

ВИКОРИСТАННЯ 3D-МОДЕЛЮВАННЯ З ВИГОТОВЛЕННЯМ ПЛАСТИКОВОГО ПРОТОТИПУ У ПЕРЕДОПЕРАЦІЙНІЙ ПІДГОТОВЦІ ХВОРИХ ІЗ ПЕРЕЛОМАМИ ТАЗА (КЛІНІЧНІ ПРИКЛАДИ)

Гайко Г.В., Галузинський О.А., Бурбурська С.В.
ДУ "Інститут травматології та ортопедії НАМН України", м. Київ

Резюме. Методика 3D-моделювання з виготовленням пластикового прототипу може бути рекомендована до впровадження в центри, які займаються остеосинтезом при складних переломах таза. **Мета.** Визначити діагностичну цінність використання адитивних технологій у передопераційній підготовці хворих із переломами таза. **Методи.** Представлено повідомлення про результати оперативного лікування 10 хворих зі складними переломами таза. У передопераційний період для діагностики та визначення тактики оперативного втручання використовували пластиковий прототип таза, виготовлений за допомогою 3D-технології. Ефективність оперативного лікування оцінювали за клінічною класифікацією Harris W.H., наявністю консолидації переломів та відновлення опорної здатності ураженої кінцівки. **Результати.** Використання сучасних адитивних технологій дозволило в 100% (10 випадків) добитися консолидації переломів із відновленням опорної здатності та функції ураженого сегмента. У післяопераційний період показники бальної оцінки за Harris W.H. у 8 пацієнтів – відмінні, у 2 – хороші. **Висновки.** Проведене дослідження визначило високу діагностичну цінність використання адитивних технологій у передопераційній підготовці хворих із складними переломами таза. Пластиковий прототип дозволяє максимально точно оцінити характер перелому, ідеально підібрати фіксатори, що значно скорочує час оперативного втручання та зменшує кількість можливих ускладнень. Дана технологія може бути рекомендована до впровадження в центри, які займаються остеосинтезом при складних переломах таза.

Ключові слова: переломи таза, передопераційна підготовка, 3D-технології, пластиковий прототип, ефективність оперативного лікування.

Вступ

Пошкодження кісток таза належать до категорії найскладніших у практиці травматологів-ортопедів. Постраждали з пошкодженням кісток таза складають від 7 до 10% всіх травматологічних хворих, більшість із них – чоловіки активного віку. Частота тимчасової або постійної непрацездатності серед постраждалих з ушкодженнями таза і кульшових суглобів становить близько 18,5% [4]. Основними причинами пошкоджень тазового кільця, які в останні десятиліття мають тенденцію до зростання, є ДТП (40-70%), кататравми, інші виробничі травми, нещасні випадки в побуті тощо [5, 15]. Абсолютно нестабільні ушкодження спостерігаються у 40% постраждалих, а пошкодження з синдромом вертикальної нестабільності в передньому напівкільці – у 45% [9, 11]. Консервативні та оперативні методи лікування таких травм не виключають незадовільні результати, навіть у спеціалізованих стаціонарах [6, 7]. З осіб, які перенесли поєднану травму таза, велике число стає інвалідами, а супутня їм профнепри-

датність і ускладнена соціальна адаптація утруднюють перебування в суспільстві [2].

При цьому особливе значення має точна діагностика даних ушкоджень, так як від цього принципово залежить тактика подальшого їх лікування. Основою дослідження хворих із підозрою на пошкодження кісток таза є стандартизована рентгенографія в передньо-задній проекції і проекціях за Judet [1, 13]. Однак просторова анатомія таза робить складним її сприйняття, що може створювати певні складності в діагностиці пошкоджень на підставі традиційної рентгенографії і, як наслідок, призводити до тактичних і лікувальних помилок [10]. Так, окремі переломи кульшової западини не діагностуються рентгенологічно в 20% випадків, а при розривах зчленувань таза розбіжність діагнозу досягає майже 55% [4].

У даний час 3D-технології активно впроваджуються в повсякденну медичну практику. 3D-моделювання та прототипування застосовуються в різних галузях хірургії при плануванні і виконанні оперативних втручань. В ортопедії дана технологія з'явилася в 1990 р., коли при ендопротезуванні колінного су-

глоба був використаний виготовлений методом 3D-друку індивідуальний шаблон з орієнтирами для проведення гвинтів [8]. З того часу в зарубіжній літературі дедалі частіше згадується про застосування індивідуальних шаблонів для навігації при хірургічних втручаннях на різних кістках скелета [12, 16]. У лабораторії 3D-друку ДУ “Інститут травматології та ортопедії НАМН України” широко використовують технологію виготовлення пластикових прототипів при переломах таза, які використовувались у передопераційному плануванні в клініках інституту та м. Києва. Вважаємо цікавим проаналізувати досвід роботи даної лабораторії з визначенням діагностичної цінності використання адитивних технологій у передопераційній підготовці хворих зі складними переломами таза.

Мета роботи – визначити діагностичну цінність використання адитивних технологій у передопераційній підготовці хворих із переломами таза.

Матеріали і методи

Протягом 2018 р. у лабораторії медичного 3D-друку ДУ “Інститут травматології та ортопедії НАМН України” виконано 3D-моделювання та виготовлення пластикових прототипів у 10 пацієнтів. Розподіл хворих із переломами кісток таза та кульшової западини згідно з класифікацією АО (Tile M., 1988, Мюллер М.Е., Альговер М. та ін., 1996) [3, 14], де були застосовані адитивні технології, представлений

на рис. 1. Найчастіше 3D-моделювання використовували у випадках переломів таза типу C1 (50,0%) – 5 випадків. Усім категоріям хворих у передопераційний період було виконано стандартні рентгенограми та комп'ютерну томографію уражених сегментів із метою побудови тривимірної моделі та пластикового прототипу ураженого сегмента.

Першим етапом для створення фізичної 3D-моделі є обробка двовимірних зображень КТ та МРТ сканування (рис. 2). Аналіз, очищення артефактів відбувається на кожному зрізі та в трьох площинах конкретного дослідження, отриманого за допомогою променевої діагностики, що зумовлює додатковий аналіз кожного зрізу (спеціалістом ортопедом-травматологом) та високу точність у побудові тривимірного зображення. Для забезпечення високої точності кінцевого прототипу необхідно мати якісні вхідні дані КТ та МРТ зображень.

Для обробки двовимірних зображень використовується спеціалізоване програмне забезпечення. Найбільш поширеним форматом введення даних для цих програм є DICOM, але також підтримуються інші формати зображень, такі як: TIFF, JPEG, BMP і RAW. Оброблене зображення зберігається в будь-якому з наступних форматів вихідних файлів залежно від подальшого застосування: STL, VRML, PLY і DXF. Основний формат файлів для тривимірного друку (далі 3D-друк) – STL (рис. 3).

Другим етапом є експорт збереженого файлу в форматі STL у програму Autodesk NetFabb (рис. 4), в якій проводиться автоматичне і ручне виправлення



Рис. 1. Розподіл хворих із переломами кісток таза та кульшової западини згідно з класифікацією АО (Tile M., 1988, Мюллер М.Е., Альговер М. та ін., 1996)

та редагування 3D-моделі. Поверхня об'єктів у цьому форматі являє собою сукупність полігонів (Polygon mesh). Інтелектуальні скрипти можуть автоматично аналізувати поверхні, виправляти помилки сіток, покращувати точність моделей шляхом повторної триангуляції, усувати просторові колізії та інші помилки. Програма дає можливість спрогнозувати можливі спотворення, що виникають у виробі в ході 3D-друку безпосередньо до запуску у виробництво. На підставі цього інженер може скорегувати вихідний дизайн таким чином, щоб уникнути помилок під час 3D-друку.

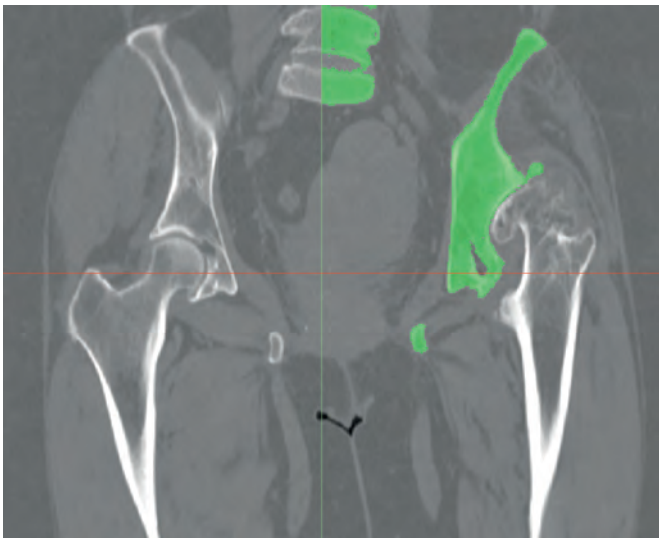


Рис. 2. Вигляд зображення комп'ютерної томографії лівого кульшового суглоба після обробки на першому етапі

Третім етапом є переведення готової 3D-моделі в програму "слайсер", яка безпосередньо підходить до самого 3D-принтера, в нашому випадку Flash Print. Flash Print – це програма для перетворення тривимірної моделі у зрозумілий принтеру набір команд, званий g-code. На цьому етапі встановлюються кінцеві дані для 3D-друку, а саме: задається положення деталі під час друку, розраховується тип та кількість підтримок, задається щільність заповнення моделі, обирається оптимальна швидкість та температура для друку.

Принтер друкує пластиковий прототип кістки в натуральну величину. Процес триває від кількох годин до однієї доби. Даний вид пластику легко обробляється фрезами та іншими хірургічними інструментами, що дає змогу примірити вибрану імплантаційну систему.

Друк прототипу виконувався на 3D-принтері Flash Forge Guider II з ABS-пластику (рис. 5).

З метою визначення ефективності виконання оперативних втручань у хворих зі складними переломами таза, яким перед оперативним втручанням виконувалось 3D-моделювання та друк пластикового прототипу, пацієнти були обстежені в передопераційний та ранній післяопераційний період клінічно за класифікацією Harris W.H. [10].

У всіх пацієнтів даної категорії відмічали негативний результат цієї оцінки (діапазон 50-62 бали) у передопераційний період. Також до ознак ефективності хірургічного лікування у хворих зі складними переломами таза зараховують наявність консолидації переломів та відновлення опорної здатності уражених кінцівок.

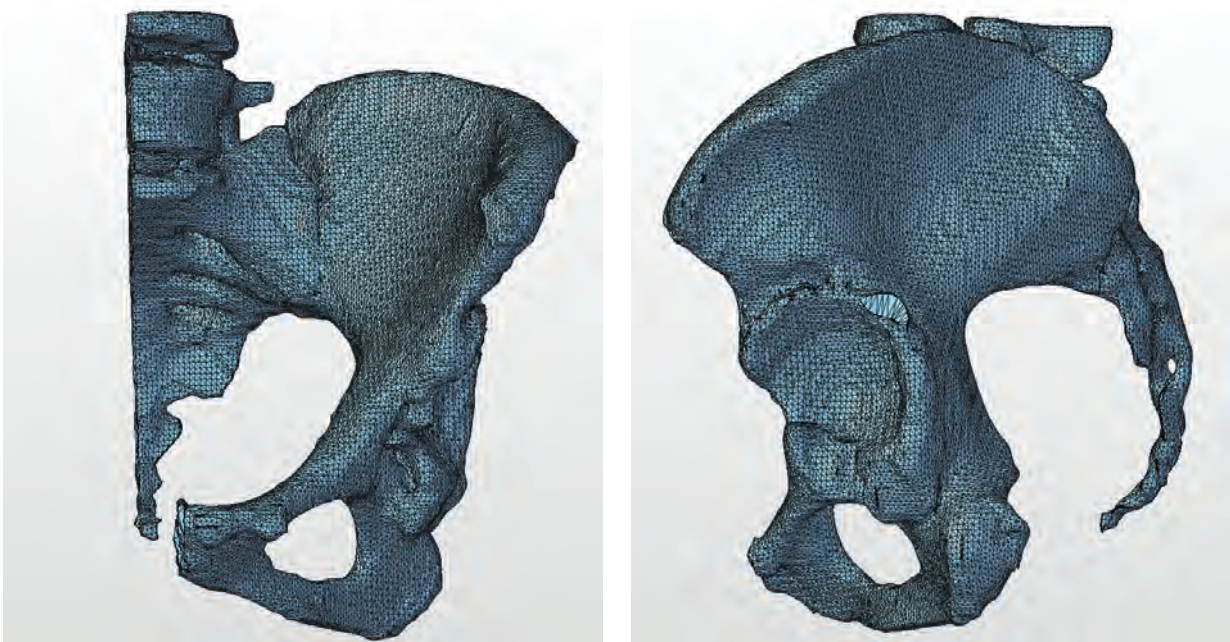


Рис. 3. Вигляд 3D-моделі лівого кульшового суглоба в форматі STL

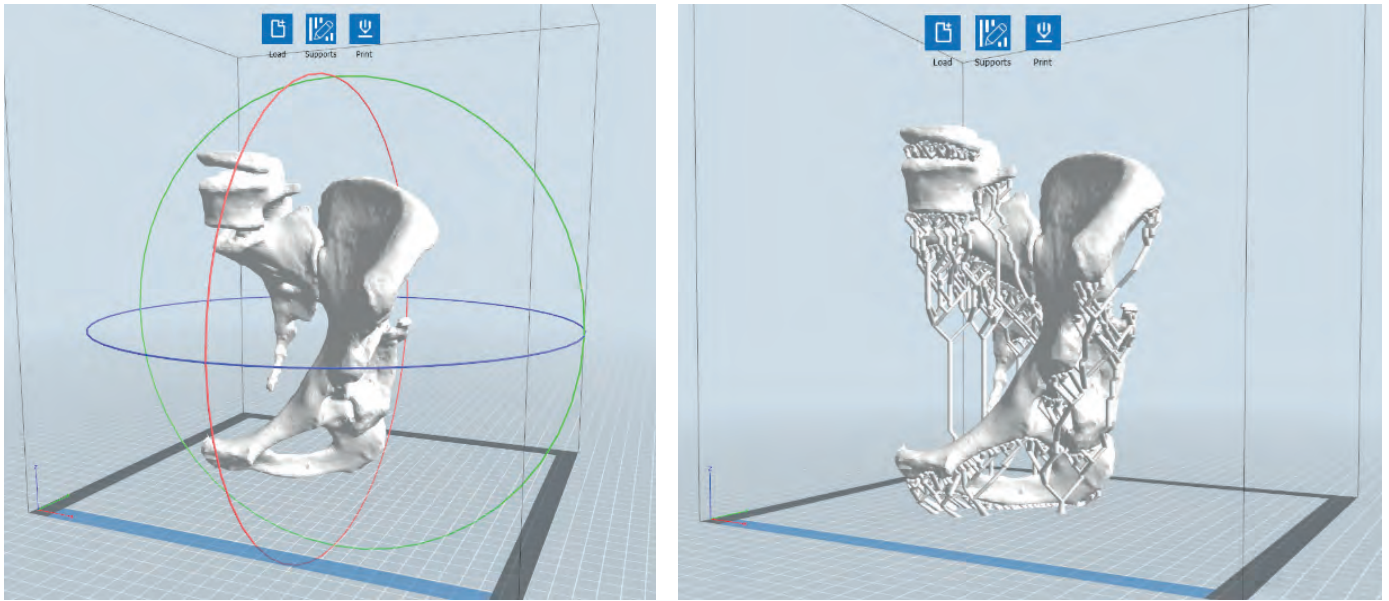


Рис. 4. Вигляд 3D-моделі лівого кульшового суглоба в програмі Autodesk NetFabb



Рис. 5. Процес 3D-друку кісток таза

Результати та їх обговорення

Визначено, що використання сучасних адитивних технологій дозволило в 100% (10 випадків) добитися консолідації переломів із відновленням опорної здатності та функції ураженого сегмента. У післяопераційний період показники бальної оцінки за Harris W.H. [10] у 8 пацієнтів – відмінні, у 2 – хороші. Термін спостереження склав 6-9 місяців. Пластиковий прототип дозволяє максимально точно оцінити характер перелому та спланувати оперативне втручання. Пластик добре піддається обробці інструментами. Хірург може ідеально підібрати фіксатори, вигнути їх, ніби викона-

ти “операцію до операції”. Це значно скорочує час оперативного втручання та зменшує кількість можливих ускладнень.

Таким чином, проведені дослідження доводять високу діагностичну цінність 3D-моделювання та прототипування у період підготовки хворих із переломами таза до операції. Використання адитивних технологій дозволило досягти хороших і відмінних функціональних результатів у всіх 10 обстежених хворих у ранній післяопераційний період, що доводить їх високу ефективність та може бути рекомендовано як незамінний метод при передопераційній підготовці даних складних оперативних втручань.

Клінічні приклади

1. Хворий Л., 46 років. Діагноз: застарілий перелом бокової маси крижової кістки, переломи лобкової та сідничної кісток справа, тип перелому С1 [14]. Комп'ютерна томографія, 3D-реконструкція та пластикова модель з індивідуальною навігаційною системою для остеосинтезу крижової кістки гвинтами представлені на рис. 6а, б та в.

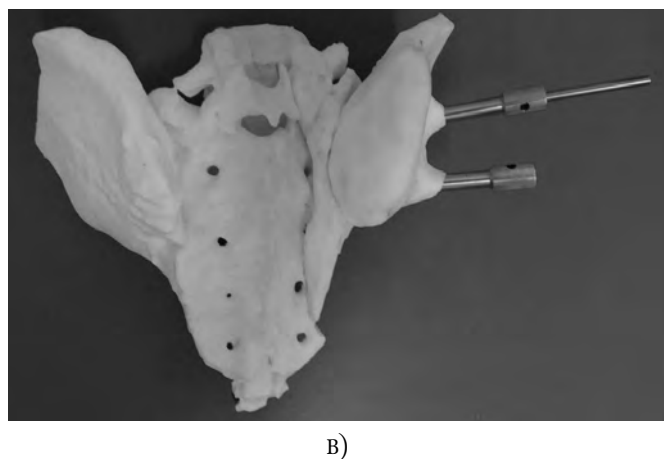
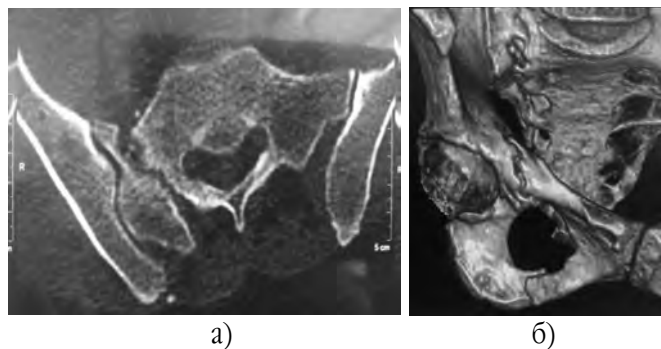


Рис. 6. а) комп'ютерна томографія та б) 3D-реконструкція застарілого перелому бокової маси крижової кістки, переломів лобкової та сідничної кісток (тип С1) х-го Л.; в) пластиковий прототип з індивідуальною навігаційною системою для остеосинтезу крижової кістки гвинтами

Виконано оперативне втручання: МОС бокової маси крижової кістки гвинтами, лобкової кістки пластиною з гвинтами (рис. 7).



Рис. 7. Рентгенографія х-го Л. після оперативного втручання

2. Хворий Т., 34 років. Діагноз: уламковий перелом крила та тіла правої здухвинної кістки, розрив лобкового симфіза, тип перелому С1 [14]. Рентгенографія до операції, 3D-реконструкція та пластикова модель представлені на рис. 8а, б та в.



а)



б)



в)

Рис. 8. а) рентгенографія, б) 3D-реконструкція та в) пластиковий прототип уламкового перелому крила і тіла правої здухвинної кістки, розриву лобкового симфіза (тип С1) х-го Т.

Виконано оперативне втручання: МОС лобкового симфіза, правої здухвинної кістки справа пластинами з гвинтами (рис. 9).



Рис. 9. Рентгенографія х-го Т. після оперативного втручання

3. Хвора П., 35 років. Діагноз: перелом передньої та задньої колони правої кульшової западини зі зміщенням відламків, перелом сідничної кістки справа, тип перелому С1 [3], 3D-реконструкція та пластикова модель представлені на рис. 10а та б.

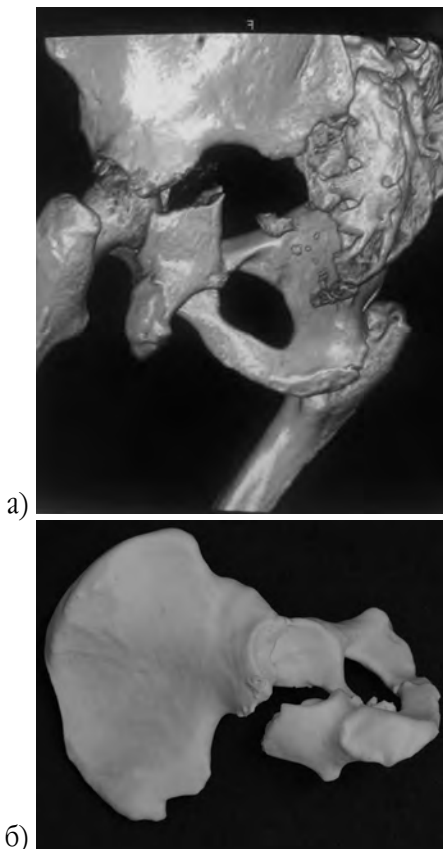


Рис. 10. а) 3D-реконструкція та б) пластиковий прототип перелому передньої та задньої колони правої кульшової западини зі зміщенням відламків, перелому сідничної кістки справа (тип С1) хв. П.

Виконано оперативне втручання: МОС обох колон правої кульшової западини пластинами з гвинтами (рис. 11).



Рис. 11. Рентгенографія хв. П. після оперативного втручання

Висновки

1. Проведені дослідження визначило високу діагностичну цінність використання адитивних технологій у передопераційній підготовці хворих зі складними переломами таза.

2. Пластиковий прототип дозволяє максимально точно оцінити характер перелому, ідеально підібрати фіксатори, що значно скорочує час оперативного втручання та зменшує кількість можливих ускладнень.

3. Дана технологія може бути рекомендована до впровадження в центри, які займаються остеосинтезом при складних переломах таза.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів під час підготовки статті.

Література

1. *Балицкая Н.В.* Лучевая диагностика травм таза. Часть II. Мультиспиральная компьютерная томография / *Н.В. Балицкая* // Радиология-практика. – 2012. – С. 30–36.
2. *Дробязко Б.П.* Реабилитация больных с относительно-стабильными и нестабильными повреждениями таза в условиях региона с малой плотностью населения / *Б.П. Дробязко, И.В. Борозда* // Новые технологии в травматологии и ортопедии : материалы науч.-практ. конф. травматологов-ортопедов Приамурья. – Благовещенск, 2009. – С. 133–138.
3. Руководство по внутреннему остеосинтезу / *М.Е. Мюллер, М. Альговер, Р. Шнайдер, Х.М. Вилленгер*. – Спрингер-Верлаг, 1996. – 750 с.
4. Современные подходы к лечению пострадавших с нестабильными повреждениями тазового кольца / *Е.К. Гуманенко, В.М. Шаповалов, А.К. Дулаев* [и др.] // Воен.-мед. журн. – 2003. – № 4. – С. 17–19.
5. *Черкес-Заде Д.И.* Лечение поврежденных таза и их последствий : рук. для врачей / *Д.И. Черкес-Заде*. – М. : Медицина, 2006. – 192 с.

6. Шлыков И.Л. Показатели работы технологической системы оказания помощи жителям Свердловской области с травмой таза / И.Л. Шлыков, Н.Л. Кузнецова, М.И. Мильштейн // Вестн. Урал. НИИ травматологии и ортопедии им. В.Д. Чаклина. – 2009. – № 1. – С. 13–15.
7. Barzilay Y. Pelvic fractures in level I trauma center: a test case for the efficacy of the evolving trauma system in Israel / Y. Barzilay, M. Liebergalli, O. Safran // Isr. Med. Asso. – 2005. – Vol. 10, № 7. – P. 619–622.
8. Docquier P.L. Surgical navigation in paediatric orthopaedics / P.L. Docquier, L. Paul, V. Tran Duy // EFORT Open Rev. 2016. – № 1. – P. 152–159.
9. Gardner M.J. Stabilization of unstable pelvic fractures with supra acetabular compression external fixation / M.J. Gardner, S. Nork // J. Orthop. Trauma. – 2007. – Vol. 21, № 4. – P. 269–273.
10. Harris W.H. Traumatic arthritis of the hip after dislocation and acetabular fractures treatment by mold arthroplasty. An end result study using a new method of resault evaluation / W.H. Harris // J. Bone Jt Surg. – 1969. – Vol. 51-A. – P. 737–743.
11. Thannbeimer A. The unstable patient with pelvic fracture / A. Thannbeimer, A. Woltmann, J. Vastmans // Zentralbl. Chir. – 2004. – Vol. 129, № 1. – P. 37–42.
12. The current status and future prospects of computer-assisted hip surgery / Y. Inaba, N. Kobayashi, H. Ike [et al.] // Journal of Orthopaedic Science. – 2016. – Vol. 21, № 2. – P. 107–115.
13. Interobserver agreement for Letournel acetabular fracture classification with multidetector CT: are standard Judet radiographs necessary / K.El. Obasbi, G.Y. Kboury, K.W. Abu Zabra, K.S. Berbaum // Radiology. – 2006. – Vol. 241, № 2. – P. 386–391.
14. Tile M. Fractures of the pelvis and acetabulum / M. Tile. – Williams & Wilkins, 1995. – 480 p.
15. Totterman A. Pelvic trauma with displaced sacral fractures: functional outcome at one year / A. Totterman, T. Glott, H.I. Soberg // Spine. – 2007. – Vol. 32, № 13. – P. 1437–1443.
16. User-guided 3D active contour segmentation of anatomical structures: significantly improved efficiency and reliability / P.A. Yushkevich, J. Piven, H.C. Hazlett [et al.] // Neuroimage. – 2006. – Vol. 31, № 31. – P. 116–1117.

**THE USE OF 3D-MODELING WITH MAKING OF PLASTIC PROTOTYPE
IN THE PREOPERATIVE PREPARATION OF PATIENTS WITH PELVIC FRACTURES
(CASE REPORTS)**

Gayko G.V., Haluznskyi O.A., Burburska S.V.

SI "Institute of Traumatology and Orthopedics of NAMS of Ukraine", Kyiv

Summary. The 3D-modeling technique with the manufacture of a plastic prototype can be recommended for introduction into the centers involved in osteosynthesis for complex pelvic fractures. **Objective:** to determine the diagnostic value of the use of additive technologies in the preoperative preparation of patients with pelvic fractures. **Materials and Methods.** We present a report on the results of surgical treatment of 10 patients with complex pelvic fractures. In the preoperative period, a plastic prototype of the pelvis, which was manufactured using 3D-technology, was used to diagnose and determine the tactics of surgical intervention. The effectiveness of surgical treatment was assessed by the clinical classification of Harris W.H., the presence of consolidation of fractures and restoration of the support ability of the affected limb. **Results.** The use of modern additive technologies allowed in 100% (10 cases) to achieve consolidation of fractures with the restoration of support ability and function of the affected segment. In the postoperative period, the scores of the Harris W.H. scoring in 8 patients are excellent, in 2 patients they are good. **Conclusions.** The study determined the high diagnostic value of the use of additive technologies in preoperative preparation of patients with complex pelvic fractures. Plastic prototype allows you to accurately assess the nature of the fracture, ideally choose the fixatives, which significantly reduces the time of surgical intervention and reduces the number of possible complications. This technology can be recommended for introduction into centers engaged in osteosynthesis with complex pelvic fractures.

Key words: pelvic fractures, preoperative preparation, 3D-technology, plastic prototype, the effectiveness of surgical treatment.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ С ИЗГОТОВЛЕНИЕМ ПЛАСТИКОВОГО
ПРОТОТИПА В ПРЕОПЕРАЦИОННОЙ ПОДГОТОВКЕ БОЛЬНЫХ С ПЕРЕЛОМАМИ
ТАЗА (КЛИНИЧЕСКИЕ ПРИМЕРЫ)**

Гайко Г.В., Галузинский А.А., Бурбурская С.В.

ГУ "Институт травматологии и ортопедии НАМН Украины", г. Киев

Резюме. Методика 3D-моделирования с изготовлением пластикового прототипа может быть рекомендована к внедрению в центры, занимающиеся остеосинтезом при сложных переломах таза. **Цель.** Определить диагностическую ценность

использования аддитивных технологий при предоперационной подготовке больных с переломами таза. **Методы.** Представлено сообщение о результатах оперативного лечения 10 больных со сложными переломами таза. В предоперационный период для диагностики и определения тактики оперативного вмешательства использовали пластиковый прототип таза, который был изготовлен с помощью 3D-технологии. Эффективность оперативного лечения оценивали по клинической классификации Harris W.H., наличию консолидации переломов и восстановления опорной способности пораженной конечности. **Результаты.** Использование современных аддитивных технологий позволило в 100% (10 случаев) добиться консолидации переломов с восстановлением опорной способности и функции пораженного сегмента. В послеоперационный период показатели балльной оценки Harris W.H. у 8 пациентов – отличные, у 2 – хорошие. **Выводы.** Проведенное исследование определило высокую диагностическую ценность использования аддитивных технологий при операционной подготовке больных со сложными переломами таза. Пластиковый прототип позволяет максимально точно оценить характер перелома, идеально подобрать фиксаторы, что значительно сокращает время оперативного вмешательства и уменьшает количество возможных осложнений. Данная технология может быть рекомендована к внедрению в центры, занимающиеся остеосинтезом при сложных переломах таза.

Ключевые слова: переломы таза, предоперационная подготовка, 3D-технологии, пластиковый прототип, эффективность оперативного лечения.

УДК 616.747.12-018.38-001.5-071

КЛІНІЧНА ДІАГНОСТИКА ЧАСТКОВИХ УШКОДЖЕНЬ РОТАТОРНОЇ МАНЖЕТИ ПЛЕЧА

Страфун С.С., Страфун О.С., Богдан С.В., Аббасов С.М.
ДУ "Інститут травматології та ортопедії НАМН України", м. Київ

Резюме. Актуальність. Часткові ушкодження сухожилка надостьового м'яза (PASTA – Partial Articular surface Supraspinatus Tendon Avulsion) є доволі частотою патологією плечового суглоба, проте у великій кількості випадків такий діагноз не встановлюється. **Мета дослідження** – вивчити та порівняти чутливість і специфічність спеціальних клінічних тестів та результатів ультрасонографії в діагностиці часткових ушкоджень сухожилка надостьового м'яза. **Матеріали і методи.** Виконано обстеження та оперативне лікування 123 хворих із патологією плечового суглоба, які мали повний або практично повний об'єм рухів у плечовому суглобі. З них 65 хворих (група А) з ізольованим частковим ушкодженням сухожилка надостьового м'яза. Вивчення специфічності тестів та результатів ультрасонографічного дослідження проводили серед групи з 58 хворих з ушкодженнями суглобової губи лопатки типу SLAP (група Б). Усі хворі були обстеженими за єдиним стандартом: клінічно, рентгенологічно, ультрасонографічно, п'ятдесятьом із них було виконано МРТ обстеження. Клінічне обстеження проводилось у стандартний спосіб із проведенням спеціальних тестів: тест Neer, тест Hawkins (додатково виконували тест Neer та тест Hawkins із введенням у субакроміальний простір 10 мл 1% розчину лідокаїну), O'Brien slap тест, тест Jobe. **Висновки.** На 100% чутливого та специфічного клінічного тесту для діагностики часткових ушкоджень ротаторної манжети плеча ми не виявили. Високу чутливість мали тести Neer та Hawkins – 70% та 79% відповідно ($p \leq 0,05$), і їхня чутливість збільшувалась після введення лідокаїну в субакроміальний простір. Однак специфічність цих тестів була невисокою – 75% та 62% відповідно. Тест Jobe та O'Brien