

Косяков А.Н.¹, Гребенников К.А.¹, Милосердов А.В.¹, Федин Е.М.¹, Нечай А.А.²,
Галузинский А.А.³, Бурбурская С.В.³

¹Киевский городской центр эндопротезирования, хирургии и реабилитации,
Киевская городская клиническая больница № 12, г. Киев, Украина

²Компания «УАВА», г. Киев, Украина

³Лаборатория медицинской 3D-печати, г. Киев, Украина

3D-планирование и прототипирование при сложном первичном эндопротезировании тазобедренного сустава

Резюме. Актуальность. Эндопротезирование крупных суставов — одно из наиболее успешных оперативных вмешательств за последнее столетие. С каждым годом мы наблюдаем увеличение количества тотальных артропластик как во всем мире, так и в нашей стране. Соответственно, растет количество разновидностей имплантов и совершенствуются методики их установки. В случае простого первичного эндопротезирования предоперационное планирование можно провести при помощи стандартных шаблонов или соответствующего программного софта. При сложном первичном эндопротезировании, когда оперативному вмешательству предшествовали травмы, остеотомии, операции остеосинтеза, провести полноценное предоперационное планирование без длительной и трудоемкой подготовки очень тяжело. **Цель работы:** выполнить анализ предоперационного планирования и интраоперационной навигации при подготовке к сложному первичному эндопротезированию тазобедренного сустава с использованием пространственного 3D-моделирования и прототипирования. **Материалы и методы.** Наши пациенты — 2 женщины и 1 мужчина, возраст которых составил 31 год, 48 и 56 лет соответственно. Срок наблюдения — от 3 до 16 месяцев после тотального эндопротезирования тазобедренного сустава. Все пациенты до этого перенесли оперативные вмешательства в данной зоне. На этапах предоперационного обследования была проведена мультиспиральная компьютерная и магнитно-резонансная томография, на основании этих данных были напечатаны прототипы из пластика в натуральную величину. Было проведено предоперационное планирование и составлен план проведения оперативного вмешательства. **Результаты.** Пациентам выполнено тотальное эндопротезирование тазобедренного сустава с использованием имплантов механической фиксации. У двух пациентов выполнена корригирующая остеотомия проксимального отдела бедренной кости. Одному пациенту проведена костная аутопластика дна вертлужной впадины. Через 3 месяца после оперативного лечения наблюдалось полное восстановление функции, оценка по шкале Харриса составила 95,6 (95–97) балла. **Выводы.** Предоперационное планирование — очень важная часть подготовки к оперативному вмешательству. При подготовке к сложному первичному эндопротезированию суставов целесообразно использовать аддитивные технологии для изготовления пластиковой модели, которая позволит составить детальный план будущей операции и будет выполнять функцию интраоперационной навигации.

Ключевые слова: эндопротезирование; тазобедренный сустав; оперативное вмешательство; предоперационное планирование

Введение

На сегодняшний день эндопротезирование суставов становится все более востребованным оперативным лечением во всем мире. Количество выполняемых операций по поводу артропластики ежегодно возрастает как во всем мире, так и в нашей стране. Значительный рост операций обусловлен увеличением продолжительности жизни, усовершенствованием материалов и конструкции имплантов и техник операций. В структуре тотального эндопротезирования суставов артропластика тазобедренного сустава занимает ведущее место. По данным современных регистров, ежегодно в мире выполняется более 2 млн тотальных замещений тазобедренного сустава, и, согласно прогнозам, в ближайшие два десятилетия это число может увеличиться вдвое [1]. В развитых странах на 500 человек населения приходится одно эндопротезирование крупных суставов в год [2]. В Украине ежегодно выполняется около 8 тысяч операций по замене тазобедренного сустава, хотя реальная потребность в этих операциях на порядок больше [3].

Артропластика суставов является сложной технологической операцией и требует очень тщательного и взвешенного предоперационного планирования, в ходе которого хирург подбирает наиболее подходящую конструкцию протеза для данного пациента. Хирург должен учитывать несколько параметров, таких как пол, возраст, особенности анатомии, плотность костной ткани, наличие дефектов кости, деформации в зоне суставов, предшествующие операции, наличие металлофиксаторов, спейсера и т.д. [4].

Традиционно предоперационное планирование осуществляется по данным рентгенограмм с использованием стандартных шаблонов, предоставляемых фирмой-производителем. На этом этапе хирург может встретиться с рядом трудностей. Не все стандартные рентгенограммы имеют одинаковый процент увеличения. Даже при очень детальном планировании довольно часто остается погрешность в расчетах и размерах компонентов эндопротезов. Данный метод может быть применим только при обычном первичном эндопротезировании, а также при ревизионной артропластике без больших костных дефектов и деформаций в области сустава.

Все чаще в медицинской практике появляются цифровые рентгенологические установки, которые несут меньшую лучевую нагрузку и с помощью которых можно сохранять изображение в международном стандарте хранения медицинских изображений — DICOM.

Использование цифровой рентгенографии дает более широкие возможности в предоперационном планировании как с использованием стандартных шаблонов, так и при помощи компьютерных технологий. На сегодняшний день на рынке существует много программных продуктов, позволяющих осуществлять предоперационное планирование эндопротезирования суставов: Merge OrthoCase™

компания «Watson Health» (<http://www.merge.com>), mediCAD компании «mediCAD Hectec» (<https://www.hectec.de>), Optinav компании «OptiNav Sp.» (<https://optinav.pl>) и др. [5].

Несмотря на ряд преимуществ, данные программные девайсы имеют некоторые недостатки и ограничения. Их высокая стоимость препятствует использованию этого программного продукта в системе отечественного здравоохранения. Преимуществом компьютерного планирования является возможность применения рентгенограмм не только в формате DICOM. Единственное требование к рентгеновским снимкам — наличие метки с известным диаметром. Данные программные продукты возможно использовать для предоперационного планирования эндопротезирования суставов только в случае не критично измененной анатомии сустава, отсутствия объемных дефектов и деформаций.

Для полноценной визуализации анатомических структур, оценки степени дефектов и деформаций в зоне суставов наиболее предпочтительным методом является компьютерная (КТ) и магнитно-резонансная томография (МРТ). На основании данных КТ и МРТ можно построить полноценную 3D-модель как в электронном виде, так и в натуральную величину из пластика. Преимущество данного подхода заключается в упрощении предоперационного планирования, при его применении появляется возможность наглядно оценить степень дефекта или деформации и составить оптимальный план оперативного лечения, провести операцию до операции на пластиковой модели [6–9].

Цель работы: выполнить анализ предоперационного планирования и интраоперационной навигации при подготовке к сложному первичному эндопротезированию тазобедренного сустава с использованием пространственного 3D-моделирования и прототипирования.

Материалы и методы

С 2016 г. в Киевском городском центре эндопротезирования в 86 случаях сложных эндопротезирования и остеосинтеза мы использовали 3D-моделирование и прототипирование в качестве предоперационного планирования.

Основной группой были пациенты с дисплазией тазобедренного сустава, гетеротипической оссификацией в области суставов, посттравматическими дефектами и деформациями костей в области тазобедренного, коленного, плечевого суставов, со сложными многооскольчатыми внутрисуставными переломами.

В предоперационном периоде всем пациентам выполнялась мультиспиральная компьютерная томография. При необходимости визуализации сосудисто-нервных образований использовали КТ с контрастированием и МРТ, а также их совмещали по уникальной методике, разработанной нашими специалистами [9]. На основании прове-

денного обследования строились компьютерные 3D-модели. При помощи 3D-принтера они воплощались в пластиковые прототипы в натуральную величину.

Наличие пластиковой модели позволяет полноценно оценить анатомические особенности данного пациента, провести полноценное предоперационное планирование предстоящей операции с использованием примерок официальных протезов и аугментов. Также очень важным моментом является возможность проведения хирургии в мастерской, что позволяет составить подробный план последующего оперативного лечения. Наличие стерильной пластиковой модели в операционной дает хирургу возможность полноценной навигации в условиях анатомических изменений и рубцовых деформаций. При наличии прототипа облегчается задача визуализации сосудов и нервов, что особенно важно для безопасности пациентов, перенесших несколько операций, со значительными анатомическими изменениями [9].

Результаты

Представляем самые сложные случаи первичного эндопротезирования тазобедренного сустава с использованием аддитивных технологий.

Клинический случай 1

Пациентка С., 31 год, считает себя больной с детства, когда был установлен диагноз «врожденный вывих правого бедра». В 2002 году было проведено оперативное вмешательство в объеме: остеотомия проксимального отдела правой бедренной кости по Шанцу — Илизарову (рис. 1 а–в).

На этапах предоперационной подготовки выполнена компьютерная томография, напечатана пластиковая модель таза и проксимального отдела бедренной кости. Проведены планирование и операции в мастерской на пластиковых моделях. Выполнено тотальное эндопротезирование тазобедренного сустава с проведением корригирующей остеотомии проксимального отдела бедренной кости и созданием крыши вертлужной впадины (рис. 1 г–ж). Проведение предоперационного планирования с использованием пластикового прототипа значительно сократило время операции. Через 3 месяца после оперативного лечения наблюдалось полное восстановление функции, оценка по шкале Харриса составила 97 баллов.

Клинический случай 2

Пациентка В., 48 лет, с диагнозом «левосторонний диспластический коксартроз 4-й ст., грубая деформация после остеотомии проксимального отдела левой бедренной кости, комбинированная контрактура левого тазобедренного сустава». Считает себя больной с детства, когда был установлен диагноз «врожденный вывих левого бедра». В 1982 г. проведено открытое вправление вывиха

бедра, в 1986 г. — остеотомия проксимального отдела левой бедренной кости, в 2000 г. — остеотомия и удлинение левой бедренной кости с применением аппарата внешней фиксации. В связи с наличием массивных костных дефектов было принято решение о создании трехмерной модели для визуализации взаиморасположения костей, сосудов и нервов.

На этапах предоперационной подготовки были выполнены КТ и МРТ. Для обеспечения создания качественной 3D-модели была использована авторская методика совмещения КТ- и МРТ-изображений [9]. В результате была создана трехмерная модель, которая точно передает пространственное размещение анатомических структур.

Прототип костей, сосудов и нервов был отпечатан в натуральную величину. На пластиковой модели с возможностью интраоперационной навигации было выявлено интимное прилегание сосудисто-нервных стволов к бедренной кости в зоне предстоящей операции, что значительно снизило риски при остеотомии бедра и эндопротезировании тазобедренного сустава. В послеоперационном периоде рекомендовано передвигаться с помощью дополнительной опоры. Через 3 месяца после операции отмечалось полное восстановление функций, оценка по шкале Харриса составила 95 баллов.

Клинический случай 3

Пациент С., 56 лет, с диагнозом «левосторонний посттравматический коксартроз 4-й ст. Состояние после остеосинтеза вертлужной впадины с наличием металлофиксаторов, ложный сустав дна вертлужной впадины слева». Считает себя больным на протяжении 2 лет, когда получил травму после падения с высоты. МОС костей таза слева провели в январе 2017 г.

При подготовке к оперативному лечению выполнена компьютерная томография, напечатана пластиковая модель. Составлен план и проведено оперативное вмешательство. Наличие пластикового прототипа в операционной позволило быстро обнаружить и удалить металлофиксаторы, которые были покрыты костной тканью через передний доступ. После этого было изменено положение пациента на операционном столе для заднего доступа, проведено тотальное эндопротезирование тазобедренного сустава, дефекты дна вертлужной впадины заполнены при помощи импакционной костной аутопластики. Полное восстановление функции наблюдалось через 3 месяца, оценка по шкале Харриса составила 95 баллов.

Обсуждение

Предоперационное планирование — одна из самых важных составляющих при подготовке к оперативному вмешательству. В большинстве случаев

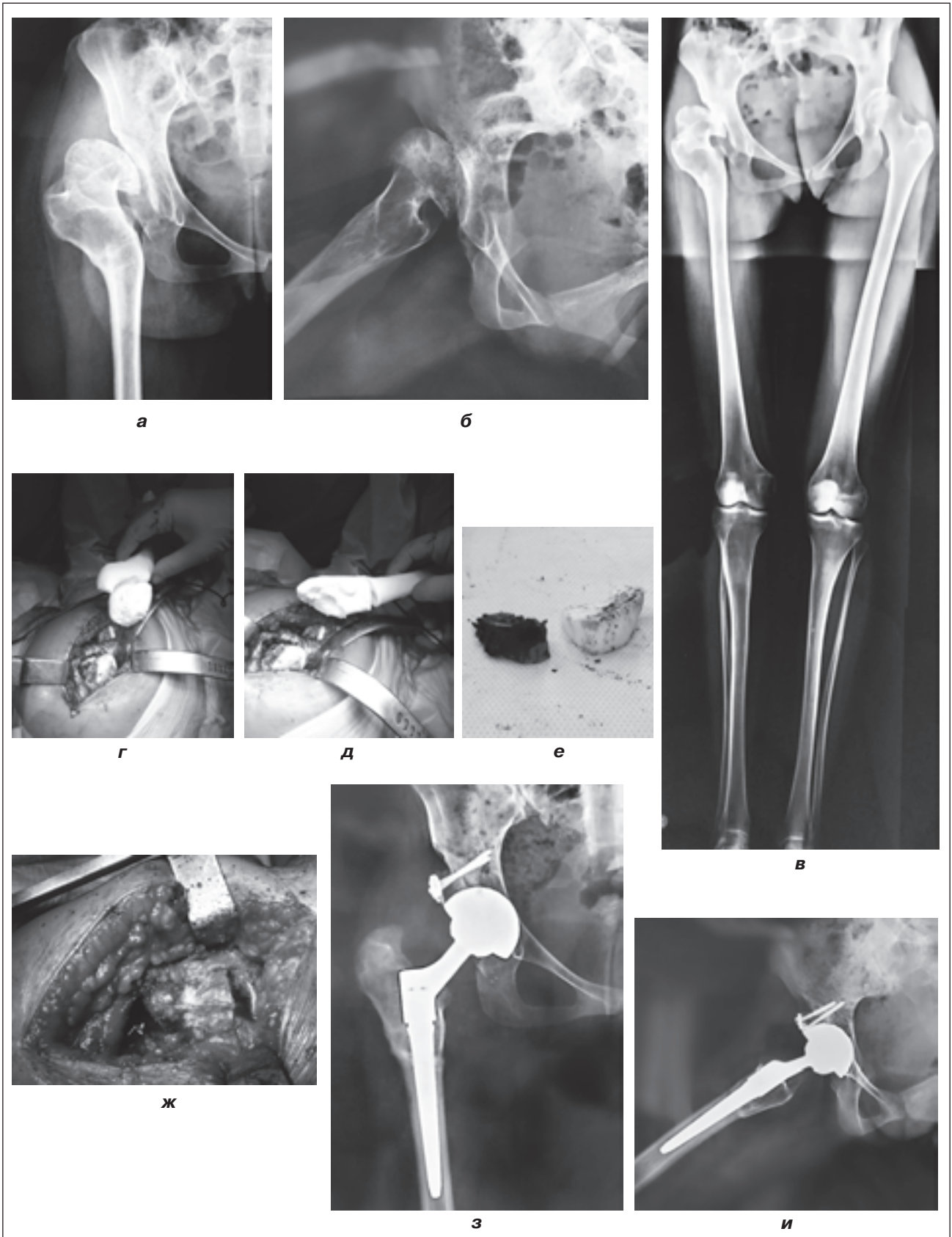


Рисунок 1. Пациентка С.: а, б – рентгенограммы тазобедренного сустава до операции; в – осевая рентгенограмма нижних конечностей; г–ж – этапы проведения эндопротезирования; з, и – рентгенограмма тазобедренного сустава через год после операции: прямая и боковая проекции

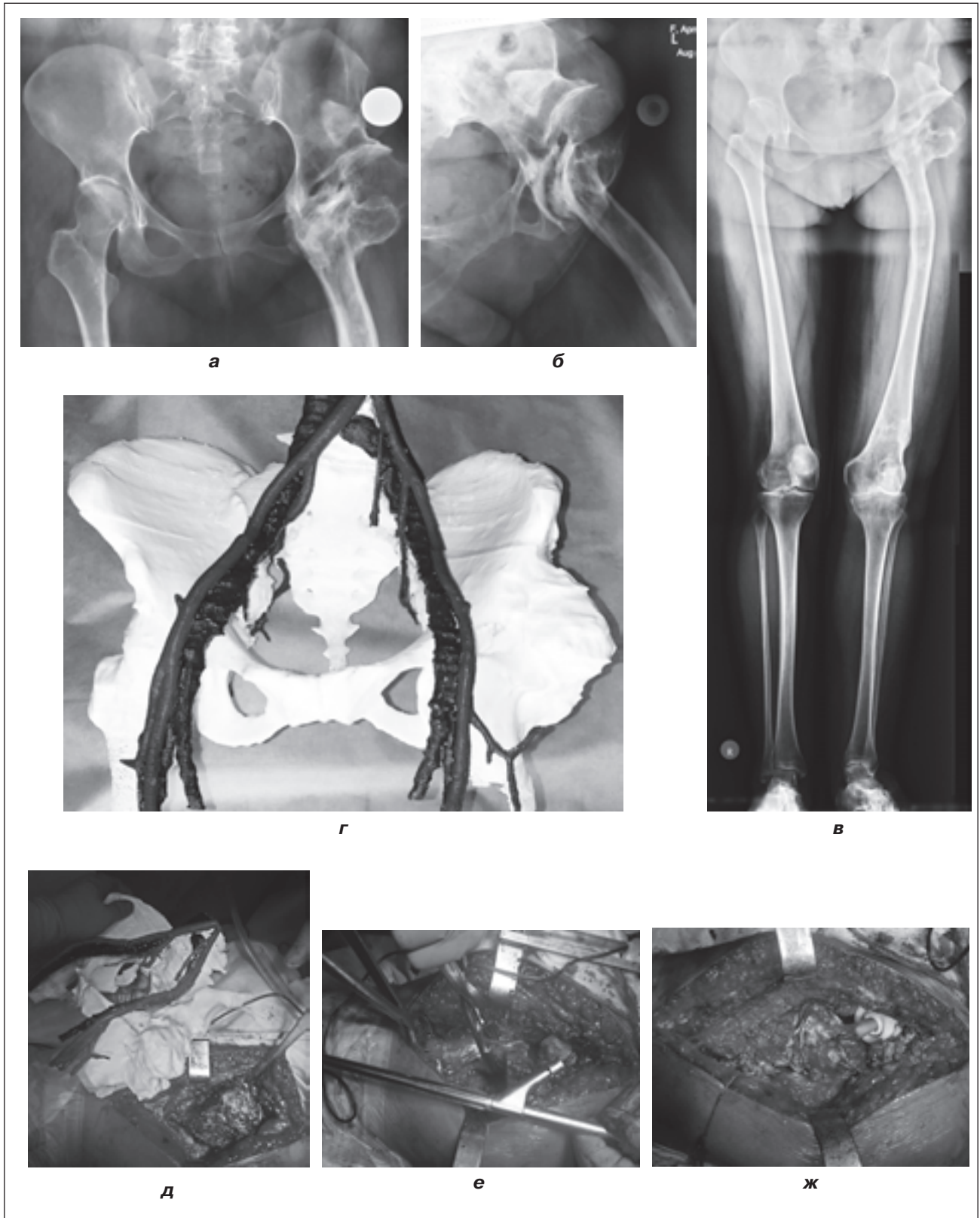
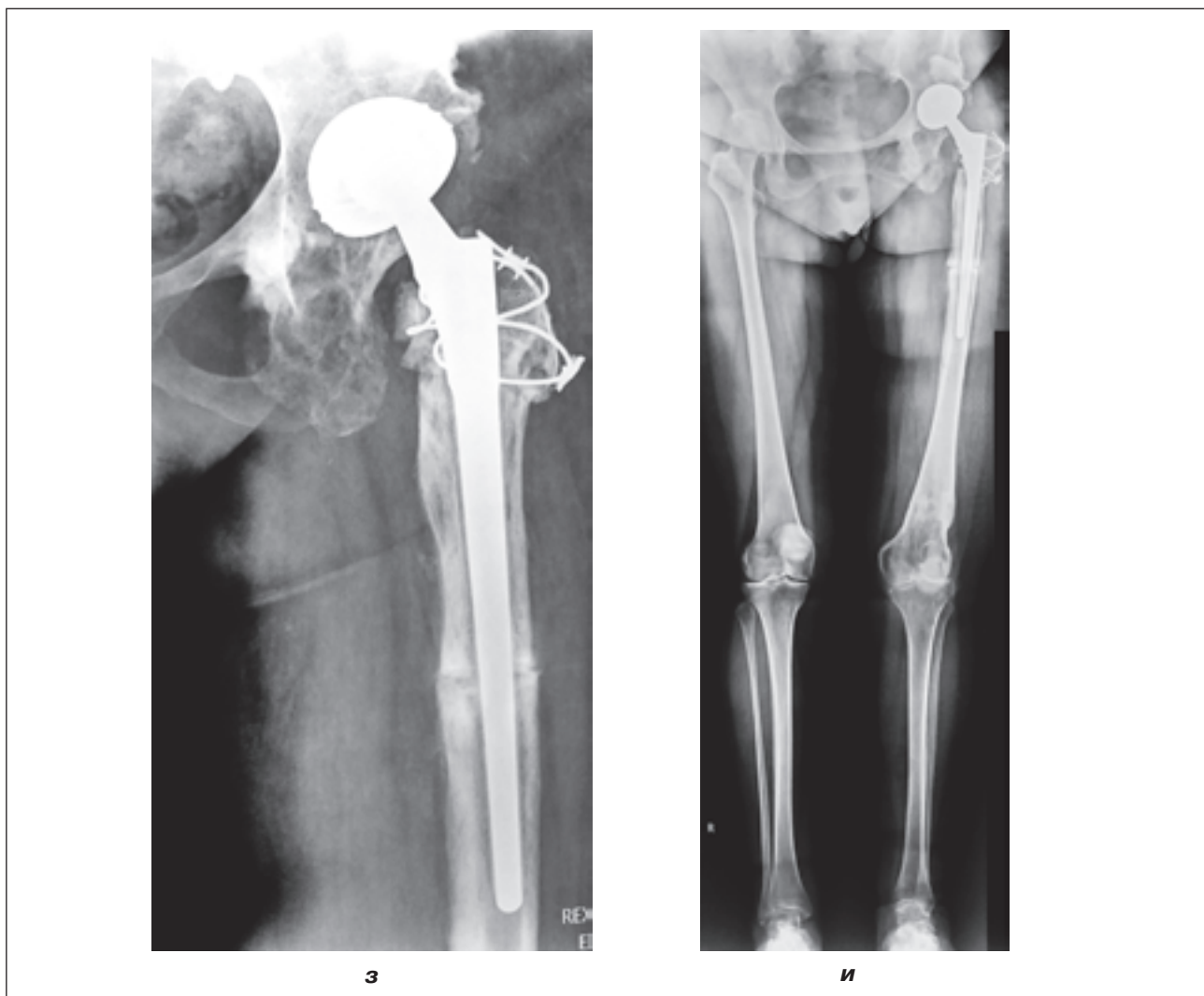


Рисунок 2. Пациентка В.: а, б — рентгенограммы тазобедренного сустава до операции; в — осевая рентгенограмма нижних конечностей; г — пластиковый прототип таза с сосудами и нервами; д–ж — этапы проведения артропластики тазобедренного сустава; з — рентгенограмма тазобедренного сустава через 6 месяцев после операции; и — осевая рентгенограмма нижних конечностей через 6 месяцев после артропластики →



Окончание рис. 2

простого первичного эндопротезирования суставов планирование не занимает много времени и возможно обойтись использованием шаблонов протеза, предоставленных фирмой-производителем, или одним из программных девайсов.

Предоперационная подготовка к сложной первичной артропластике занимает гораздо больше времени и требует большего объема диагностических исследований. В данном случае, кроме рентгенограммы пораженного сустава в двух проекциях, необходимы панорамный снимок нижних конечностей, мультиспиральная компьютерная и магнитно-резонансная томография, иногда с контрастированием.

При наличии больших деформаций и грубого нарушения анатомии необходимо создание пластикового прототипа, в некоторых случаях — с визуализацией сосудисто-нервных сплетений. Это позволит осуществить полноценное предоперационное планирование, провести операцию до опе-

рации, составить детальный план предстоящего оперативного вмешательства. Наличие стерильной пластиковой модели в операционной значительно облегчает навигацию и сокращает ятрогенные риски, время операции и кровопотерю. В конечном итоге значительно улучшаются результаты лечения данной крайне сложной категории пациентов.

Выводы

Тотальное эндопротезирование суставов является одним из наиболее успешных оперативных вмешательств за последнее столетие. Это высокотехнологическая операция, которая требует очень тщательного, а иногда длительного предоперационного планирования. При подготовке к сложной первичной артропластике выполнение мультиспиральной компьютерной и магнитно-резонансной томографии является обязательным этапом в обследовании больных. В случае наличия грубых

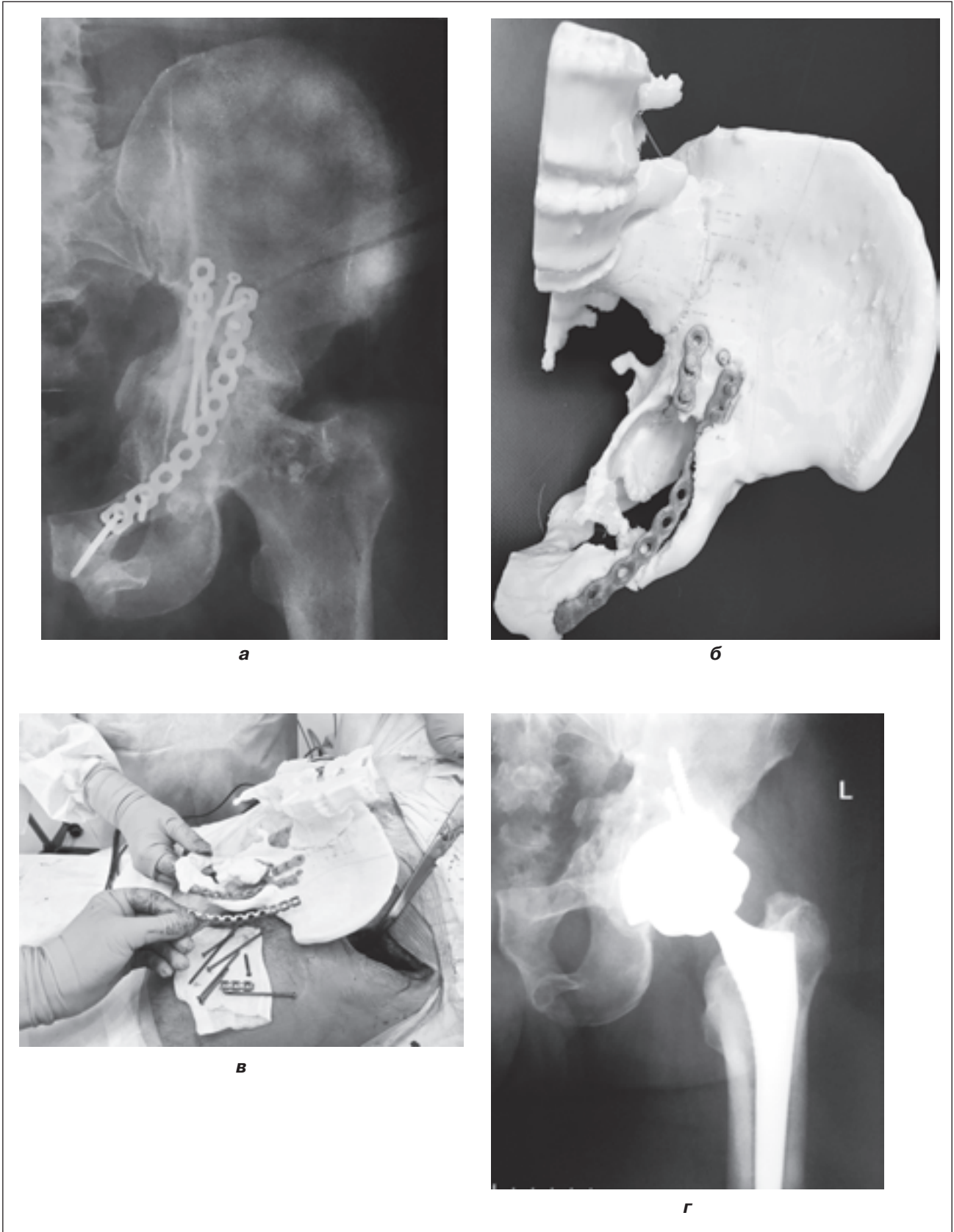


Рисунок 3. Пациент С.: а – рентгенограмма тазобедренного сустава до операции; б – пластиковый прототип таза; в – интраоперационная навигация; г – рентгенограмма тазобедренного сустава через 18 месяцев после операции

нарушений анатомии будет целесообразно создать пластиковый прототип для проведения полноценного планирования и составления плана оперативного вмешательства.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии какого-либо конфликта интересов и собственной финансовой заинтересованности при подготовке данной статьи.

Список литературы

1. Цед А.Н., Дулаев А.К. Первичное эндопротезирование тазобедренного сустава у больных с терминальной стадией хронической болезни почек (обзор литературы). *Травматология и ортопедия России*. 2018. Т. 24, № 2. С. 146-153.
2. Ошукнов С.А. Хирургическое лечение перипротезной инфекции тазобедренного и коленного суставов: Автореф. канд. мед. наук, 2017. С. 3.
3. Лоскутов А.Е., Олейник А.Е., Ковбаса Е.А. Клинико-статистический анализ выживаемости эндопротезов тазобедренного сустава. *Ортопедия, травматология и протезирование*. 2014. № 2. С. 11-15.
4. Косяков А.Н., Гребенников К.А., Милосердов А.В., Федін Е.М., Нечай А.А. Возмещение костных дефектов вертлужной впадины с использованием аддитивных технологий. *Вісник ортопедії, травматології та протезування*. 2018. № 4. С. 64-74.

5. Weber T. *Functional outcome of navigated minimally invasive total hip endoprosthesis using musculoskeletal modeling*. University of Applied Science Regensburg, 2010. P. 2.

6. Lantada A.D., Morgado P.L. *Enhancing product development through CT images, computer-aided design and rapid manufacturing: present capabilities, main applications and challenges* N. Homma (Ed.), *Theory and Applications of CT Imaging and Analysis*. InTech, Rijeka, Croatia, 2011. P. 269-290.

7. Torres K., Staśkiewicz G., Śnieżyński M., Drop A., Maciejewski R. *Application of rapid prototyping techniques for modelling of anatomical structures in medical training and education*. *Folia Morphol.* 2011. Vol. 70, № 1. P. 1-4.

8. Hnatkova E., Kratky P., Dvorak Z. *Production of anatomical models via rapid prototyping*. *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*. 2014. Vol. 8. P. 479-486.

9. Патент України 135130; МПК G09B 23/28; A61B 34/10; A61B 5/055; A61B 34/20 (2006.01); B33Y 50/00; G16H 30/40 (2018.01); G06T 15/08 (2011.01); G06T 19/00; Спосіб інтегрованого тривимірного моделювання індивідуальних анатомічних структур / Косяков О.М., Гребенников К.О., Милосердов А.В., Федін Е.М., Бурбурська С.В., Галузинський О.А., Ніколов М.О., Козей А.С.; Заявл. 09.04.2019; Опубл. 10.06.2019, Бюл. № 11/2019.

Получено/Received 08.08.2019

Рецензировано/Revised 23.08.2019

Принято в печать/Accepted 02.09.2019 ■

Косяков О.М.¹, Гребенников К.А.¹, Милосердов А.В.¹, Федін Е.М.¹, Нечай А.А.², Галузинський О.А.³, Бурбурська С.В.³

¹Київський міський центр ендопротезування, хірургії і реабілітації, Київська міська клінічна лікарня № 12, м. Київ, Україна

²Компанія «UYAWA», м. Київ, Україна

³Лабораторія медичного 3D-друку, м. Київ, Україна

3D-планування і прототипування при складному первинному ендопротезуванні кульшового суглоба

Резюме. Актуальність. Эндопротезування великих суглобів — одне з найбільш успішних оперативних втручань за останнє сторіччя. З кожним роком ми спостерігаємо збільшення кількості тотальних артропластик як у всьому світі, так і в нашій країні. Відповідно, зростає кількість різновидів імплантів і вдосконалюється методика їх імплантації. У випадку простого первинного ендопротезування передопераційне планування можна провести за допомогою стандартних шаблонів або відповідного програмного софту. При складному первинному ендопротезуванні, коли оперативному втручанню передували травми, остеотомії, операції остеосинтезу, провести повноцінне передопераційне планування без тривалої та трудомісткої підготовки дуже складно. **Мета роботи:** виконати аналіз передопераційного планування й інтраопераційної навігації при підготовці до складного первинного ендопротезування кульшового суглоба з використанням просторового 3D-моделювання та прототипування. **Матеріали та методи.** Наші пацієнти — 2 жінки та 1 чоловік, вік яких становив 31 рік, 48 та 56 років. Строк спостереження — від 6 до 19 місяців після тотального ендопротезування кульшового суглоба. Усі пацієнти раніше перенесли оперативні втручання в даній

зоні. На етапах передопераційного обстеження була проведена мультиспіральна комп'ютерна та магнітно-резонансна томографія, на підставі цих даних були надруковані прототипи з пластика в натуральну величину. Було проведено передопераційне планування та складено план проведення оперативного втручання. **Результати.** Пацієнтам виконано тотальне ендопротезування кульшового суглоба з використанням імплантів механічної фіксації. У двох пацієнтів виконана коригуюча остеотомія проксимального відділу стегнової кістки. Одному пацієнтові проведена кісткова автопластика дна вертлужної западини. Через 3 місяці після оперативного лікування спостерігалось повне відновлення функції, оцінка за шкалою Харріса становила 95,6 (95–97) бала. **Висновки.** Передопераційне планування — дуже важлива частина підготовки до оперативного втручання. При підготовці до складного первинного ендопротезування суглобів доцільно використання адитивних технологій для виготовлення пластикової моделі, що дозволить скласти детальний план майбутньої операції і буде виконувати функцію інтраопераційної навігації.

Ключові слова: ендопротезування; кульшовий суглоб; операційне втручання; передопераційне планування

O.M. Kosiakov¹, K.A. Hrebennikov¹, A.V. Miloserdov¹, E.M. Fedin¹, A.A. Necha², O.A. Haluzynsky³, S.V. Burburska³
¹Kyiv Municipal Center of Endoprosthesis, Surgery and Rehabilitation, Kyiv Municipal Clinical Hospital 12, Kyiv, Ukraine

²UYAWA Company, Kyiv, Ukraine

³Laboratory of Medical 3D Printing, Kyiv, Ukraine

3D planning and prototyping in complex primary total hip arthroplasty

Abstract. Background. Replacement of large joints is one of the most successful surgical interventions over the last century. Every year we observe an increase in the number of total arthroplasties, both all over the world and in our country. Accordingly, the number of implant types is growing and the methods of their installation are improving. In case of a simple primary joint replacement, preoperative planning can be performed using standard templates or appropriate software. In case of a complex primary arthroplasty, when surgical intervention has been preceded by injuries, osteotomy, osteosynthesis, it is very difficult to carry out a comprehensive preoperative planning without a thorough time-consuming preparation. Objective: to analyze preoperative planning and intraoperative navigation when preparing for a primary total hip replacement using spatial 3D modeling and prototyping. **Materials and methods.** Our patients: 2 females and 1 male, aged 31, 48, and 56 years, respectively. Observation period ranged from 3 to 16 months after total hip arthroplasty. All patients had been previously

operated on the hip. At the stages of preoperative examination, a multislice computed tomography and magnetic resonance imaging were carried out and, accordingly, full-size plastic prototypes were printed. Preoperative planning was done, and an intervention plan was elaborated. **Results.** The patients underwent uncemented total hip arthroplasty. Two patients underwent an osteotomy of the proximal femur. One patient was subjected to bone grafting of the acetabulum. Three months after surgical treatment, a complete restoration of the function was observed, with Harris Hip Score of 95.6 (95–97) points. **Conclusions.** Preoperative planning is a very important part of preparation for surgical intervention. When preparing for a complex primary joint replacement, it is advisable to use additive technologies for manufacturing a plastic model that will allow for elaboration of a detailed plan for a future operation as well as perform the function of intraoperative navigation.

Keywords: arthroplasty; hip joint; surgical intervention; preoperative planning