

ПРЕДОПЕРАЦИОННОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ АРТРОПЛАСТИКИ ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА

Б. Ш. Минасов, Р. Р. Якупов, А. Р. Билялов, Т. Б. Минасов, М. М. Валеев, Т. Р. Мавлютов, И. Э. Нигамедзянов, В. Н. Акбашев ✉, К. К. Каримов

Башкирский государственный медицинский университет, Уфа, Россия

Предоперационное планирование артропластики ТБС предоставляет хирургам уникальную возможность тщательного изучения анатомии пациента, позволяет определить оптимальный размер, позиционирование импланта, а также предупредить потенциальные осложнения. Развитие цифровых технологий позволяет повысить возможности предоперационного планирования за счет использования трехмерного моделирования. Цель: провести сравнение точности трехэтапного предоперационного планирования артропластики ТБС по сравнению со стандартным методом. В исследование было включено 224 пациента с различными формами дегенеративно-дистрофических заболеваний ТБС, которые были разделены на основную и контрольную группу в зависимости от метода планирования. В группе исследования предоперационное планирование артропластики проводилось в три этапа: оценка плотности костной ткани в области опорных зон на основании КТ-томографии; виртуальное проектирование с использованием автоматизированных программ; изготовление 3D-модели на основе компьютерного моделирования. В группе сравнения использовали рентгенограммы и шаблоны эндопротеза. Результаты показали, что статистически значимой разницы между методами планирования не было у пациентов, страдающих остеоартрозом и аваскулярным некрозом головки бедра ($p > 0,05$), в отличие от группы с посттравматической патологией ТБС, у которой отмечалась статистически значимая разница ($p_c = 0,002$). Выводы: алгоритм трехэтапной методики предоперационного планирования артропластики ТБС показал более высокую эффективность для пациентов с различной нозологической формой дегенеративно-дистрофических заболеваний ТБС по сравнению со стандартным методом.

Ключевые слова: эндопротезирование тазобедренного сустава, артропластика, предоперационное планирование, объемное моделирование, 3D-печать

Финансирование: работа выполнена при поддержке гранта Правительства Республики Башкортостан для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых, в рамках программы Евразийского НОЦ; и при поддержке Программы стратегического академического лидерства Башкирского государственного медицинского университета (ПРИОРИТЕТ-2030).

Вклад авторов: Б. Ш. Минасов, Р. Р. Якупов, А. Р. Билялов — разработка дизайна исследования, анализ результатов; Т. Б. Минасов, М. М. Валеев, Т. Р. Мавлютов — интраоперационный контроль определения размеров компонентов эндопротеза, сбор данных, анализ результатов; И. Э. Нигамедзянов, В. Н. Акбашев, К. К. Каримов — статистический анализ, оценка результатов, обзор литературы, компьютерное, объемное моделирование, 3D-печать костей таза, вертлужного и бедренного компонентов эндопротеза.

Соблюдение этических стандартов: исследование одобрено этическим комитетом БГМУ (протокол № 11 от 15 ноября 2023 г.).

✉ **Для корреспонденции:** Владислав Николаевич Акбашев
ул. Ленина, д. 3., 450008, г. Уфа, Россия; Vlad-akb@mail.ru

Статья получена: 12.11.2023 **Статья принята к печати:** 19.12.2023 **Опубликована онлайн:** 31.12.2023

DOI: 10.24075/vrgmu.2023.052

PREOPERATIVE PLANNING OF HIP ARTHROPLASTY

Minasov BSh, Yakupov RR, Bilyalov AR, Minasov TB, Valeev MM, Mavlyutov TR, Nigamedzanov IE, Akbashev VN ✉, Karimov KK

Bashkir State Medical University, Ufa, Russia

Preoperative planning of hip arthroplasty provides surgeons with a unique opportunity of thorough investigation of the patient's anatomy, allows them to determine optimal implant size and position, as well as to prevent potential complication. Advances in digital technology enable expansion of opportunities of preoperative planning due to using three-dimensional modeling. The study was aimed to compare precision of the three-step preoperative planning of hip arthroplasty and the standard method. Methods: The study involved 224 patients with various forms of degenerative and dystrophic diseases of the hip joint, who were divided into the index and control groups based on the planning method. In the index group, preoperative planning of arthroplasty was conducted in three steps: assessment of bone density in the zones of fixation based on CT; virtual design involving the use of automated programs; 3D model construction based on the computer model. X-ray images and endoprosthesis templates were used in the comparison group. The results showed that there were no significant differences between planning methods in patients with osteoarthritis and avascular necrosis of the femoral head ($p > 0.05$), in contrast to the group with traumatic hip joint pathology showing significant differences ($p_c = 0.002$). Conclusions: the three-step algorithm for preoperative planning of hip arthroplasty showed higher efficacy in patients with various nosological forms of degenerative and dystrophic diseases of the hip joint compared to the standard method.

Keywords: hip replacement, arthroplasty, preoperative planning, volumetric modeling, 3D printing

Funding: the study was supported by grant of the Government of the Republic of Bashkortostan for state support of scientific research guided by the leading scientists within the framework of the Eurasian Research and Educational Center programs; it was also supported by the Strategic Academic Leadership Program of the Bashkir State Medical University (PRIORITY-2030).

Author contribution: Minasov BSh, Yakupov RR, Bilyalov AR — developing the study design, data analysis; Minasov TB, Valeev MM, Mavlyutov TR — intraoperative control of determining the size of the endoprosthesis components, data acquisition, data analysis; Nigamedzanov IE, Akbashev VN, Karimov KK — statistical analysis, data estimation, literature review, computer, volumetric modeling, 3D printing of pelvic bones, acetabular and femoral components of the endoprosthesis.

Compliance with ethical standards: the study was approved by the Ethics Committee of the Bashkir State Medical University (protocol № 11 dated 15 November 2023)

✉ **Correspondence should be addressed:** Vladislav N. Akbashev
Lenina, 3, 450008, Ufa, Russia; Vlad-akb@mail.ru

Received: 12.11.2023 **Accepted:** 19.12.2023 **Published online:** 31.12.2023

DOI: 10.24075/brsmu.2023.052

В последние десятилетия объемы оказания высокотехнологичной медицинской помощи в области травматологии и ортопедии существенно возросли, в том числе вмешательства по эндопротезированию крупных суставов нижних конечностей — тазобедренного и/или коленного сустава [1]. Тотальное эндопротезирование тазобедренного сустава (ТБС) — стандартная хирургическая процедура для лечения тяжелой патологии [2]. Основной целью эндопротезирования является уменьшение боли и восстановление функции нижней конечности, что позволяет пациенту вернуться к активной деятельности и улучшить качество жизни. При тотальном эндопротезировании ТБС вертлужный компонент и ножка эндопротеза должны иметь соответствующий размер и положение компонентов, что необходимо для достижения хороших функциональных результатов и долгосрочности службы протеза. Однако при неправильном позиционировании или определении размеров компонентов эндопротеза увеличивается риск развития интра- и послеоперационных осложнений, таких как удлинение или укорочение конечности, интраоперационные переломы, асептическое расшатывание, вывих головки эндопротеза и т. д. [3]. Все это способствует развитию послеоперационного болевого синдрома в области оперированного сустава, нестабильности и преждевременному износу компонентов эндопротеза, что приводит к неудовлетворенности пациента и снижению его качества жизни [4]. При любом эндопротезировании необходимо предоперационное планирование и интраоперационный контроль. Предоперационное планирование имеет первостепенное значение для оптимизации результатов при эндопротезировании ТБС. Оно помогает хирургу визуализировать окончательное положение имплантата после тщательного изучения клинических и рентгенографических данных [5]. В случае первичного эндопротезирования предоперационное планирование можно провести при помощи стандартных рентгенограмм, шаблонов (2D) или при помощи соответствующего программного обеспечения. При первичном эндопротезировании, когда оперативному вмешательству предшествовали травмы, остеотомии, операции, проведение предоперационного планирования затруднено в связи с нарушением рентгенанатомических критериев.

В качестве традиционного метода предоперационного планирования эндопротезирования ТБС используют стандартную рентгенограмму ТБС с наложением на нее шаблонов эндопротеза для точного определения размеров вертлужного и бедренного компонента эндопротеза, а также их позиционирования.

Трехмерное планирование позволяет более четко определить уникальные анатомические особенности и ориентиры пациента, а также обеспечивает оптимальную визуализацию для предоперационного определения размера имплантата. Методы 3D-планирования позволяют более точно определить размер вертлужного компонента и ножки эндопротеза (96–100%), по сравнению с 2D-шаблонами (16–43%). Результаты подтверждают превосходство 3D-методов над 2D-шаблонами в точности определения размеров имплантатов. Данные компьютерной томографии 3D-планирования являются привлекательной альтернативой навигации для восстановления длины и оси конечности [6–9].

Отсутствие единых подходов к планированию оперативного лечения не позволяет получать идентичные

результаты лечения в аналогичных клинических ситуациях и необходимо создание определенного алгоритма предоперационного планирования для выбора тактики лечения при той или иной патологии сустава.

Целью данного исследования является проведение анализа эффективности трехэтапного предоперационного планирования артропластики ТБС в зависимости от нозологической формы дегенеративно-дистрофических заболеваний ТБС по сравнению со стандартным методом.

ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

Был проведен сравнительный анализ оценки результатов различных методов предоперационного планирования эндопротезирования ТБС. В исследовании приняли участие 224 пациента. Критерии включения пациентов в исследование: наличие первичного (идиопатического) остеоартроза ТБС III–IV стадии (по классификации Kellgren & Lawrence) с нарушением функции сустава III степени и более; наличие асептического некроза головки бедренной кости II–III и наличие выраженного болевого синдрома; посттравматическая патология (состояние после остеосинтеза проксимального отдела бедра или вертлужной впадины в связи с переломом данных сегментов) с развитием осложнений в виде посттравматического остеоартроза или ложного сустава и нуждающиеся в артропластике ТБС. Диагноз был установлен на основании клинико-анамнестических данных, а также с использованием дополнительных инструментальных методов исследования (рентгенографии, компьютерной и магнитно-резонансной томографии). Критерии исключения: наличие инфекционно-воспалительных заболеваний пораженного сегмента; наличие сопутствующих соматических заболеваний, которые являлись абсолютным противопоказанием к проведению операции; отсутствие добровольного согласия пациента, возраст моложе 18 лет. Всех пациентов разделили на две группы: группа исследования (116 человек) и группа сравнения (108 человек). В группе исследования было выделено три подгруппы: 34 пациента с остеоартрозом (средний возраст $60,8 \pm 7,2$), 30 пациентов с аваскулярным некрозом головки бедра (средний возраст $43,9 \pm 7,9$ лет), 52 пациента с посттравматической патологией ТБС (этой группе пациентов был выполнен остеосинтез вследствие перелома: шейки, вертельной зоны бедра, вертлужной впадины таза и т. п.) ($60,2 \pm 11,1$ лет). Группа сравнения также была разделена на три подгруппы: 33 пациента с остеоартрозом (средний возраст $61,3 \pm 6,8$), 29 пациентов с аваскулярным некрозом головки бедра ($42,6 \pm 8,4$ года), 46 пациентов с посттравматической патологией ТБС ($59,3 \pm 12,7$ года). Средний возраст пациентов среди всех исследуемых был равен $57 \pm 6,2$ года, женщины составили 119 человек (53,12%), мужчины 105 человек (46,87%).

В группе исследования ($n = 116$) предоперационное планирование артропластики ТБС проводили в три этапа.

На первом этапе в области вертлужной впадины и бедра на основе компьютерной томографии (КТ) ТБС определяли плотности кости в трех плоскостях по шкале Хаунсфилда. Плотность оценивали по всему периметру опорных зон с учетом планируемого места расположения и установки имплантата. Важным критерием установки и позиционирования эндопротеза было определение зоны с оптимальной плотностью костной ткани, а также участков со сниженной плотностью, остеосклерозом, кистами и различными дефектами. При проведении

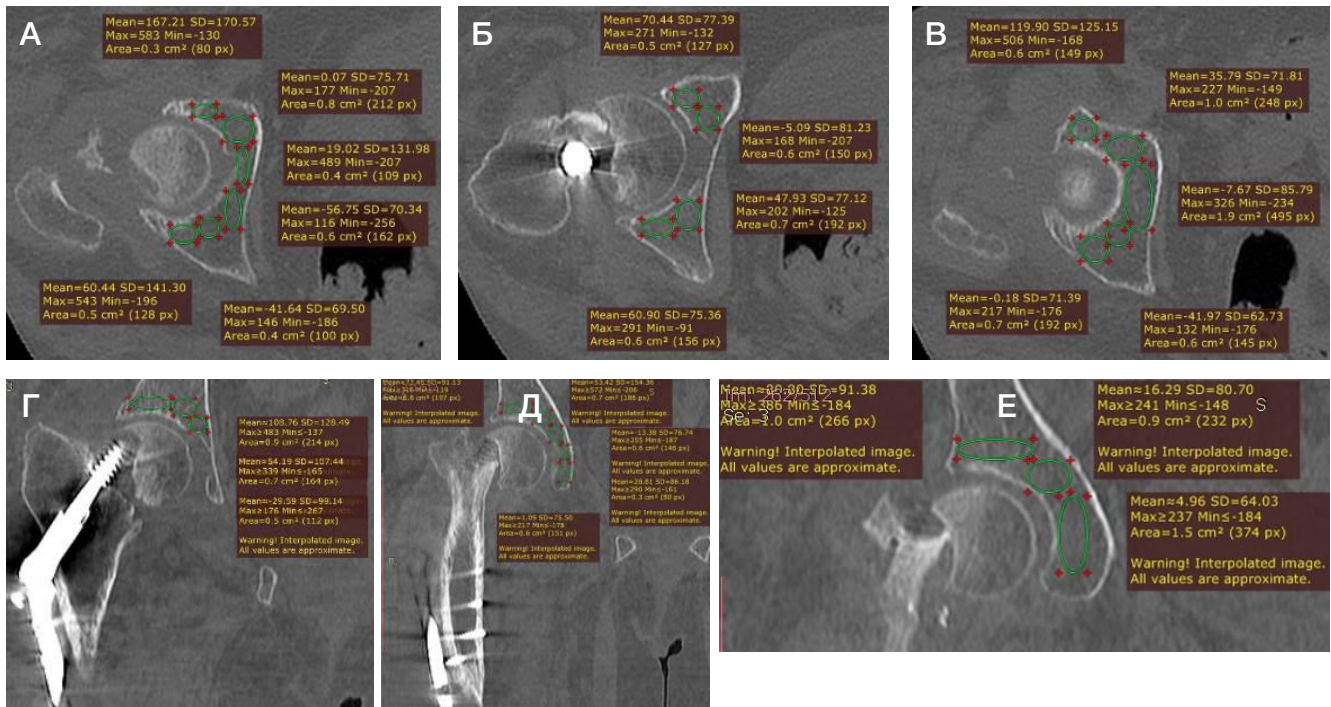


Рис. 1. Определение плотности опорных зон кости в области вертлужной впадины на основе КТ пациента 73 лет в горизонтальной (А, Б, В) и фронтальной (Г, Д, Е) проекциях: на уровне нижнего отдела вертлужной впадины (А); на уровне среднего отдела вертлужной впадины (Б); на уровне верхнего отдела вертлужной впадины (В) (Общее среднее значение плотности по шкале Хаунсфилда — 30,65 HU); на уровне заднего отдела вертлужной впадины (Г); на уровне среднего отдела вертлужной впадины (Д); на уровне переднего отдела вертлужной впадины (Е). (Общее среднее значение плотности по шкале Хаунсфилда — 30,09 HU)

предоперационного планирования у пациентов после остеосинтеза определение плотности опорных зон было затруднено из-за наличия «металлических артефактов» (рис. 1 и 2).

На втором этапе для определения оптимального размера и положения компонентов эндопротеза после создания объемной модели исходного состояния (рис. 4). Данный этап позволил провести оценку нарушения анатомии сегмента, определить более точное позиционирование эндопротеза, провести стартовую биомеханику, помимо этого, определить тактику проведения эндопротезирования ТБС. При выраженных деформациях ТБС помимо компьютерного моделирования проводили 3D-печать пораженного сегмента до и после эндопротезирования ТБС (рис. 5).

Третьим этапом при помощи программного обеспечения Geomagic Studio (Raindrop Geomagio Inc.; USA) и 3D Slicer (Copyright 2023, Slicer Community; USA) проводили виртуальную установку компонентов эндопротеза после создания объемной модели исходного состояния (рис. 4). Данный этап позволил провести оценку нарушения анатомии сегмента, определить более точное позиционирование эндопротеза, провести стартовую биомеханику, помимо этого, определить тактику проведения эндопротезирования ТБС. При выраженных деформациях ТБС помимо компьютерного моделирования проводили 3D-печать пораженного сегмента до и после эндопротезирования ТБС (рис. 5).

В контрольной группе ($n = 108$) предоперационное планирование проводили с применением стандартных

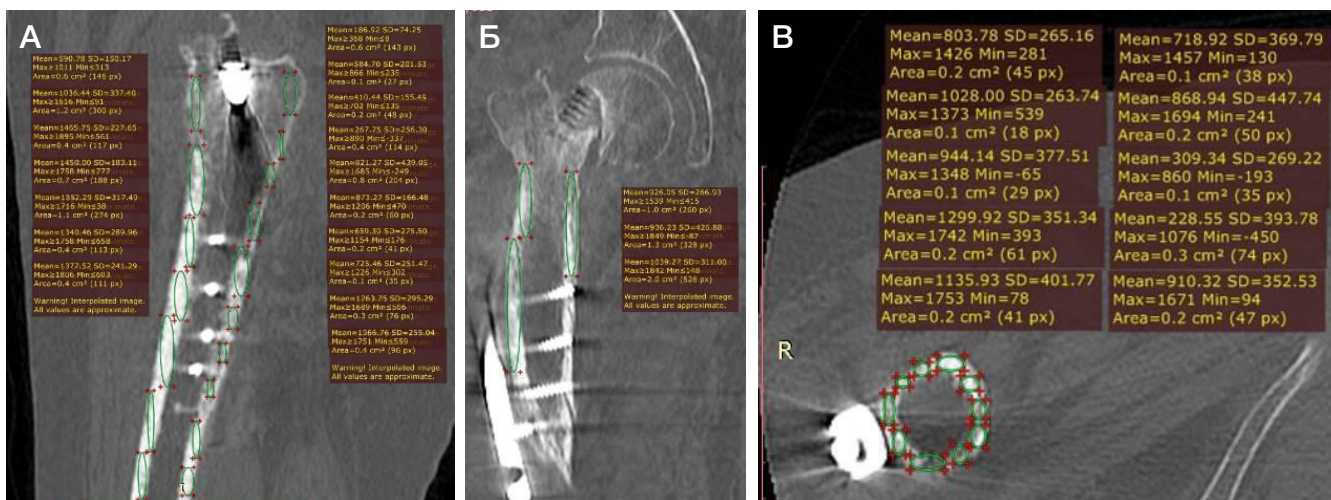


Рис. 2. Определение плотности опорных зон кости в области вертлужной впадины на основе КТ пациента 73 лет в сагиттальной, горизонтальной и фронтальной проекциях. А. Оценка плотности в сагиттальной проекции. Б. Оценка плотности во фронтальной проекции. В. Оценка плотности в горизонтальной проекции. Общее среднее значение плотности костной ткани по шкале Хаунсфилда — 869,13 HU

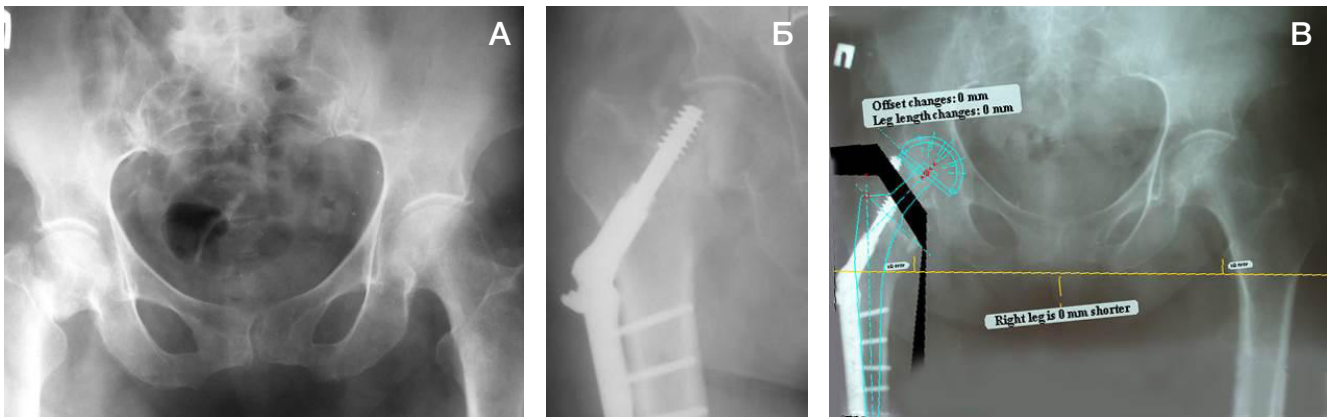


Рис. 3. Обзорная рентгенограмма таза, правого ТБС в прямой проекции пациента 73 лет. Диагноз: состояние после остеосинтеза системой DHS. Ложный сустав шейки правой бедра. **А.** Рентгенограмма при поступлении на оперативное лечение- остеосинтез системой DHS правого бедра. **Б.** Рентгенограмма после остеосинтеза системой DHS. **В.** Определение размеров и позиционирование компонентов эндопротеза с помощью программы ТравмаКад, версии 2.4. (Планируемый размер вертлужного компонента — 50, бедренного компонента — 4.)

методов: использовали рентгенограммы таза с захватом ТБС в прямой-задней проекции и накладывали на нее шаблоны компонентов эндопротеза (скиц) для определения размера импланта.

После предоперационной подготовки в обеих исследуемых группах было проведено оперативное лечение — тотальное эндопротезирование ТБС.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценку результатов проводили на основании соответствия размеров компонентов эндопротеза, которые определяли в предоперационном периоде и во время самой операции (интраоперационно). У пациентов с остеоартрозом и аваскулярным некрозом головки бедра в основной группе точность определения размеров импланта была выше, но сопоставима с контрольной группой ($p > 0,05$), в подгруппе с посттравматической патологией была отмечена статистически значимая разница по точности определения предполагаемых размеров компонентов эндопротеза в основной и контрольной группах ($p_{\kappa} = 0,002$). Основные результаты и точность определения размеров импланта в зависимости от нозологии и примененного метода

предоперационного планирования продемонстрированы в табл. 1 и на рис. 6.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Сопоставимость результатов у пациентов с остеоартрозом и асептическим некрозом в основной и контрольных группах может быть связана с незначительными анатомическими нарушениями сегмента таза и нижней конечности, в то время как у пациентов с посттравматической патологией планируемые размеры компонентов эндопротеза в контрольной группе не соответствовали фактически установленной более чем в половине случаев, что говорит о низкой эффективности применения стандартного метода планирования для данной группы пациентов, ввиду более выраженной нарушенной анатомии сегментов в результате перелома, последствий остеосинтеза и реконструктивных операций, а также нарушения анатомии ТБС, конгруэнтности суставных поверхностей, вторичной деформации таза и позвоночника, укорочения нижней конечности более чем на 3 см [10–12].

В результате анализа был создан алгоритм выбора различных методов предоперационного планирования в

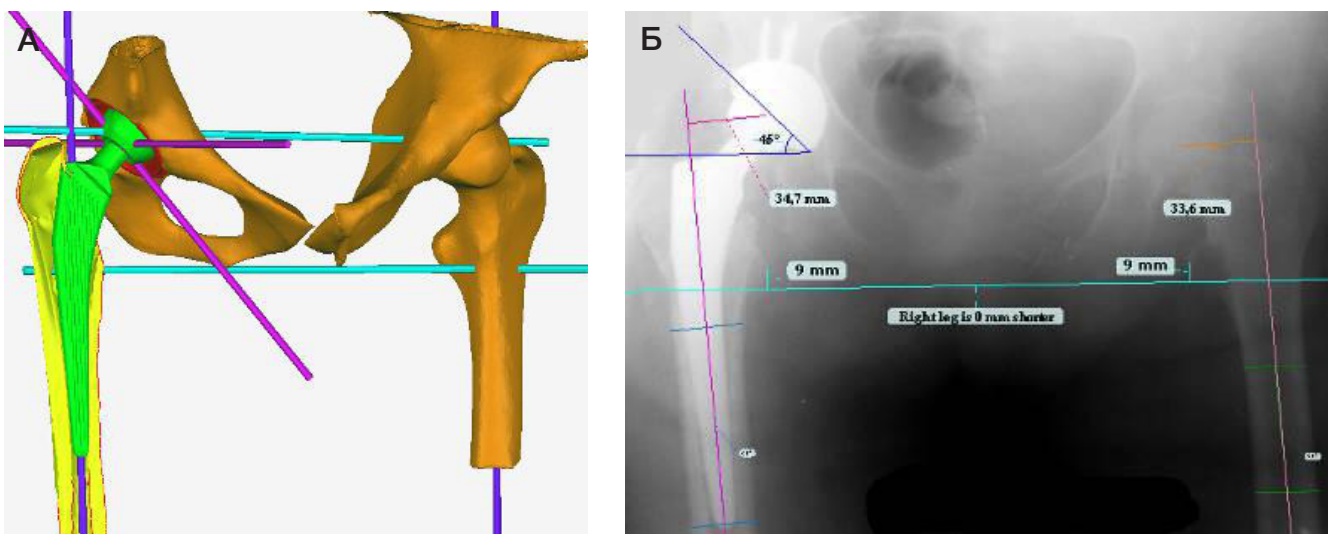


Рис. 4. Пациентка, 73 года. Сравнение размеров компонентов эндопротеза при предоперационном планировании на основе объемного моделирования и после проведения эндопротезирования ТБС. **А.** Объемная модель правого ТБС с виртуальной установкой компонентов эндопротеза (планируемый размер вертлужного компонента — 52, бедренного компонента — 6). **Б.** Обзорная рентгенограмма таза и правого ТБС после установки эндопротеза, установленные размеры вертлужного и бедренного компонентов соответствовали запланированным

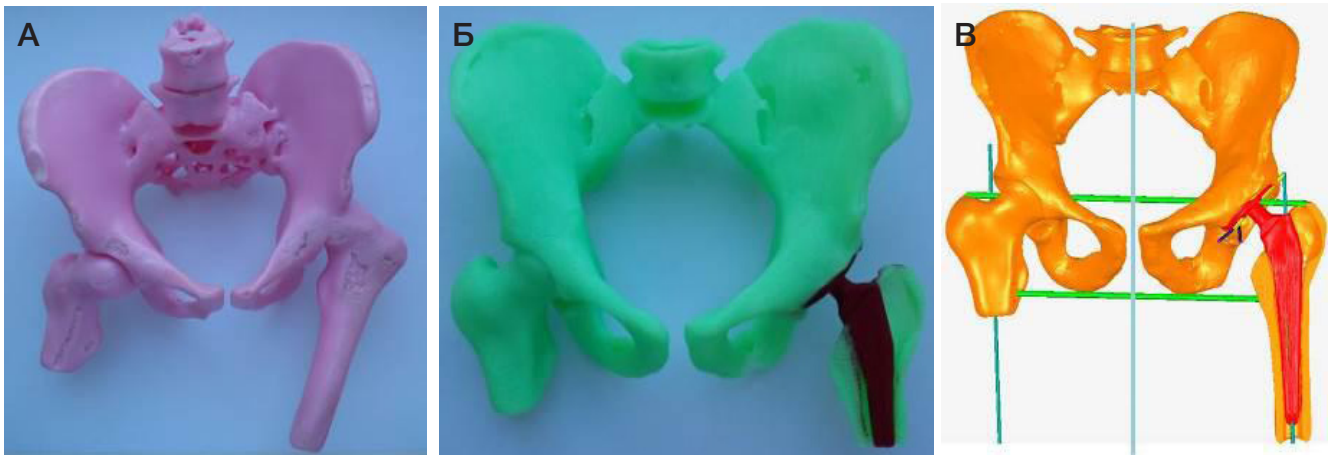


Рис. 5. Пациент, 45 лет. Предоперационное планирование на основе объемного прототипирования. **А.** Напечатанная 3D-модель ТБС до эндопротезирования. **Б.** Напечатанная 3D-модель ТБС после проведения эндопротезирования. **В.** Предоперационное планирование артропластики правого ТБС на основе объемного моделирования

Таблица 1. Точность определения размеров компонентов эндопротеза в зависимости от нозологической формы дегенеративно-дистрофических заболеваний ТБС (%)

	Остеоартроз (подгруппа I)		Аваскулярный некроз головки бедра (подгруппа II)		Посттравматическая патология (подгруппа III)	
	Контрольная группа	Основная группа	Контрольная группа	Основная группа	Контрольная группа	Основная группа
Число человек	$n = 33$	$n = 34$	$n = 29$	$n = 30$	$n = 46$	$n = 52$
Точность определения размеров компонентов эндопротеза (%)	81,82	85,29 ($p_x = 0,7$)	82,76	86,67 ($p_x = 0,68$)	47,83	78,85 ($p_x = 0,002$)

Примечание: p_x — статистическая значимость различий с контрольной группой.

зависимости от формы дегенеративно-дистрофических поражений ТБС и выраженности его анатомических нарушений (табл. 2).

ВЫВОДЫ

Предложенный подход к выбору технологии предоперационного планирования позволяет точно определить размер компонентов эндопротеза, а также способствует правильной ориентации и позиционированию компонентов эндопротеза при проведении артропластики ТБС. Предложенный алгоритм трехэтапной методики показал более высокую эффективность предоперационного

планирования и индивидуального проектирования для пациентов с различной нозологической формой дегенеративно-дистрофических заболеваний ТБС по сравнению со стандартным методом и позволил точно определить размер компонентов эндопротеза. Предоперационное планирование эндопротезирования ТБС по предложенной методике позволяет оценить характеристики патологического процесса на локальном и системном уровнях. Наиболее сложная ситуация отмечена у пациентов с посттравматической патологией ТБС. Это связано с тем, что у данной группы пациентов, как правило, имеется значимое разрушение костных структур в опорных зонах бедра и вертлужной впадины.

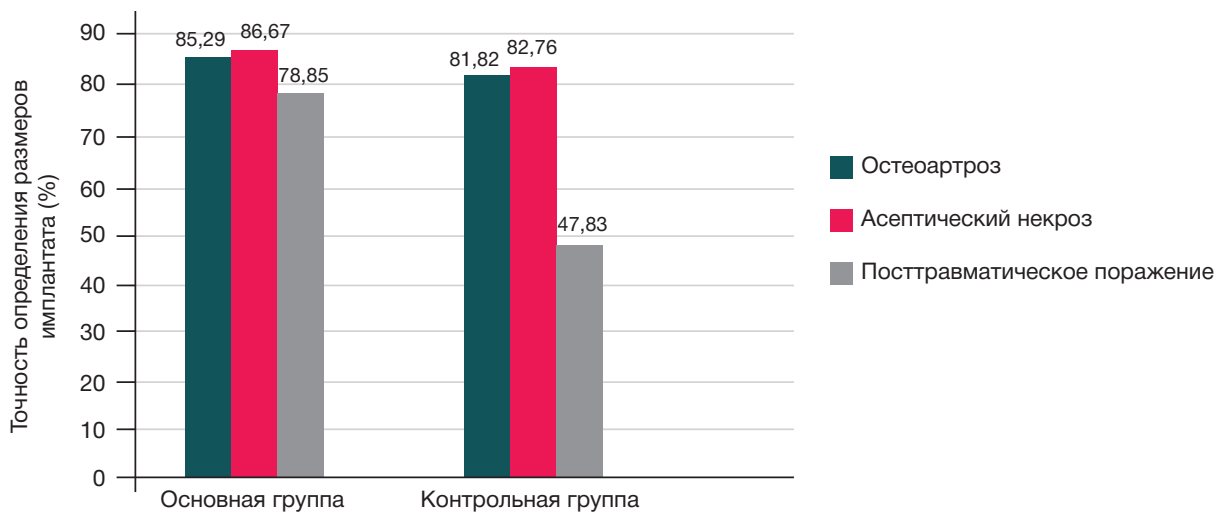


Рис. 6. Точность определения размеров имплантата при различных способах предоперационного проектирования

Таблица 2. Выбор техники предоперационного планирования в зависимости от формы дегенеративно-дистрофических поражений ТБС

Группы пациентов	Этапы проведения предоперационного планирования
Пациенты с аваскулярным некрозом головки бедра, первичным остеоартрозом, без выраженных анатомических нарушений	<p>Определение на основе КТ по шкале Хаунсфилда плотности костной ткани вертлужной впадины в области опорных зон.</p> <p>Использование автоматизированной программы для определения размеров компонентов эндопротеза на основе 2D-проектирования</p>
Пациенты с аваскулярным некрозом головки бедра, первичным остеоартрозом с выраженной нарушенной анатомией (вторичной деформацией позвоночника, таза, анкилоз, ригидность, укорочение нижней конечности более чем на 3 см)	<p>Определение на основе КТ по шкале Хаунсфилда плотности костной ткани вертлужной впадины в области опорных зон.</p> <p>Использование автоматизированной программы для определения размеров компонентов эндопротеза на основе 2D-проектирования</p>
Пациенты с посттравматической патологией ТБС после проведения различных видов оперативного лечения (остеосинтеза) на проксимальном отделе бедра, а также после переломов вертлужной впадины	<p>Проведение предоперационного планирования с помощью создания 3D-объемных моделей</p>

Литература

1. Khoziainova SS, et al. Physical therapy in the rehabilitation of patients after endoprosthetic replacement of major joints in the lower extremities: a scientometric analysis of evidence-based studies. *Vopr kurortol fizioter lech fiz kul't.* 2019; 96 (6): 22. DOI: 10.17116/kurort20199606122. Russian.
2. Thirion T, Georis P, Gillet P. Preoperative planning interest of a total hip prosthesis. *Rev Med Liege.* 2019; 74 (11): 593–597.
3. Huo Jet et al. Value of 3D preoperative planning for primary total hip arthroplasty based on artificial intelligence technology. *J Orthop Surg Res.* 2021; 16 (1): 156. DOI: 10.1186/s13018-021-02294-9.
4. Knafo Y, Houfani F, Zaharia B, Egrise F, Clerc-Urmès I, Mainard D. Value of 3D preoperative planning for primary total hip arthroplasty based on biplanar weightbearing radiographs. *BioMed Research International.* 2019; 2019: 1–7. DOI: 10.1155/2019/1932191.
5. Moraliidou M, Di Laura A, Henckel J, Hothi H, Hart AJ. Three-dimensional pre-operative planning of primary hip arthroplasty: a systematic literature review. *EFORT Open Reviews.* 2020; 5 (12): 845–855. DOI: 10.1302/2058-5241.5.200046.
6. Alagha MA, Logishetty K, O'Hanlon C, Liddle AD, Cobb J. Three-dimensional preoperative planning software for hip resurfacing arthroplasty. *Bioengineering (Basel).* 2023; 10 (8): 939. DOI: 10.3390/bioengineering10080939.
7. Schiffner E, et al. Is computerised 3D templating more accurate than 2D templating to predict size of components in primary total hip arthroplasty. *HIP International.* 2019; 29 (3): 270–275. DOI: 10.1177/1120700018776311.
8. Ding X, et al. Value of preoperative three-dimensional planning software (AI-HIP) in primary total hip arthroplasty: a retrospective study. *J Int Med Res.* 2021; 49 (11). DOI: 10.1177/03000605211058874.
9. Inoue D, et al. Value of computed tomography-based three-dimensional surgical preoperative planning software in total hip arthroplasty with developmental dysplasia of the hip. *Journal of Orthopaedic Science.* 2015; 20 (2): 340–46. DOI: 10.1007/s00776-014-0683-3.
10. Zheng Cao, Wei Yang, Minzhi Yang, Xiangpeng Kong, Yi Wang, Renwen Guo, et al. Application of preoperative digital-template planning in total hip arthroplasty via direct anterior approach. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi.* 2019; 33 (11): 1374–1378. DOI: 10.7507/1002-1892.201903108. In Chinese.
11. Takegami Y, Komatsu D, Seki T, Ishiguro N, Hasegawa Y. Total hip arthroplasty after failed curved intertrochanteric varus osteotomy for avascular necrosis of the femoral head. *Nagoya J Med Sci.* 2016; 78 (1): 89–97. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4767517/>.
12. Gautam D, Gupta S, Malhotra R. Total hip arthroplasty in acetabular fractures. *J Clin Orthop Trauma.* 2020; 11 (6): 1090–8. DOI: 10.1016/j.jcot.2020.10.037.

References

1. Khoziainova SS, et al. Physical therapy in the rehabilitation of patients after endoprosthetic replacement of major joints in the lower extremities: a scientometric analysis of evidence-based studies. *Vopr kurortol fizioter lech fiz kul't.* 2019; 96 (6): 22. DOI: 10.17116/kurort20199606122. Russian.
2. Thirion T, Georis P, Gillet P. Preoperative planning interest of a total hip prosthesis. *Rev Med Liege.* 2019; 74 (11): 593–597.
3. Huo Jet et al. Value of 3D preoperative planning for primary total hip arthroplasty based on artificial intelligence technology. *J Orthop Surg Res.* 2021; 16 (1): 156. DOI: 10.1186/s13018-021-02294-9.
4. Knafo Y, Houfani F, Zaharia B, Egrise F, Clerc-Urmès I, Mainard D. Value of 3D preoperative planning for primary total hip arthroplasty based on biplanar weightbearing radiographs. *BioMed Research International.* 2019; 2019: 1–7. DOI: 10.1155/2019/1932191.
5. Moraliidou M, Di Laura A, Henckel J, Hothi H, Hart AJ. Three-dimensional pre-operative planning of primary hip arthroplasty: a systematic literature review. *EFORT Open Reviews.* 2020; 5 (12): 845–855. DOI: 10.1302/2058-5241.5.200046.
6. Alagha MA, Logishetty K, O'Hanlon C, Liddle AD, Cobb J. Three-dimensional preoperative planning software for hip resurfacing arthroplasty. *Bioengineering (Basel).* 2023; 10 (8): 939. DOI: 10.3390/bioengineering10080939.
7. Schiffner E, et al. Is computerised 3D templating more accurate than 2D templating to predict size of components in primary total hip arthroplasty. *HIP International.* 2019; 29 (3): 270–275. DOI: 10.1177/1120700018776311.
8. Ding X, et al. Value of preoperative three-dimensional planning software (AI-HIP) in primary total hip arthroplasty: a retrospective study. *J Int Med Res.* 2021; 49 (11). DOI: 10.1177/03000605211058874.
9. Inoue D, et al. Value of computed tomography-based three-dimensional surgical preoperative planning software in total hip arthroplasty with developmental dysplasia of the hip. *Journal of Orthopaedic Science.* 2015; 20 (2): 340–46. DOI: 10.1007/s00776-014-0683-3.
10. Zheng Cao, Wei Yang, Minzhi Yang, Xiangpeng Kong, Yi Wang, Renwen Guo, et al. Application of preoperative digital-template planning in total hip arthroplasty via direct anterior approach. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi.* 2019; 33 (11): 1374–1378. DOI: 10.7507/1002-1892.201903108. In Chinese.
11. Takegami Y, Komatsu D, Seki T, Ishiguro N, Hasegawa Y. Total hip arthroplasty after failed curved intertrochanteric varus osteotomy for avascular necrosis of the femoral head. *Nagoya J Med Sci.* 2016; 78 (1): 89–97. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4767517/>.
12. Gautam D, Gupta S, Malhotra R. Total hip arthroplasty in acetabular fractures. *J Clin Orthop Trauma.* 2020; 11 (6): 1090–8. DOI: 10.1016/j.jcot.2020.10.037.