Инклинация имплантата с расхождением с планом 0°. Переднезаднее смещение точки входа 0,6 мм. Верхненижнее

смещение точки входа 0,9 мм. Медиализация/латерализация 2,2 мм. Время операции 3 ч 15 мин. Кровопотеря 200 мл.

Клинический случай № 2

Версия имплантата с расхождением с планом - 0,6°. Инклинация имплантата с расхождением с планом 0°. Переднезаднее смещение точки входа 1 мм. Верхненижнее смещение точки входа 2,2 мм. Медиализация/латерализация - 1,1 мм.

Время операции 2 ч 40 мин. Кровопотеря 300 мл.

Клинический случай № 3

Версия имплантата с расхождением с планом - 1,3°. Инклинация имплантата с расхождением с планом 3,3°. Переднезаднее смещение точки входа 0,2 мм. Верхненижнее смещение точки входа 1,2 мм. Медиализация/латерализация 4,4 мм (рис. 3-5). Время операции 1 ч 46 мин.

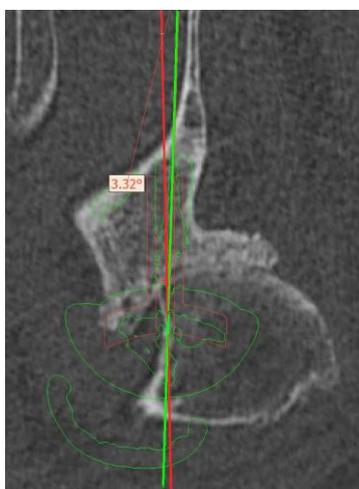


Рис. 3. Предоперационное планирование на аксиальных срезах плечевого сустава, совмещенное с послеоперационным положением компонента



Рис. 4. Результат позиционирования гленоидного компонента в сравнении с запланированной позицией компонента

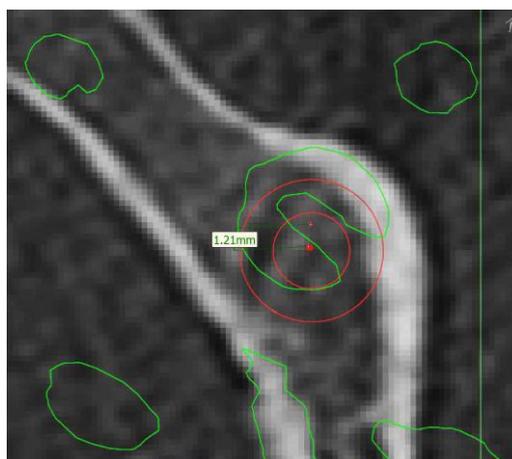


Рис. 5. Предоперационное планирование на сагиттальных срезах плечевого сустава, совмещенное с послеоперационным положением компонента

По данным литературы, неудовлетворительное позиционирование лопаточного компонента может достигать 75% при использовании стандартных инструментов, при этом неправильное положение компонентов было напрямую связано со степенью деформации [9]. Средняя точность позиционирования лопаточного компонента с применением стандартных направлятелей, по данным ряда авторов, составляет до $11,3^\circ$ по версии гленоида и до $11,6^\circ$ по углу инклинации, смещение точки входа до $2,1 \pm 1,2$ мм [10, 11]. Представленные клинические примеры демонстрируют погрешность установки версии лопаточного компонента не более 4° , угла инклинации $3,3^\circ$, а смещения точки входа - в пределах 2,2 мм. В то же время обращает на себя внимание относительно большая погрешность в медиолатеральном направлении, которая в одном случае достигала 4,4 мм. По нашему мнению, это обусловлено невозможностью точного прогнозирования глубины фрезерования суставной поверхности гленоида на этапе предоперационного планирования вследствие трудности дифференцировки состояния мягких тканей (оссифицированные участки суставной губы, костно-хрящевые разрастания гленоида) и качества субхондральной кости (глубина склерозирования или остеопороза в зоне обработки кости). В некоторой степени погрешность глубины фрезерования суставного отростка лопатки у представленных пациентов мы контролировали интраоперационно путем прикладывания модели аугмента в зону дефекта гленоида и оценки соответствия его «суставной» поверхности плоскости фрезерования. Конечно, подобный метод контроля глубины фрезерования не дает прецизионной точности, однако предохраняет хирурга от грубых ошибок. Очевидно, что требуется дальнейшее совершенствование методики в направлении повышения точности глубины фрезерования гленоида.

Тем не менее, применение предоперационного трехмерного планирования и пациентспецифичных инструментов у представленных больных позволило повысить точность позиционирования лопаточного компонента в сравнении со стандартной техникой (по

литературным данным). Особенно это актуально при наличии деформаций суставного отростка типа В2, В3 и С по Walch, когда деформация гленоида, его скошенность в разных плоскостях и часто увеличение площади суставного отростка лопатки за счет остеофитов не позволяют хирургу при применении стандартных инструментов позиционирования точно определить точку входа центральной спицы, задать ей корректные углы инклинации и ретроверсии.

Ограничениями нашего исследования явились малая серия пациентов, один и тот же тип дефекта для всех случаев, использование одного и того же типа импланта, отсутствие группы сравнения по функциональному результату и точности со стандартной техникой на собственном материале. Данная серия пациентов явилась первой ступенью внедрения данной технологии и при положительных результатах, тем не менее, требует продолжения исследования, но уже без озвученных ограничений, на большей серии наблюдений, в сравнении со стандартной техникой позиционирования, а также при использовании имплантов различных производителей.

Заключение

Представленные клинические примеры демонстрируют высокую точность позиционирования лопаточного компонента при использовании предоперационного 3D-планирования и применения пациентспецифичных инструментов для имплантации компонентов при реверсивном эндопротезировании плечевого сустава у пациентов с выраженной деформацией суставного отростка лопатки.

Список литературы

1. Palsis J.A., Simpson K.N., Matthews J.H., Traven S., Eichinger J.K., Friedman R.J. Current trends in the use of shoulder arthroplasty in the United States. *Orthopedics*. 2018. vol. 41. no. 3. P. e416-e423. DOI: 10.3928/01477447-20180409-05.
2. Bacle G., Nove-Josserand L., Garaud P., Walch G. Long-term outcomes of reverse total shoulder arthroplasty: a follow-up of a previous study. *Journal Bone Joint Surgery American*. 2017. vol. 99. no. 6. P. 454-461. DOI: 10.2106/JBJS.16.00223.
3. Iannotti J.P., Greeson C., Downing D., Sabesan V., Bryan J.A. Effect of glenoid deformity on glenoid component placement in primary shoulder arthroplasty. *Journal Shoulder Elbow Surgery*. 2012. vol. 21. no. 1. P. 48-55. DOI: 10.1016/j.jse.2011.02.011.
4. Levy J.C., Everding N.G., Frankle M.A., Keppler L.J. Accuracy of patientspecific guided glenoid baseplate positioning for reverse shoulder arthroplasty. *Journal Shoulder Elbow Surgery*. 2014. vol. 23. no. 10. P. 1563-1567. DOI: 10.1016/j.jse.2014.01.051.

5. Michael R.J., Schoch B.S., King J.J., Wright T.W. Managing glenoid bone deficiency-the augment experience in anatomic and reverse shoulder arthroplasty. *American Journal of Orthopedics (Belle Mead N.J.)*. 2018. vol. 47. no. 3. DOI: 10.12788/ajo.2018.0014.
6. Kwon Y.W., Powell K.A., Yum J.K., Brems J.J., Iannotti J.P. Use of three-dimensional computed tomography for the analysis of the glenoid anatomy. *Journal Shoulder Elbow Surgery*. 2005. vol. 14. no. 1. P. 85-90. DOI: 10.1016/j.jse.2004.04.011.
7. Heylen S., Van Haver A., Vuylsteke K., Declercq G., Verborgt O. Patient-specific instrument guidance of glenoid component implantation reduces inclination variability in total and reverse shoulder arthroplasty. *Journal Shoulder Elbow Surgery*. 2016. vol. 25. no 2. P. 186-192. DOI: 10.1016/j.jse.2015.07.024.
8. Verborgt O., Hachem A.I., Eid K., Vuylsteke K., Ferrand M., Hardy P. Accuracy of patient-specific guided implantation of the glenoid component in reversed shoulder arthroplasty. *Orthopaedics and Traumatology Surgery and Research*. 2018. vol. 104. no. 6. P. 767-772. DOI: 10.1016/j.otsr.2018.01.010.
9. Hendel M.D., Bryan J.A., Barsoum W.K., Rodriguez E.J., Brems J.J., Evans P.J., Iannotti J.P. Comparison of patient-specific instruments with standard surgical instruments in determining glenoid component position: a randomized prospective clinical trial. *Journal Bone Joint Surgery American*. 2012. vol. 94. no. 5. P. 2167-2175. DOI: 10.2106/JBJS.K.01209.
10. Cabarcas B.C., Cvetanovich G.L., Espinoza-Orias A.A., Inoue N., Gowd A.K., Bernardoni E., Verma N.N. Novel 3-dimensionally printed patient-specific guide improves accuracy compared with standard total shoulder arthroplasty guide: a cadaveric study. *Journal Shoulder Elbow Surgery Open Access*. 2019. vol. 15. no. 3 (2). P. 83-92. DOI: 10.1016/j.jses.2019.04.001.