

ЗАСТОСУВАННЯ 3D-МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ ПЛАНУВАННІ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ТОТАЛЬНОГО ЕНДОПРОТЕЗУВАННЯ У ПАЦІЄНТІВ З ПУХЛИНАМИ КІСТОК (КЛІНІЧНІ ПРИКЛАДИ)

У статті представлено клінічні випадки передопераційного планування за допомогою надрукованих 3D макетів кістки, індивідуального ендопротеза та успішного проведення резекції кістки з новоутворенням, тотального ендопротезування суглоба у 2 пацієнтів з злякисними пухлинами кісток.

Виготовлення 3D макету-прототипу та проектування індивідуального ендопротезу дало змогу підбору розмірів імплантату та його примірювання до операції. Маючи тривимірну модель кістки пацієнтів, були спроектовані розміри майбутніх імплантатів, враховуючи всі анатомічні особливості (товщина кортикального шару кістки, форма кісткового каналу та ін.). Виготовлені макети-прототипи мали високу точність, що забезпечило можливість вимірювання розміщення певних точок або поверхонь за допомогою фізичних методів до та під час хірургічного втручання, дозволило успішно провести складне хірургічне втручання, зменшивши крововтрату та тривалість операції, отримати добрий функціональний результат.

Ключові слова: 3D-моделювання, індивідуальне тотальне ендопротезування, злякисні пухлини кісток.

ВСТУП

Органозберігаюча резекція кістки та ендопротезування суглобів при новоутвореннях кісток є найбільш ефективним способом відновлення порушеної функції кінцівки та лікування пухлини. Первинне індивідуальне тотальне ендопротезування суглоба показано при значному ураженні доброякісними або злякисними пухлинами епіметафізів великих кісток в схемі лікування. Органозберігаючу широку резекцію кістки проводять в одному блоці з пухлиною, на рівні здорових тканин. Відступають від рентгенологічного краю новоутворення в боки здорової кістки на 5 см, таким чином дефект після резекції сягає розміру 15-25 см. При такому значному дефекті, для стабільної фіксації ніжка ендопротеза має мати достатню довжину і фіксуватись на кістковому цементі. Складна конфігурація дефекту зумовлює пошук оптимальної

конфігурації імплантату.

Завдяки швидкому розвитку медичної обробки зображень і 3D друку, майбутнє ортопедичних процедур більше зосереджується на налаштуванні та точності хірургічних процедур. 3D друк може використовуватися для створення складних ортопедичних імплантатів з цифрових файлів, які розроблені з медичних зображень. 3D друковані імплантати можна використовувати для поліпшення хірургічної точності та результатів лікування пацієнтів. Оскільки анатомічні об'єкти представляють собою сукупність складних поверхонь, які не завжди піддаються стандартному виміру, можливість штучного відтворення за даними томографії індивідуального фізичного макету-прототипу дозволяє зняти відбитки цих поверхонь (наприклад за допомогою зліпка або сканування) для подальшого точного проектування навігаційних хірургічних шаблонів, інструментів, фіксаторів і імплантатів, підбору тактики хірургічного втручання і виду доступу. Можливість використовувати віддрукований макет-прототип кістки та прототип майбутнього імплантату, дозволяє провести "операцію до операції". Наприклад, обробити пластикову кістку інструментами та фізично примірити імплантат. Таким чином, можна вносити виправлення в форму та розміри майбутнього імплантату, запобігаючи можливим помилкам проектування. Проектування та друк імплантатів у стали реальністю для пацієнтів і починається з проектування та аналізу ортопедичних імплантатів, а потім слідує застосування 3D-друку у виробництві ортопедичних імплантатів та специфічних для пацієнтів інструментів. Комерціалізація цих продуктів може вимагати іншого підходу або додаткового тестування в порівнянні з традиційно виготовленими імплантатами. Розробка та аналіз 3D-друкованих ортопедичних імплантатів залишається складною проблемою через зміну структури і мінливість самого процесу 3D-друку. (1,2,3).

У різних дослідженнях, на невеликих групах пацієнтів показано, що при застосуванні 3D мо-

делей зменшується травматичність операції за рахунок: зменшення розміру доступу – на 10-15 мм, зменшення крововтрати, скорочення часу операції на 20-30% і травматизації тканин – на 25-30%, підвищення точності установки компонентів ендопротеза кульшового суглоба (тазового і стегнового компонентів, кути нахилів та ротацій – на 15%, поліпшення функціональних результатів – повне відновлення функцій кінцівки відбувається на 40-50% швидше (3,4,2).

В експерименті після сегментарних дефектів 11 мм в діяфізі променевої кістки у кролів, був імплантований 3D-друкований скафолд з β -ТКФ у порівнянні з порожнім дефектом (5). β -ТКФ скафолди біологічно сумісні, розсмоктуються, і можуть направлено регенерувати та реконструювати кістки в сегментному дефекті довгої кістки в моделі кролика (6,5).

Автором проведено видалення новоутворення довгих трубчастих кісток верхніх кінцівок і кісткову пластику індивідуальних імплантатом, виготовленим за допомогою тривимірної друку (22 пацієнтів). Як матеріали для виготовлення імплантату використані кістковий цемент або полімер поліуретанового ряду. Через 1 рік після операції у пацієнтів з доброякісними новоутвореннями отримані добрий та задовільний а із злроякісними ураженнями – задовільний або поганий результат за шкалами SF-36, VAS, MSTS (7).

Сьогодні діагностика та лікування саркоми кісток є важливим завданням для реконструктивно-відновної ортопедії. У дослідженні була розроблена хірургічна навігаційна система, що включає алгоритм калібрування імплантатів, так що хірургічні інструменти і 3D-друковані індивідуальні імплантати можна відстежувати і надавати на екрані комп'ютера в режимі реального часу, зводячи до мінімуму ризику і підвищуючи точність операції. І фантомний експеримент, і експериментальне клінічне дослідження показали, що точність імплантації може бути покращена в три-п'ять разів (8).

Мета роботи: показати можливості використання 3D моделювання індивідуальних прототипів ураженої кістки та індивідуального ендопротеза в передопераційному плануванні у пацієнтів з новоутвореннями кісток.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

В статті представлено клінічні випадки передопераційного планування за допомогою надрукованих 3D макетів кістки, індивідуального ендопротеза та успішного проведення операції

резекції кістки з новоутворенням, тотального ендопротезування суглоба у 2 пацієнтів з злроякісними пухлинами кісток. Операції проводилися на базі ДУ «Інститут травматології та ортопедії НАМНУ» та за участі лабораторії медичного 3D моделювання.

При побудові тривимірної моделі (3D модель) пошарово та в різних площинах аналізують та обробляють у спеціалізованій програмі двовимірні зображення (у форматі DICOM, або іншому), комп'ютерної томографії (КТ) та магнітно-резонансної томографії (МРТ) (9). На рис. 1 показано етап виділення зображення новоутворення плечової кістки з даних магнітно-резонансної томографії.

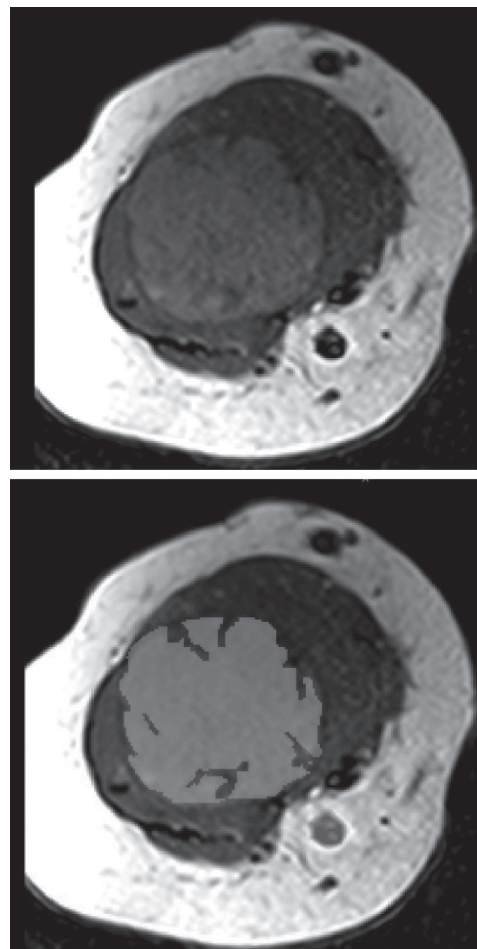


Рис. 1. Етап виділення зображення з даних магнітно-резонансної томографії пацієнтки Н. з новоутворенням плечової кістки.

Оброблене зображення зберігається в форматі STL в якому проводиться автоматичне і ручне виправлення та редагування 3D моделі, прогнозують спотворення, що можуть виникати у виробі в ході 3D-друку до запуску у виробництво. На підставі цього інженер може скорегувати вихідний дизайн таким чином, щоб уникнути помилок під час 3D-друку. Далі переводять готову 3D модель в програму, 3D принтеру (Flash Pint), задають положення деталі під час друку, тип та кількість підтримок, оптимальну швидкість та температуру для друку. Друк прототипу викону-

вався на 3D-принтері Flash Forge Guider II з ABS – пластику, який легко обробляється (4,2).

Робота відповідає положенням Гельсінкської декларації, прийнятої в червні 1964 г. (Гельсінкі, Фінляндія) і переглянута в жовтні 2000 р. (Единбург, Шотландія). Від кожного пацієнта отримано інформовану згоду.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Виготовлення 3D макету-прототипу та проектування індивідуального ендопротезу дало змогу точного підбору розмірів імплантату та його примірювання до операції. Маючи тривимірну модель кістки пацієнтів, було точно спроектовано розміри майбутніх імплантатів, враховуючи всі анатомічні особливості (товщина кортикального шару кістки, форма кісткового каналу та ін.). Виготовлені макети-прототипи мали високу точність, що забезпечило можливість вимірювання розміщення певних точок або поверхонь за допомогою фізичних методів до та під час хірургічного втручання, дозволило успішно провести складне хірургічне втручання, зменшивши крововтрату та тривалість операції, отримати добрий функціональний результат.

Наводимо клінічні спостереження.

1. Пацієнтка Н., 65 р. В анамнезі нефректомія з приводу раку нирки (2004р.). У травні 2017 р. виник патологічний перелом лівої плечової кістки. Діагноз: Метастаз у праву плечову кістку, патологічний перелом. Накладена на 2 міс. гіпсова лонгета. За цей час деструкція нароста. Виконано рентгенографія, консультована ортопедом, направлена до онкоортопеда. В 7 клініці ДУ«ІТОНАМНУ» у серпні 2017р. виконана операція – трепанобіопсія пухлини правої плечової кістки та накладення апарата зовнішньої фіксації Костюка на праву плечову кістку. Отримувала курси хіміотерапії кселодою, променевої терапії на метастаз до 56 Грей. На фоні цього відбулась стабілізація процесу та консолидація з вкороченням і варусною деформацією. У травні 2018 р. виконано демонтаж апарата зовнішньої фіксації з правого плеча. На етапі передопераційного планування з КТ та МРТ сканів плечової кістки пацієнтки, комп'ютерна 3D модель була побудована і надрукована в натуральну величину з новоутворенням та магістральним судинним пучком та спроектовано макет майбутнього індивідуального ендопротезу (рис.2).

У серпні 2018р. органозберігаюча операція: резекція дистальної половини правої плечової кістки, видалення пухлини та заміщення дефекту тотальним цементним ендопротезом правого

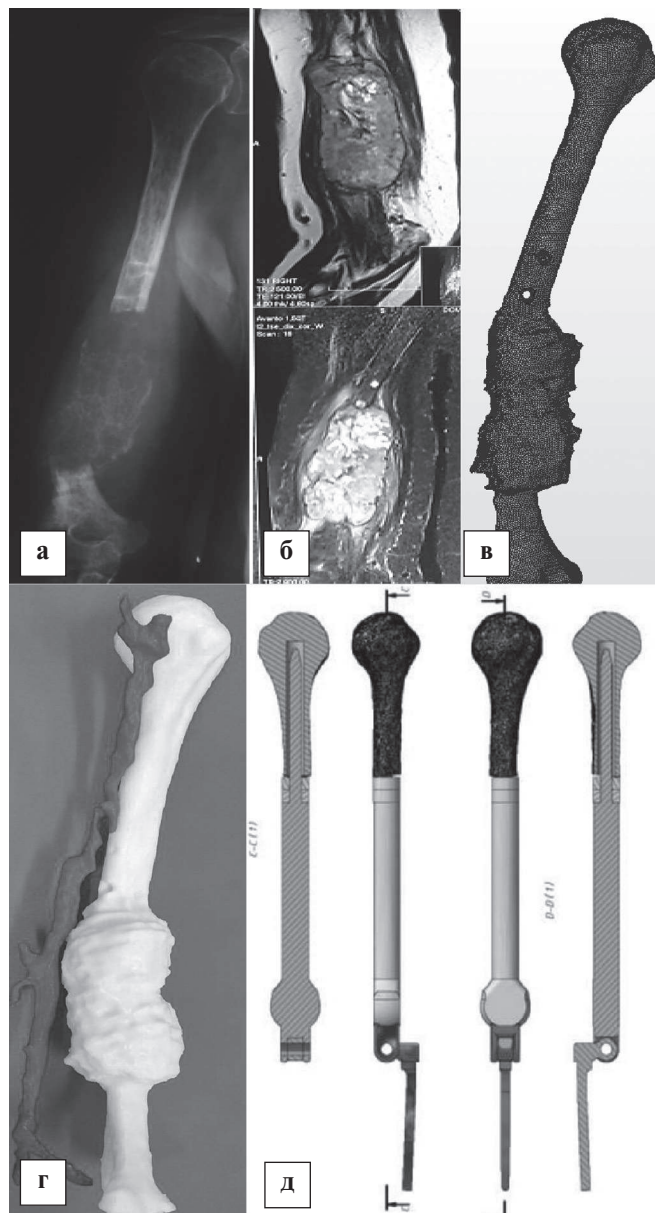


Рис. 2. Рентгенограма (а); МРТ (б); побудова комп'ютерної 3D моделі плечової кістки з новоутворенням (в); надрукована в натуральну величину 3D модель плечової кістки пацієнтки з новоутворенням та магістральним судинним пучком(г); модель індивідуального ендопротезу плечової кістки та ліктьового суглоба.

ліктьового суглоба (Beznoska), крововтрата становила 600 мл, тривалість – 2год. 40хв. (рис. 3). Через 8 міс. після операції пацієнтка почувається задовільно, Функція прооперованої кінцівки за шкалою MSTS – добра, складає 74 %, даних за прогресування захворювання – немає.

2. Пацієнт Б., 37р., хворіє з 2007р. коли було виконано видалення остеохондроми верхньої третини великогомілкової кістки в ортопедо-травматологічному відділенні за місцем проживання. В 2017 р. помітив ріст рецидива новоутворення в ділянці післяопераційного рубця у верхній третині гомілки. У липні 2018 при КТ виявлено значний рецидив. При пункції цитологічно

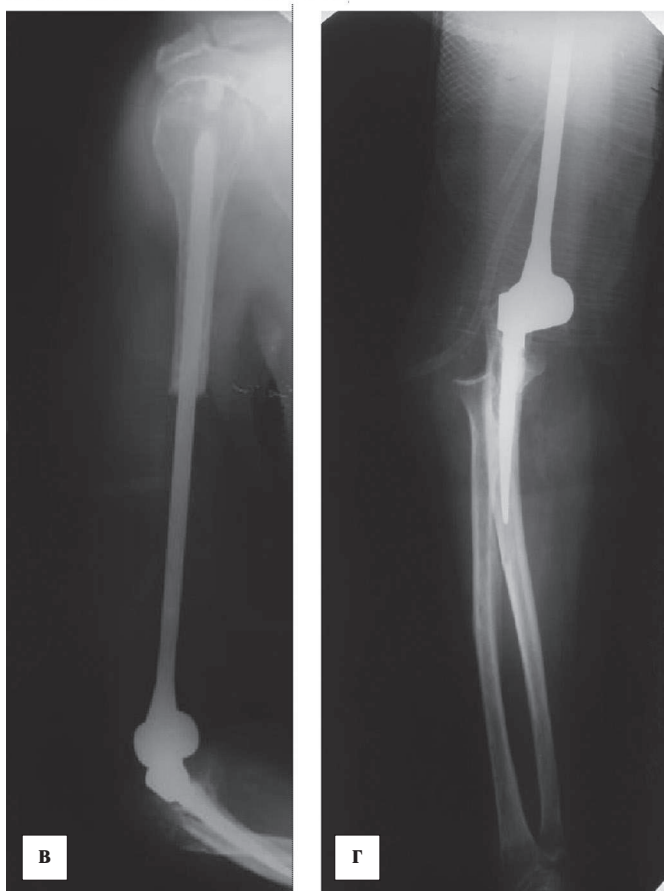
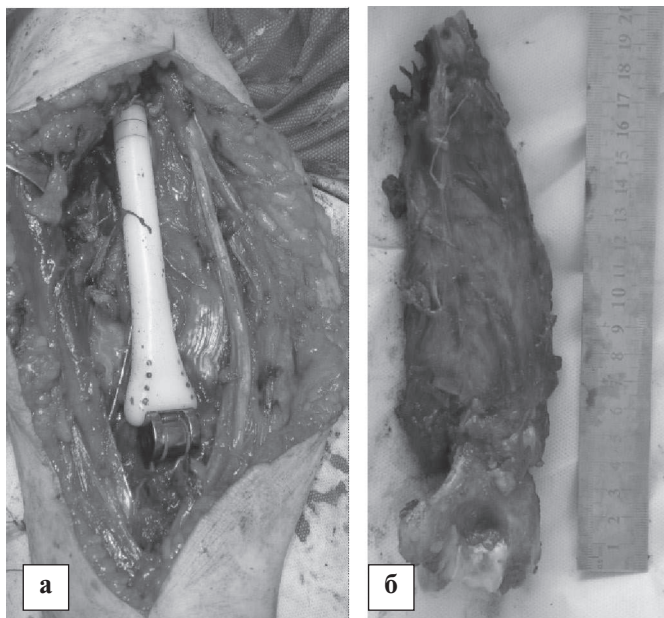


Рис. 3.
 Етап хірургічного втручання :
 резекція нижньої половини плечової кістки, індивідуальне тотальне цементне етєндопротезування правого ліктьового суглоба (а).
 Видалений препарат: дистальний кінець плечової кістки з пухлиною (метастаз раку нирки) (б).
 Рєтєнограми після операції тотального етєндопротезування правого ліктьового суглоба (в, г).



Рис. 4. Рєтєнограма (а), КТ (б) та макєт-протєтип великогємїлкової кістки пацїєнта з рєцидивом хєндросаркоми (в), змєльований індивідуальний єндопротєз (г).

виявлено рецидив хондроми. Пацієнт звернувся до онкоортопеда в ДУ«ІТОНАМНУ», де у серпні 2018 була виконана операція: ревізія, відкрита біопсія, з частковим висіченням передньо-латеральної частини рецидиву хрящової пухлини проксимального відділу правої великогомілкової кістки. Гістологічно підтверджено в матеріалі рецидив пухлини елементи хондросаркми G1.

Проведено передопераційне планування з використанням індивідуального 3D моделювання і друку макету-прототипу великогомілкової кістки з судинами та змодельовано індивідуальний імплантат. З використанням розмірів спроектованого за даними КТ та МРТ знімків пацієнта макету-прототипу імплантату виготовлений індивідуальний ендопротез (рис. 4).

У жовтні 2018 року виконано операція: резекція проксимального відділу правої великогомілкової, малоомілкової кісток з пухлиною, тотальне цементне ендопротезування колінного суглоба (Beznoska), крововтрата становила 800 мл, тривалість – 3год.10хв. Етапи операції, вигляд макропрепарату, та рентгенограми пацієнта після видалення рецидиву з проксимальним відділом великогомілкової кістки та тотального цементного ендопротезування колінного суглоба (Beznoska) показано на рис. 5.

Шви зняті на 14-й день п/о. В післяопераційному періоді отримував ксарелто, цефтріаксон, німесулід. Гістологічне дослідження після операції підтвердило вторинну хондросаркому 1-2 ступеня злоякісності.

Через 6 міс. після операції пацієнт почувається задовільно, ходить користуючись тростю, кут згинання в колінному суглобі – 110° , розгинання повне. Функція прооперованої кінцівки за шкалою MSTTS – добра, складає 78 %, даних про рецидив немає.

Таким чином використання макетів-прототипів кісток, створених на основі томографії, є сучасною ефективною методикою для планування резекції трубчастих кісток, проектування індивідуальних ендопротезів у пацієнтів на пухлини кісток, що з успіхом може бути впроваджено у спеціалізованих онкологічних та ортопедичних відділеннях для заміщення кісткових дефектів.

ВИСНОВКИ

Цифрові та пластикові 3D прототипи кісток створені на основі даних томографії мали відповідність з індивідуальними розмірами анатомічної структури пацієнта, що дало змогу планування хірургічного доступу та моделювання імплантату.

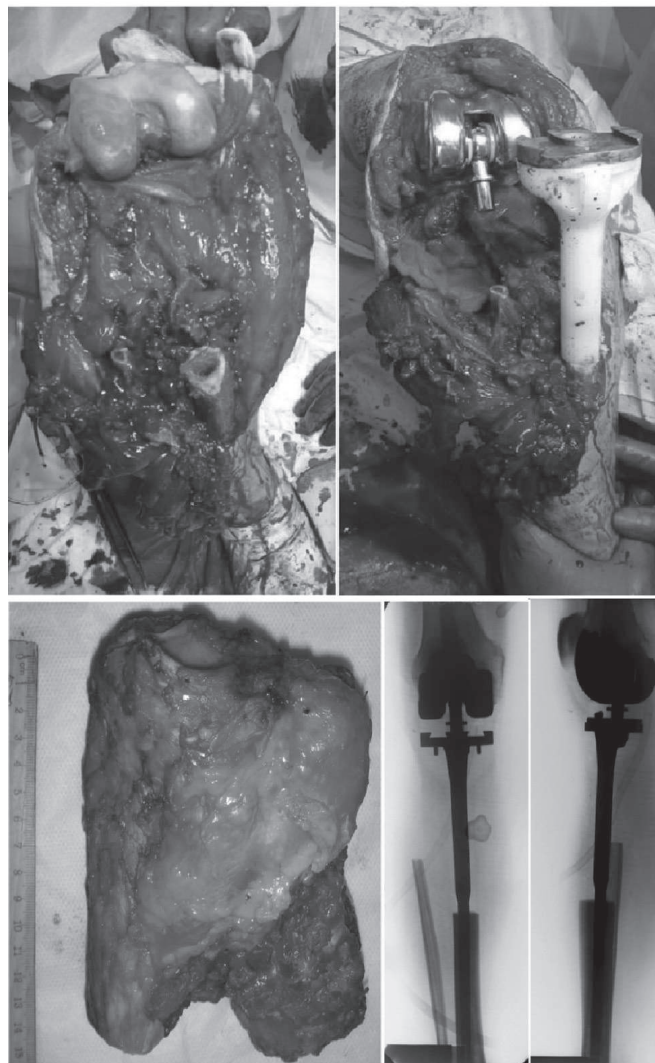


Рис. 5. Етапи операції (а,б), вигляд мікропрепарату (в), та рентгенограми (г) пацієнта після видалення рецидиву з проксимальним відділом великогомілкової кістки та тотального цементного ендопротезування колінного суглоба (Beznoska).

Застосування 3D моделювання у пацієнтів на пухлини кісток дозволяє зменшити ускладнення і покращити якість хірургічного втручання.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Wang CJ, Hazlehurst KB. Orthopedic Implant Design and Analysis: Potential of 3D/4D Bioprinting. 3D and 4D Printing in Biomedical Applications. 2018: p. 423–442. doi:10.1002/9783527813704.ch16.
2. Гайко ГВ, Галузинський ОА, Козак РА. Використання адитивних технологій при лікуванні хворих із дефектами кульшової западини. Вісник ортопедії, травматології та протезування. 2018: p. 4-10.
3. Терновой НК, Колотилов НН, Вовк ВВ. 3-D моделирование и 3-D печать модели костей в клинической ортопедии: первый опыт и прагматика. 2017;(4): p. 26-35.

4. Гайко ГВ, Галузинський ОА, Бурбурська СВ. Використання 3D-моделювання з виготовленням пластикового прототипу у передопераційній підготовці хворих із переломами таза (клінічні приклади). Вісник ортопедії, травматології та протезування. 2018; р. 4-11.
5. Tovar N, Witek L, Atria P, Sobieraj, M. Form and Functional Repair of Long Bone Using 3D Printed Bioactive Scaffolds. 2018; р. DOI: 10.1002/term.2733.
6. Дубок ВА, Шинкарук АВ, Кишук ВВ, Проценко ВВ. Новые наноструктурированные биоактивные керамики, композиты и имплантаты из них. Наноразмерные системы и наноматериалы: исследования в Украине. 2014; р. 558-568.
7. Н. Н. Карякин, Р. О. Горбатов, А. Е. Новиков. Хирургическое лечение пациентов с опухолями длинных трубчатых костей верхних конечностей с использованием индивидуальных имплантатов из костнозамещающего материала, созданных по технологиям 3D-печати. Гений ортопедии. 2017; р. 323-330.
8. Chen X, Xu L, Wang Y. Image-guided installation of 3D-printed patient-specific implant and its application in pelvic tumor resection and reconstruction surgery. Computer Methods and Programs in Biomedicine. 2016; р. 66-78.
9. Martelli N. Advantages and disadvantages of 3-dimensional printing in surgery: A systematic review. 2016; 159(6): р. 1485-1500.
10. Pankaj P. Patient-specific modelling of bone and bone-implant systems: the challenges. International Journal for Numerical Methods in Biomedical Engineering. 2012; р. 233-249. doi:10.1002/cnm.2536 .

*Бурьянов О. А.¹, Черный В. С.¹, Проценко В. В.²,
Галузинский О. А.², Барбурская С. В.²*

*¹ Национальный медицинский университет
им. А.А. Богомольца, Киев, Украина*

*² ГУ «Институт травматологии и ортопедии АМН
Украины»*

Применение 3D-моделирования при планировании индивидуального тотального эндопротезирования у пациентов с опухолями костей (клинические примеры)

В статье представлены клинические случаи предоперационного планирования с помощью напечатанных 3D макетов кости, индивидуального эндопротеза и успешного проведения резекции кости с новообразованием,

тотального эндопротезирования сустава у 2 пациентов с злокачественными опухолями костей.

Изготовление 3D макета-прототипа и проектирование индивидуального эндопротеза позволило подобрать размеры имплантата и примерить его до операции. Имея трехмерную модель кости пациентов, были спроектированы размеры будущих имплантатов, учитывая все анатомические особенности (толщина кортикального слоя кости, форма костного канала и др.). Изготовленные макеты-прототипы имели высокую точность, что обеспечило возможность измерения размещения определенных точек и поверхностей с помощью физических методов до и во время хирургического вмешательства, что позволило успешно провести тотальное эндопротезирование сустава при опухоли, уменьшив кровопотерю и продолжительность операции, получить хороший функциональный результат.

Ключевые слова: 3D-моделирование, индивидуальное тотальное эндопротезирование, злокачественные опухоли костей.

*Buryanov O. A.¹, Chernyi V. S.¹, Protsenko V. V.²,
Galuzinsky O. A.², Barburskaya S. V.²*

¹ Bogomolets National Medical University, Kiev, Ukraine

*² GU Institute of Traumatology and Orthopedics of the Academy of
Medical Sciences of Ukraine*

Application of 3D modeling in the planning of individual total endoprosthetics in patients with bone tumors (clinical examples)

The article presents clinical cases of preoperative planning with the help of printed 3D mock-ups of bone, individual endoprosthesis and successful resection of bone with a neoplasm, total joint replacement in 2 patients with malignant bone tumors.

The production of a 3D prototype design and the design of an individual endoprosthesis made it possible to accurately select the size of the implant and measure it before surgery. Having a three-dimensional bone model of patients, the sizes of future implants were accurately designed, taking into account all the anatomical features (thickness of the cortical layer of the bone, the shape of the bone channel, etc.). The prototype models were highly accurate, which made it possible to measure the placement of certain points and surfaces by physical methods before and during surgical intervention, allowing successful surgical intervention, reducing blood loss and duration of the operation, and obtaining a good functional result.

Key words: 3D modeling, individual total endoprosthetics, malignant tumors of bones.