

МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА / MECHANICS OF DEFORMABLE SOLIDS

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.106>**МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕХАНИКИ И ЖЕСТКОСТИ ФИКСАЦИИ ПОПЕРЕЧНЫХ ЧРЕЗВЕРТЛУЖНЫХ ПЕРЕЛОМОВ ТАЗА С ПОМОЩЬЮ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ «АППАРАТ ВНЕШНЕЙ ФИКСАЦИИ – ТАЗ»**

Научная статья

Лапшин В.Л.¹, Виноградов В.Г.², Зеньков Е.В.^{3,*}³ORCID : 0000-0003-4414-0307;^{1,3}Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Российская Федерация²Иркутский государственный медицинский университет Минздрава, Иркутск, Российская Федерация³Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (jovanny1[at]yandex.ru)

Аннотация

С помощью конечно-элементной модели были выполнены исследования механики деформированного состояния системы «аппарат внешней фиксации – таз» при переломе костей таза. Было установлено, что при поперечных чрезвертлужных переломах типа B1.2/3 (по классификации АО/ASIF) с билатеральным повреждением заднего полукольца таза путем изменения модуля упругости подвздошно-крестцовых сочленений в эксперименте на конечно-элементной модели «таз» без стабилизации его аппаратом внешней фиксации смещение костных фрагментов в контрольной зоне между точками 739 – 740 находится в прямой зависимости от состояния подвздошно-крестцового сочленения. Так, при модуле упругости костных фрагментов 20000 МПа имеется их высокая стабильность, а снижение модуля упругости влечет за собой увеличение смещения костных фрагментов в контрольных точках с выраженным смещением по вертикальной оси Y до 106.0 мм, что определяет полное смещение костных фрагментов на 114.0 мм. Аппарат внешней фиксации обеспечивает достаточную стабильность костных фрагментов для вертикализации пациентов при уменьшении модуля упругости до 200 МПа при билатеральных повреждениях, что соответствует повреждению передней или задней подвздошно-крестцовой связки. Дальнейшее снижение модуля упругости в проекции подвздошно-крестцового сочленения требует дополнительных методов фиксации подвздошно-крестцового сочленения. При односторонних повреждениях подвздошно-крестцовых сочленений стабилизация горизонтальных чрезвертлужных переломов таза аппаратом внешней фиксации обеспечивает высокую стабильность костных фрагментов, не требующих дополнительных методов фиксации.

Ключевые слова: механика деформируемых систем, конечно элементное моделирование, фиксация костных фрагментов в месте перелома, аппараты внешней фиксации в травматологии.

MATHEMATICAL ANALYSIS OF THE MECHANICS AND RIGIDITY OF FIXATION OF TRANSVERSE ACETABULAR PELVIC FRACTURES USING A FINITE ELEMENT MODEL OF THE "EXTERNAL FIXATION APPARATUS – PELVIS SYSTEM"

Research article

Lapshin V.L.¹, Vinogradov V.G.², Zenkov E.V.^{3,*}³ORCID : 0000-0003-4414-0307;^{1,3}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation²Irkutsk State Medical University of the Ministry of Health, Irkutsk, Russian Federation³Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation

* Corresponding author (jovanny1[at]yandex.ru)

Abstract

The finite element model was used to study the mechanics of the deformed state of the system "external fixation apparatus – pelvis" in pelvic bone fracture. It was found that in transverse acetabular fractures of the B1.2/3 type (according to the AO/ASIF classification) with bilateral damage to the posterior pelvic semicircle by changing the elastic modulus of the iliac-sacral articulation in the experiment on the finite element model "pelvis" without stabilising it with an external fixation apparatus, the displacement of bone fragments in the control zone between points 739-740 is in direct dependence on the state of the iliac-sacral articulation. Thus, at the elasticity modulus of the bone fragments 20000 MPa there is their high stability, and the decrease in the elasticity modulus entails an increase in the displacement of the bone fragments in the control points with a pronounced displacement along the vertical Y axis up to 106.0 mm, which determines the complete displacement of the bone fragments by 114.0 mm. The external fixation apparatus provides sufficient stability of the bone fragments for verticalisation of patients when the elastic modulus decreases to 200 MPa in bilateral injuries, which corresponds to damage to the anterior or posterior iliosacral ligament. Further reduction of the elastic modulus in the projection of the iliosacral joint requires additional methods of fixation of the iliosacral joint. In unilateral iliosacral joint injuries, stabilization of horizontal pelvic acetabular fractures with external fixation apparatus provides high stability of bone fragments that do not require additional fixation methods.

Keywords: mechanics of deformable systems, finite element modelling, fixation of bone fragments at the fracture place, external fixation devices in traumatology.

Введение

Интенсивность развития общества и техники влечет за собой увеличение высокоэнергетической травмы и тем самым увеличение количества переломов костей таза и вертлужной впадины [1], [2], [3], [4], [5]. Среди причин повреждений таза и вертлужной впадины в значительной степени доминирует автодорожная травма (70,4 %) и кататравма (21,3%) [5], [6]. Нестабильные повреждения таза типа В встречаются от 15% до 37,5 % и типа С от 6,3% до 47,4% [7], [8]. При этом односторонние переломы встречаются в 80%–94% случаев, а двусторонние – в 6%–18% [9].

Множественные и сочетанные повреждения тазового кольца достигает 80% [2], [8], [11] чаще всего у пациентов с нестабильными повреждениями таза с 60% до 91% [2], [7], [11], [12].

Сроки хирургических вмешательств переломов таза и вертлужной впадины составили от 6 до 34 дней с момента травмы [14], [15], [16], а продолжительность операции составляла более 3 часа [2], [8], [15], кровопотеря достигает до 2000 мл и более, при этом положительный эффект составляет всего 65%.

Алгоритм современного подхода к лечению сочетанных повреждений таза, основанный на системе «Damage-control surgery» и «Damage-control orthopedics» [14], способствуют осуществлению индивидуального подхода к лечению каждого конкретного пациента. Применение С – рамы и аппарата внешней фиксации (АВФ) стало неотъемлемой составляющей в лечении кровопотери, шока и таких осложнений как тромбоэмболии и жировой эмболии [12], [17], [18].

Исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) модели системы «аппарат внешней фиксации – таз» с использованием МКЭ приведены в работах [19], [20], в которых на основании проведенных исследований выявлены рациональные варианты установки стержней и изучено влияние внешней рамы АВФ на стабильность костных отломков. Однако, на наш взгляд, недостаточно исследованы возможности к стабилизации костных отломков АВФ при поперечных чрезвертлужных переломах таза типа 62.B1.2/3 (по классификации АО/ASIF). Данная проблема определяет актуальность представленной работы и требует дальнейшего изучения. В этой связи целью исследования стало определение в эксперименте на конечно-элементной модели системы «аппарат внешней фиксации – таз», разработанной в программном комплексе Femap, функциональных возможностей АВФ при стабилизации костных фрагментов поперечных чрезвертлужных переломов таза типа 62-B1.2/3, по классификации АО/ASIF сопряженных билатеральным повреждением крестцово-подвздошного сочленения типа 61-B3.

Задача исследования включала два этапа и сформулированы следующим образом:

1. Определить величину смещения костных фрагментов при поперечных чрезвертлужных переломах типа 62-B1.2/3 в эксперименте на конечно-элементной модели «таза» сопряженные билатеральным повреждением заднего полукольца типа 61-B3 таза путем изменения модуля упругости в проекции подвздошно-крестцового сочленения типа 61-B3 с функциональной нагрузкой на модель в 900Н.

2. Определить величину смещения костных фрагментов при поперечных чрезвертлужных переломах типа 62-B1.2/3 в эксперименте на конечно-элементной модели системы «аппарат внешней фиксации – таз» сопряженных билатеральным повреждением заднего полукольца таза типа 61-B3 путем изменения модуля упругости в проекции подвздошно-крестцового сочленения с функциональной нагрузкой на модель в 900Н.

Методы и методы исследования

Исследование смещения костных фрагментов проводилось на конечно-элементной модели системы «таз» и «аппарат внешней фиксации – таз», разработанные в программном комплексе Femap. Модели созданы на основе макропрепарата костей таза взрослого человека (рис. 1), оснащенного аппаратом внешней фиксации, с учетом реальной формы и размеров. При формировании расчетных моделей использовались следующие типы конечных элементов (КЭ): линейные КЭ – для описания стержневых элементов АВФ; плоские КЭ постоянной толщины – для описания секторов; плоские КЭ переменной толщины – для описания костных структур. Все соединения предполагались абсолютно жесткими как стержневые элементы в костной ткани, так и металлические элементы конструкции, закрепленные между собой.

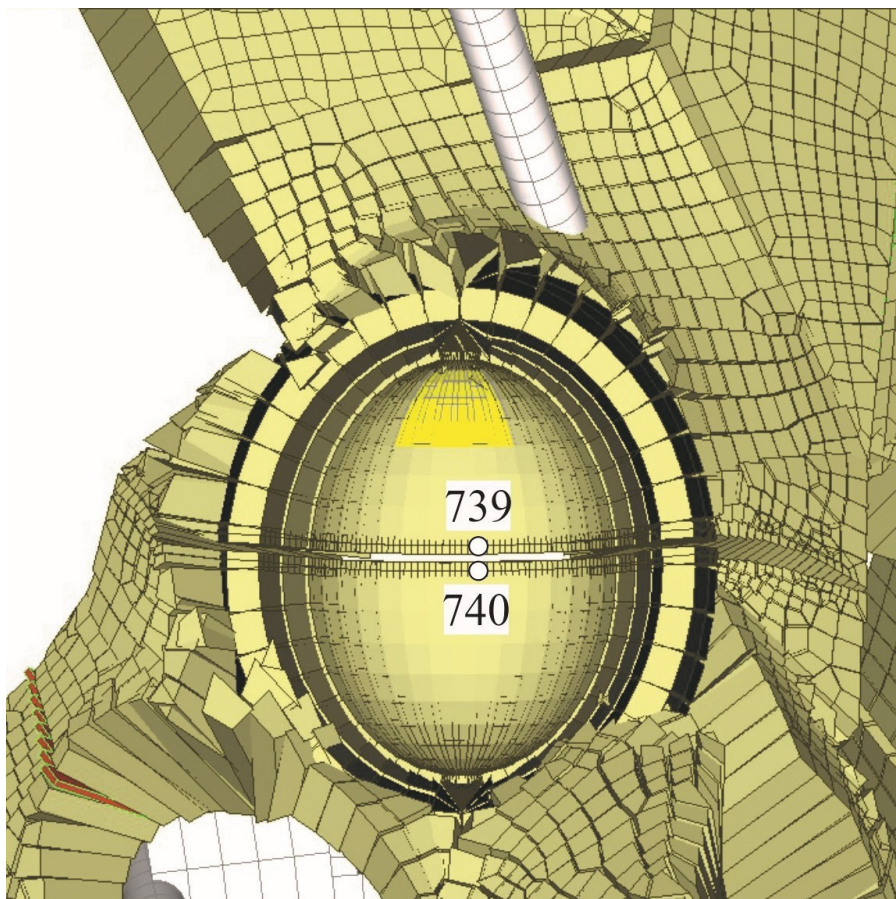


Рисунок 1 - Формирование поперечного чрезвертлужного перелома
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.106.1>

В вычислительном эксперименте материалом АВФ принималась сталь. АВФ и костная ткань предполагались однородные, изотропные и абсолютно упругие: модуль упругости для стали $E = 200000$ МПа, модуль упругости для костной ткани $E = 20000$ МПа. Формирование поперечного чрезвертлужного перелома в расчетных моделях осуществлялось путем удаления выделенных для этой цели конечных элементов и создания разрыва в конечно-элементной сетке – контрольная зона между точками 739 – 740 (рис. 1). В местах переломов предполагалось свободное смещение.

Утяжеление поперечного чрезвертлужного перелома типа 62-B1.2/3 сопряжённым билатеральным повреждением подвздошно-крестцовых сочленений типа 61-B3 осуществлялось путем уменьшения модуля упругости в проекции сустава с $E = 200000$ МПа до $E = 0,2$ МПа.

На первом этапе исследования определялась величина смещения костных фрагментов с регистрацией в контрольной зоне между точками 739 – 740 (рис. 1) при поперечных чрезвертлужных переломах типа 62-B1.2/3 (по классификации АО/ASIF) в эксперименте на конечно-элементной модели «таза» сопряженные билатеральным повреждением заднего полукольца таза типа 61-B3 путем изменения модуля упругости в проекции подвздошно-крестцового сочленения (рис. 2) в динамике без стабилизации перелома АВФ. Фиксация модели «таз» осуществлялась за крыло подвздошной кости с противоположной стороны от поперечного перелома вертлужной впадины к опоре.

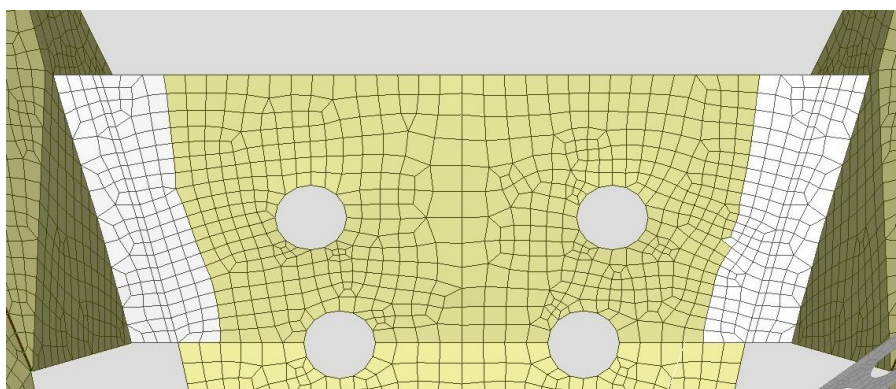


Рисунок 2 - Билатеральное повреждение подвздошно крестцового сочленения
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.106.2>

Примечание: конечные элементы выделены белым цветом

Нагрузки на конечно-элементную модель «таза» прикладывались на суставную плоскость первого крестцового позвоника сверху вниз (кранио – каудальное направление) с силой 500 Н. Вторая сила нагрузки в 400 Н моделировалась снизу вверх на нагружаемую часть вертлужной впадины (сурсил) головкой бедренной кости со стороны поперечного чрезвертлужного перелома.

Расчеты смещений костных фрагментов в контрольной зоне между точками 739 – 740, расположенных в центре вертлужной впадины по обе стороны от поперечного перелома, проводились по осям: X – сагиттальное направление, Y – вертикальное направление, Z – фронтальное направление, а также определялось полное смещение. Результаты конечно-элементных расчетов приведены на рисунке 3.

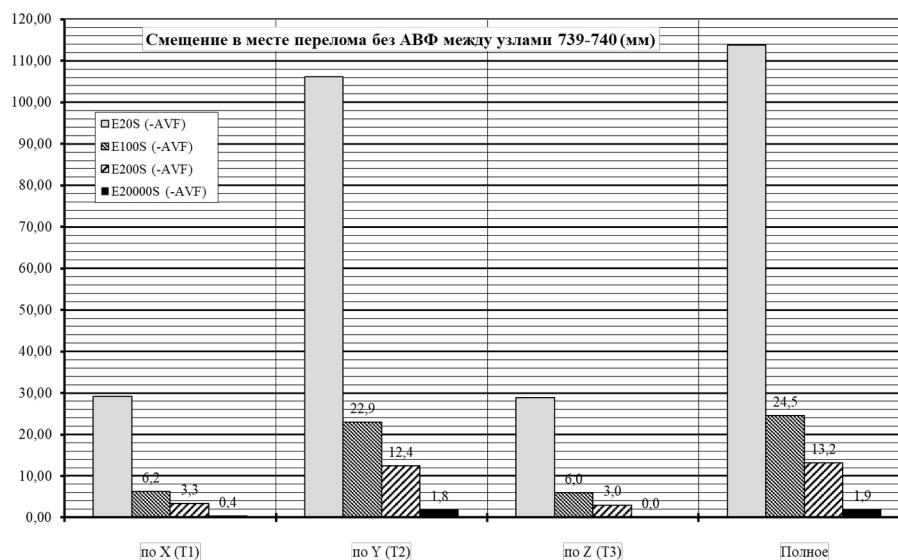


Рисунок 3 - Результаты численного расчета смещений костных фрагментов без фиксации перелома аппаратом внешней фиксации

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.106.3>

Примечание: E – модуль упругости подвздошно-крестцового сочленения (МПа); 20 – значение модуля упругости; S – симметричное изменение модуля упругости (справа и слева); (-AVF) – вычислительный эксперимент проводился без фиксации перелома аппаратом внешней фиксации

Результаты исследования смещений костных фрагментов без стабилизации перелома АВФ

Как видно из диаграммы (рисунок 3), при значении модуля упругости подвздошно-крестцового сочленения равно $E = 20000$ МПа смещения по осям в контрольных узлах составили: X – 0,4 мм, Y – 1,8 мм и Z – 0,0 мм. При этом полное смещение было равно –1,9 мм. При уменьшении значения модуля упругости подвздошно-крестцового сочленения до $E = 200$ МПа смещения увеличились и составили: по оси X – 3,3 мм, по оси Y – 12,4 мм, по оси Z – 3,0 мм, полное смещение составило – 13,2 мм. При показателе модуля упругости $E = 20$ МПа смещения по оси X, Y и Z соответственно составили 29,0 мм, 106,0 мм и 29,0 мм. При этом полное смещение составило 114,0 мм.

Основной осью смещения костных фрагментов по результатам упруго расчета стала ось Y (вертикальная ось), влияющая на полное смещение костных фрагментов в контрольной зоне между точками 739 – 740, и равноценность смещения костных фрагментов по оси X (сагиттальная ось) и оси Z (горизонтальная ось).

На втором этапе исследования определялись смещения костных фрагментов при поперечных чрезвертлужных переломах типа 62-B1.2.3 на конечно-элементной модели системы «аппарат внешней фиксации – таз», разработанной в программном комплексе Femap, сопряженные билатеральным повреждением заднего полукольца таза типа 61-B3 путем изменения модуля упругости в проекции подвздошно-крестцового сочленения в динамике со стабилизацией перелома АВФ.

Базовая компоновка АВФ представлена на рис. 3 и включает в себя следующие элементы: костные стержни диаметром 6 мм (stergen 1,2,3), стержни для лобковых костей (stergen 4) диаметром 5 мм, которые крепятся к секторам, правая и левая половины аппарата соединены передне-верхней и передне-нижней штангами (shtanga 1, 2). Костные stergen 1 и stergen 2 введены в гребни подвздошных костей, stergen 3 введен в тела подвздошной кости, stergen 4 введен в вертикальную ветвь лобковой кости со стороны повреждения (рис. 4). Стороны (L, R) соответствуют рис. 4, а не положению тела.

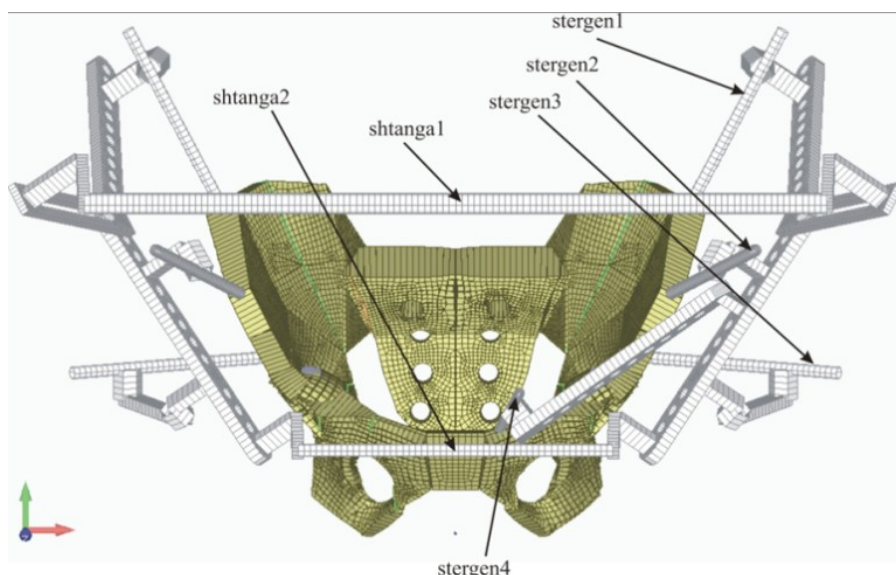


Рисунок 4 - Базовая компоновка АВФ
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.106.4>

Нагрузки на КЭ-модель (рис. 4) осуществлялись на суставную плоскость первого крестцового позвонника сверху вниз (кранио – каудальное направление) с силой 500 Н (рис. 5). Вторая сила нагрузки в 400 Н моделировалась снизу вверх на нагружаемую часть вертлужной впадины (сурсил) головкой бедренной кости со стороны поперечного чрезвертлужного перелома, что соответствует начальным условиям вычислительного эксперимента для первого этапа исследования без стабилизации перелома АВФ.

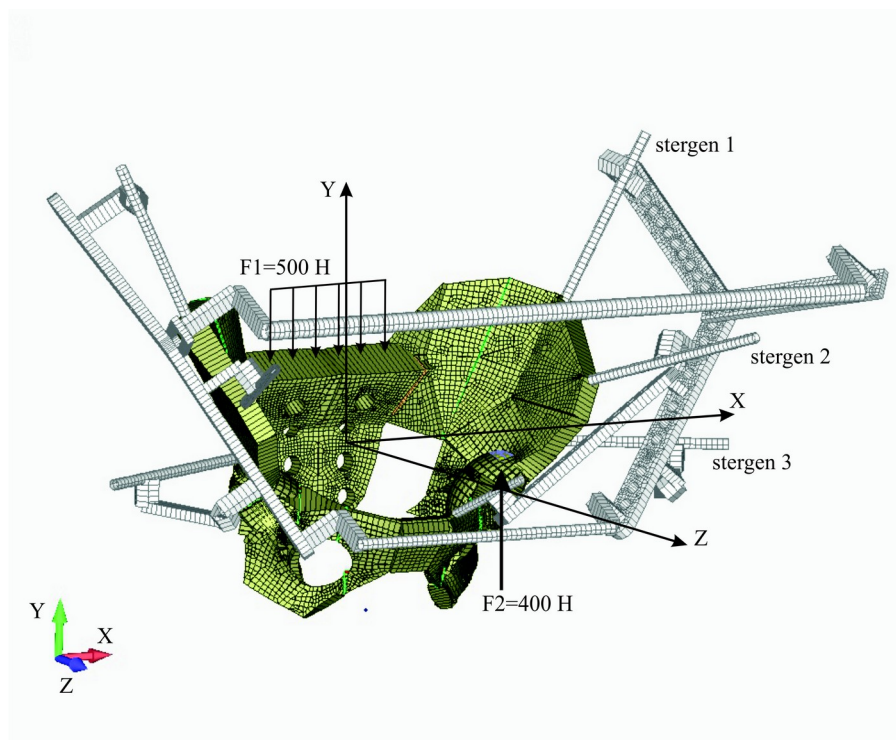


Рисунок 5 - Нагрузки на КЭ-модель для исследования смещений костных фрагментов со стабилизацией перелома АВФ
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.106.5>

Расчеты смещения костных фрагментов в контрольной зоне между точками 739 – 740 проводились по осям: X – сагиттальное направление, Y – вертикальное направление, Z – фронтальное направление, а также определялось полное смещение, что соответствовало начальным условиям вычислительного эксперимента для первого этапа исследования без стабилизации перелома АВФ. Соответствующие результаты конечно-элементных расчетов смещений со стабилизацией перелома АВФ приведены на диаграмме (рисунок 6).

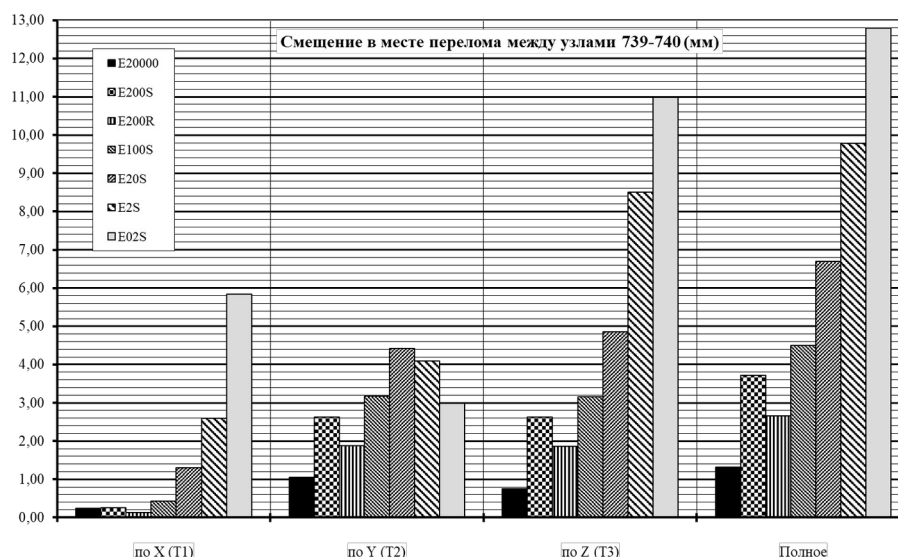


Рисунок 6 - Результаты расчета смещений костных фрагментов в контрольной зоне между точками 739 – 740 со стабилизацией перелома АВФ

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.150.106.6>

Примечание: E – модуль упругости подвздошно-крестцового сочленения (МПа); 20000 – значение модуля упругости; S – симметричное изменение модуля упругости при билатеральном повреждении заднего полукольца таза (слева и справа); R – изменение модуля упругости только справа (стороны поперечного чрезвертлужного перелома)

Результаты исследования смещений костных фрагментов со стабилизацией перелома АВФ

Анализ результатов, приведенных на диаграмме (рисунок 6), позволяет установить следующие характеристики деформирования костных фрагментов. В режиме E20000S – подвздошно-крестцовое сочленение с билатеральным повреждением заднего полукольца таза доведено до модуля упругости костной ткани. Смещения костных фрагментов в контрольной зоне между точками 739 – 740 составили: по оси X – 0,3 мм, по оси Y – 1,1 мм, по оси Z – 0,8 мм и полное смещение – 1,3 мм. В режиме E200S – уменьшение модуля упругости в 100 раз по сравнению с костной тканью ($E = 20000$ МПа) с обеих сторон. При этом смещения в контрольной зоне составили по оси X = 0,3 мм, по оси Y = 2,6 мм, по оси Z = 2,6 мм, а полное смещение равно 3,8 мм. В режиме E200R – уменьшение модуля упругости костных фрагментов в 100 раз только справа (сторона перелома). В этом случае смещения в контрольной зоне составили по оси X = 0,1 мм, по оси Y = 1,9 мм, по оси Z = 1,9 мм и при этом полное смещение составило 2,6 мм. В режиме E100S – уменьшение модуля упругости в 200 раз по сравнению с модулем упругости костной ткани с обеих сторон. Для этого расчетного случая смещение в контрольной зоне по оси X увеличилось до 0,4 мм, по оси Y стало 3,2 мм, по оси Z = 3,2 мм и полное смещение составило 4,5 мм. Далее в режиме E20S – уменьшение модуля упругости в 1000 раз с обеих сторон по сравнению со структурой костной ткани таза. Смещение по оси X = 1,3 мм, по оси Y = 4,5 мм, по оси Z = 4,8 мм, а полное смещение составило 6,7 мм. В режиме E2S – уменьшение модуля упругости в 10000 раз по сравнению с модулем упругости костной ткани с обеих сторон приводит к увеличению смещения по оси X до 2,6 мм, по оси Y до 4,1 мм, по оси Z до 4,9 мм, а полное смещение костных фрагментов составило 9,8 мм. И последний режим E02S – уменьшение модуля упругости в 100000 раз с обеих сторон по сравнению с модулем упругости костной ткани. Это приводит к увеличению смещения костных фрагментов по оси X до 5,8 мм, по оси Y до 3,0 мм, по оси Z до 11,0 мм и при этом полное смещение определяется значением 12,8 мм.

Обсуждение результатов

Поперечные чрезвертлужные переломы типа 62-B1.2/3 в эксперименте на конечно-элементной модели «таз» сопряженный билатеральным повреждением заднего полукольца типа 61-B3 путем изменения модуля упругости в проекции подвздошно-крестцового сочленения являются нестабильными переломами так как полное смещение костных фрагментов по результатам конечно-элементного расчета изменяется от 12,4 мм при $E = 200$ МПа и достигает 114,0 мм при $E = 20S$ МПа.

Основной осью смещения костных фрагментов является ось Y (вертикальная ось), влияющая на полное смещение указанных фрагментов в контрольной зоне между точками 739 – 740, и равноценность смещения костных фрагментов по оси X (сагиттальная ось) с осью Z (горизонтальная ось).

Влияние модуля упругости при билатеральных повреждениях заднего полукольца таза в проекции подвздошно-крестцового сочленения на смещения костных фрагментов при поперечных чрезвертлужных переломах типа 62-B1.2/3 в конечно-элементной модели системы «аппарат внешней фиксации – таз», разработанной в программном комплексе Femap, показало, что АВФ обеспечивает высокую стабильность костных фрагментов при снижении модуля упругости до 100 МПа, что соответствует повреждению передних связок подвздошно-крестцовых сочленений. При этом полное

смещение костных фрагментов в контрольной зоне между точками 739 – 740 увеличивается с 1,3 мм до 4,5 мм, что не противоречит условиям регенерации костной ткани [21].

Основной осью смещения костных фрагментов является ось Y (вертикальная ось) и ось Z (горизонтальная), влияющая в равных параметрах на полное смещение костных фрагментов в контрольной зоне между точками 739 – 740, что соответствует оси наклона подвздошной кости. Дальнейшее снижение модуля упругости до 20,0 МПа, 2,0 МПа и 0,2 МПа приводит к увеличению смещения костных фрагментов с 6,7 мм до 12,8 мм, что снижает стабильность остеосинтезом АВФ и требует введение дополнительных элементов аппарата для стабилизации поврежденных задних структур таза в виде стержней или винтов, фиксирующих подвздошно-крестцовые сочленения.

Наиболее значительное смещение костных фрагментов отмечается по оси Z до 11,0 мм при модуле упругости 0,2S МПа, что говорит о целесообразности формирования замкнутой системы АВФ или фиксации подвздошно-крестцового сочленения со стороны поперечного чрезвертлужного перелома.

Контрольное исследование, проведенное при унилатеральном повреждении подвздошно-крестцового сочленения с модулем упругости 200R МПа со стороны поперечного чрезвертлужного перелома, показало, что основными осями смещения костных фрагментов, как и при билатеральном повреждении, являются ось Y (вертикальная ось) и ось Z (горизонтальная), влияющие равноценно на полное смещение костных фрагментов повышением стабильности костных фрагментов с 3,8 мм до 2,6 мм.

Заключение

Поперечный чрезвертлужный перелом типа 62-B1/2.3 (по классификации АО/ASIF) в эксперименте на конечно-элементной модели «таз» сопряженные с билатеральным повреждением заднего полукольца таза типа 61-B3 в проекции подвздошно-крестцового сочленения путем изменения модуля упругости с нагрузкой 900 Н без стабилизации перелома АВФ являются нестабильными переломами, смещение костных фрагментов зависит от значения модуля упругости в проекции подвздошно-крестцовом сочленении.

При поперечном чрезвертлужном переломе типа 62-B1/2.3 (по классификации АО/ASIF) в эксперименте на конечно-элементной модели системы «аппарат внешней фиксации – таз» сопряженных билатеральным повреждением заднего полукольца таза 61-B3 путем изменения модуля упругости от 2000 МПа до 0,2 МПа в проекции подвздошно-крестцового сочленения и функциональной нагрузкой в 900 Н допустимо снижение модуля упругости до 100 МПа, при этом полное смещение костных фрагментов в контрольной зоне между точками 739 – 740 достигает 4,5 мм, что не противоречит условиям регенерации костной ткани. Основными осями смещения является при этом вертикальная и горизонтальная оси, равноценно влияющие на значение полного смещения костных фрагментов.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Голубев А.И. Уплотнения и уплотнительная техника / А.И. Голубев, Л.А. Кондаков [и др]. — М. : Машиностроение, 1986. — 234 с.
2. Донченко С.В. Алгоритм хирургического лечения нестабильных повреждений тазового кольца / С.В. Донченко, В.Э. Дубров, Л.Ю. Слиняков [и др.] // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. — 2013. — № 4. — С. 9–16.
3. Шлыков И.Л. Лечебно-диагностические алгоритмы у больных с нестабильными переломами таза / И.Л. Шлыков [и др.] // Кубанский научный медицинский вестник. — 2009. — № 9. — С. 156–158.
4. Лазарев А.Ф. Возможности оперативного лечения переломов вертлужной впадины с использованием малоинвазивных технологий / А.Ф. Лазарев, Э.И. Солод, А.С. Роскидайло [и др.] // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. — 2009. — № 2. — С. 3–9.
5. Хоурани М.Ю. Диагностика и лечение переломов костей таза / М.Ю. Хоурани, С.А. Линник, И.О. Кучеев [и др.] // Фундаментальные исследования. — 2014. — № 10(9). — С. 1866–1871.
6. Чегуров О.К. Лечение повреждений вертлужной впадины и их последствий (обзор литературы) / О.К. Чегуров, И.Н. Менщиков // Гений ортопедии. — 2018. — Т. 24. — № 1. — С. 95–101. DOI: 10.18019/1028-4427-2018-24-1-95-101.
7. Firoozabadi R. Acetabular Fractures in the Senior Population – Epidemiology, Mortality and Treatments / R. Firoozabadi, W.W. Cross, J.C. Krieg [et al.] // Arch. Bone Jt. Surg. — 2017. — Vol. 5. — № 2. — P. 96–102. DOI: 10.22038/abjs.2016.7933.
8. Драган К.А. Лечение пациентов с переломами костей таза / К.А. Драган // Травма 2017: мультидисциплинарный подход : сб. тез. Междунар. конф., 3–4 нояб. 2017 г. — Воронеж : Научная книга, 2017. — С. 36–37.
9. Kostrova A. Treatment outcomes severe pelvic injuries in polytrauma / A. Kosturova, V.C. Kusturov // Trauma 2017: multidisciplinary approach: collection of theses. International Conference, November 3-4, 2017, Moscow. — Voronezh : Scientific Book, 2017. — P. 3.

10. Заднепровский Н.Н. Хирургическая тактика малоинвазивного остеосинтеза переломов тазового кольца у пациентов с множественной и сочетанной травмой / Н.Н. Заднепровский, П.А. Иванов // Травма 2017: мультидисциплинарный подход : сб. тез. Междунар. конф., 3–4 нояб. 2017 г., Москва. — Воронеж : Научная книга, 2017. — С. 45–46.
11. Леонтьев А.В. Результаты хирургического лечения переломов вертлужной впадины / А.В. Леонтьев, В.Н. Кулыгин, Н.А. Морозов [и др.] // Хирургия тазобедренного сустава. Официальный журнал Русского общества тазобедренного сустава. — 2016. — № 1. — С. 70–73.
12. Хаджибаев А.М. Отдаленные результаты лечения нестабильных повреждений костей таза / А.М. Хаджибаев, А.Б. Тиляков // Травма 2017: мультидисциплинарный подход : сб. тез. Междунар. конф., 3–4 нояб. 2017 г., Москва. — Воронеж : Научная книга, 2017. — С. 159–163.
13. Семенов П.В. Малоинвазивный остеосинтез при лечении нестабильных повреждений тазового кольца / П.В. Семенов, А.В. Григорьев, А.П. Ратьев [и др.] // Кафедра травматологии и ортопедии. — 2016. — № 2(18). — С. 25–29.
14. Butler B.A. The Relevance of the Judet and Letournel Acetabular Fracture Classification System in the Modern Era: A review / B.A. Butler, C.D. Lawton, S.Z. Hashmi [et al.] // J. Orthop. Trauma. — 2019. — Vol. 33. — P. S3–S7. DOI: 10.1097/BOT.0000000000001401.
15. Erem M. Effects of the incision preference in acetabular surgery on the postoperative functional outcomes / M. Erem, C. Copuroglu, E. Copuroglu [et al.] // Niger. J. Clin. Pract. — 2019. — Vol. 22. — № 6. — P. 862–868. DOI: 10.4103/njcp.njcp_455_18.
16. Meesters A.M.L. Introduction of a three-dimensional computed tomography measurement method for acetabular fractures / A.M.L. Meesters, J. Kraeima, H. Banierink [et al.] // PLoS One. — 2019. — Vol. 14. — № 6. DOI: 10.1371/journal.pone.0218612.
17. Литвина Е.А. Экстренная стабилизация переломов костей таза у больных с политравмой / Е.А. Литвина // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. — 2014. — № 1. — С. 19–25.
18. Hu S.B. External fixation in early treatment of unstable pelvic fractures / S.B. Hu, H. Xu, H.-B. Guo [et al.] // Chin. Med. J. (Engl). — 2012. — Vol. 125. — № 8. — P. 1420–1424. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0366-6999.2012.08.011.
19. Пичхадзе И.М. Сравнительная характеристика фиксационных возможностей некоторых конструкций при переломах таза / И.М. Пичхадзе, Ч.С. Доржиев, Н.С. Гаврюшенко [и др.] // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. — 2009. — № 2(66). — С. 116–124.
20. Лапшин В.Л. Конечечно-элементная модель для исследования напряженно-деформированного состояния системы «аппарат внешней фиксации – таз» / В.Л. Лапшин, В.Г. Виноградов, А.Ю. Красовский [и др.] // Вестник Иркутского государственного технического университета. — 2011. — № 8(55). — С. 232–236.
21. Лаврищева Г.И. Морфология и клинические аспекты репаративной регенерации опорных органов и тканей / Г.И. Лаврищева, Г.А. Оноприенко. — М. : Медицина, 1996. — 208 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Golubev A.I. Uplotnenija i uplotnitel'naja tehnika [Seals and sealing equipment] / A.I. Golubev, L.A. Kondakov [et al.]. — М. : Mechanical engineering, 1986. — 234 p. [in Russian]
2. Donchenko S.V. Algoritm khirurgicheskogo lechenija nestabil'nykh povrezhdenij tazovogo kol'ca [Algorithm of surgical treatment of unstable pelvic ring injuries] / S.V. Donchenko, V.E. Dubrov, L.Yu. Slinyakov [et al.] // Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova [Bulletin of Traumatology and Orthopedics named after N.N. Priorov]. — 2013. — № 4. — P. 9–16. [in Russian]
3. Shlykov I.L. Lechebno-dagnosticheskie algoritmy u bol'nykh s nestabil'nymi perelomami taza [Therapeutic and diagnostic algorithms in patients with unstable pelvic fractures] / I.L. Shlykov [et al.] // Kubanskij nauchnyj medicinskij vestnik [Kuban Scientific Medical Bulletin]. — 2009. — № 9. — P. 156–158. [in Russian]
4. Lazarev A.F. Vozmozhnosti operativnogo lechenija perelomov vertluzhnoj vpadiny s ispol'zovaniem maloinvazivnykh tekhnologij [Opportunities for surgical treatment of acetabular fractures using minimally invasive technologies] / A.F. Lazarev, E.I. Solod, A.S. Roskidailo [et al.] // Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova [Bulletin of Traumatology and Orthopedics named after N.N. Priorov]. — 2009. — № 2. — P. 3–9. [in Russian]
5. Khourani M.Yu. Diagnostika i lechenie perelomov kostej taza [Diagnostics and treatment of pelvic bone fractures] / M.Y. Hourani, S.A. Linnik, I.O. Kucheev [et al.] // Fundamental'nye issledovaniya [Basic Research]. — 2014. — № 10(9). — P. 1866–1871. [in Russian]
6. Chegurov O.K. Lechenie povrezhdenij vertluzhnoj vpadiny i ikh posledstvij (obzor literatury) [Treatment of acetabular injuries and their consequences (literature review)] / O.K. Chegurov, I.N. Menshchikov // Genij ortopedii [The Genius of Orthopedics]. — 2018. — Vol. 24. — № 1. — P. 95–101. DOI: 10.18019/1028-4427-2018-24-1-95-101. [in Russian]
7. Firoozabadi R. Acetabular Fractures in the Senior Population – Epidemiology, Mortality and Treatments / R. Firoozabadi, W.W. Cross, J.C. Krieg [et al.] // Arch. Bone Jt. Surg. — 2017. — Vol. 5. — № 2. — P. 96–102. DOI: 10.20238/abjs.2016.7933.
8. Dragan K.A. Lechenie patsientov s perelomami kostej taza [Treatment of patients with pelvic bone fractures] / K.A. Dragan // Травма 2017: мультидисциплинарный подход : сб. тез. Междунар. конф., 3–4 нояб. 2017 г. [Trauma 2017: a multidisciplinary approach : coll. of th. of the International Conference, November 3-4, 2017]. — Воронеж : Scientific Book, 2017. — P. 36–37. [in Russian]
9. Kostrova A. Treatment outcomes severe pelvic injuries in polytrauma / A. Kosturova, V.C. Kusturov // Trauma 2017: multidisciplinary approach: collection of theses. International Conference, November 3-4, 2017, Moscow. — Voronezh : Scientific Book, 2017. — P. 3.

10. Zadneprovskij N.N. Khirurgicheskaja taktika maloinvazivnogo osteosinteza perelomov tazovogo kol'ca u patsientov s mnozhestvennoj i sochetannoj travmoy [Surgical tactics of minimally invasive osteosynthesis for pelvic ring fractures in patients with multiple and combined trauma] / N.N. Zadneprovsky, P.A. Ivanov // *Travma 2017: mul'tidisciplinarnyj podhod : sb. tez. Mezhdunar. konf., 3–4 nojab. 2017 g., Moskva* [Trauma 2017: a multidisciplinary approach : coll. of theses. International Conference, November 3–4, 2017, Moscow]. — Voronezh : Scientific Book, 2017. — P. 45–46. [in Russian]
11. Leontyev A.V. Rezul'taty hirurgicheskogo lechenija perelomov vertluzhnoj vpadiny [Results of Surgical Treatment of Acetabular Fractures] / A.V. Leontyev, V.N. Kulygin, N.A. Morozov [et al.] // *Hirurgija tazobedrennogo sustava. Oficial'nyj zhurnal Russkogo obshhestva tazobedrennogo sustava* [Hip Joint Surgery. Official Journal of the Russian Hip Society]. — 2016. — № 1. — P. 70–73. [in Russian]
12. Khadzhibaev A.M. Otdalennye rezul'taty lechenija nestabil'nyh povrezhdenij kostej taza [Long-term Results of Treatment of Unstable Pelvic Bone Injuries] / A.M. Khadzhibaev, A.B. Tilyakov // *Travma 2017: mul'tidisciplinarnyj podhod : sb. tez. Mezhdunar. konf., 3–4 nojab. 2017 g.* [Trauma 2017: Multidisciplinary Approach : Collected Abstracts of the International Conference, November 3–4, 2017], Moscow. — Voronezh : Scientific Book, 2017. — P. 159–163. [in Russian]
13. Semenov P.V. Maloinvazivnyj osteosintez pri lechenii nestabil'nyh povrezhdenij tazovogo kol'ca [Minimally invasive osteosynthesis in the treatment of unstable pelvic ring injuries] / P.V. Semenov, A.V. Grigoriev, A.P. Ratyev [et al.] // *Kafedra travmatologii i ortopedii* [Department of Traumatology and Orthopedics]. — 2016. — № 2(18). — P. 25–29. [in Russian]
14. Butler B.A. The Relevance of the Judet and Letournel Acetabular Fracture Classification System in the Modern Era: A review / B.A. Butler, C.D. Lawton, S.Z. Hashmi [et al.] // *J. Orthop. Trauma.* — 2019. — Vol. 33. — P. S3–S7. DOI: 10.1097/BOT.0000000000001401.
15. Erem M. Effects of the incision preference in acetabular surgery on the postoperative functional outcomes / M. Erem, C. Copuroglu, E. Copuroglu [et al.] // *Niger. J. Clin. Pract.* — 2019. — Vol. 22. — № 6. — P. 862–868. DOI: 10.4103/njcp.njcp_455_18.
16. Meesters A.M.L. Introduction of a three-dimensional computed tomography measurement method for acetabular fractures / A.M.L. Meesters, J. Kraeima, H. Banierink [et al.] // *PLoS One.* — 2019. — Vol. 14. — № 6. DOI: 10.1371/journal.pone.0218612.
17. Litvina E.A. Jekstretnaja stabilizacija perelomov kostej taza u bol'nyh s politravmoy [Emergency Stabilization of Pelvic Bone Fractures in Patients with Polytrauma] / E.A. Litvina // *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova* [Bulletin of Traumatology and Orthopedics named after N.N. Priorov]. — 2014. — № 1. — P. 19–25. [in Russian]
18. Hu S.B. External fixation in early treatment of unstable pelvic fractures / S.B. Hu, H. Xu, H.-B. Guo [et al.] // *Chin. Med. J. (Engl.)*. — 2012. — Vol. 125. — № 8. — P. 1420–1424. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0366-6999.2012.08.011.
19. Pichkhadze I.M. Sravnitel'naja harakteristika fiksacionnyh vozmozhnostej nekotoryh konstrukcij pri perelomah taza [Comparative Characteristics of Fixation Capabilities of Some Constructs in Pelvic Fractures] / I.M. Pichkhadze, Ch.S. Dorgiev, N.S. Gavryushenko [et al.] // *Bulletin of the VSC of the Bjulleten' VSNC SO RAMN* [Siberian Branch of the RAMS]. — 2009. — № 2(66). — P. 116–124. [in Russian]
20. Lapshin V.L. Konechno-jelementnaja model' dlja issledovanija naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija sistemy «apparat vneshnej fiksacii – taz» [Finite Element Model for Studying the Stress-Strain State of the “External Fixation Device – Pelvis” System] / V.L. Lapshin, V.G. Vinogradov, A.Yu. Krasovsky [et al.] // *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta* [Bulletin of Irkutsk State Technical University]. — 2011. — № 8(55). — P. 232–236. [in Russian]
21. Lavrishcheva G.I. Morfologija i kliničeskie aspekty reparativnoj regeneracii opornyh organov i tkanej [Morphology and Clinical Aspects of Reparative Regeneration of Supporting Organs and Tissues] / G.I. Lavrishcheva, G.A. Onoprienko. — Moscow : Medicina, 1996. — 208 p. [in Russian]