



УДК 612.76+340.624.1+616-073.756.8

Ю. А. Шукейло

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

С. А. Линник, Ф. Хоурани Мохамед Юсиф

Северо-Западный государственный медицинский университет им. И. И. Мечникова

Е. В. Шатаева

Санкт-Петербургский государственный университет

И. О. Кучеев

Санкт-Петербургское государственное бюджетное учреждение здравоохранения «Госпиталь для ветеранов войн»

Технологии оценки по томограммам качества операции остеосинтеза костей таза

Представлена технология оценки по томографическим срезам качества операций остеосинтеза костных структур таза. В двух анатомических плоскостях выделены три значимых уровня костей таза человека. Введены понятия индекса асимметрии и коэффициента качества операции. Проведен анализ состояния структур таза после консервативного лечения и операций остеосинтеза на костными пластинами.

Травма, таз, томограмма, остеосинтез, индекс асимметрии

Травмы таза составляют от 3 до 8.2 % повреждений костей скелета человека. Консервативное лечение переломов таза не требует использования фиксаторов-имплантатов. В других случаях для обеспечения стабильности таза применяют внешнюю или внутреннюю фиксацию металлическими конструкциями, геометрия которых определяется типом перелома, состоянием костной ткани, технологией проведения операции. Целью оперативного лечения является устранение смещения фрагментов и восстановление стабильности структур таза. Операция всегда направлена на восстановление костных структур таза такими, какими они были до травмы. Идеального восстановления часто достичь не удастся, поэтому необходимо иметь информацию, которая позволила бы определить, каким образом можно обес-

печить стабильность таза и комфортные условия жизни людей перенесших травму таза.

Оценки состояния структур таза и имплантатов, оценки качества операций, работоспособности, надежности и функционального соответствия биотехнической системы «фиксатор–таз» биологическому аналогу могут быть проведены экспериментально на трупах или на физических моделях таза [1]–[5]. Модели собирают на основе натуральной или искусственной кости, деревянных или пластиковых цилиндров, металлических трубок. По-разному фиксируют модели в станине, прилагают усилие, располагают датчики, методики выполнения эксперимента также значительно различаются, и объективно сравнить результаты исследований различных авторов не представляется возможным.

Компьютерное моделирование состояния систем остеосинтеза методом конечных элементов позволяет учитывать реальные особенности структуры биомеханического объекта. Однако в настоящее время имеются работы, освещающие частные проблемы моделирования напряженно-деформированного состояния систем фиксации переломов костей таза [6], [7].

3D-модели таза после остеосинтеза перелома, построенные в системах 3D-моделирования, не годятся для оценки качества операции остеосинтеза и анализа напряженно-деформированного состояния систем фиксации, поскольку в настоящее время не удается разделить материалы костной ткани и на костного имплантата и построить геометрически достоверные модели систем остеосинтеза.

Анализ компьютерных моделей требует знания физико-механических свойств костной ткани, которые получают экспериментально при проведении опыта. Эти свойства зависят от пола, возраста, состояния и патологий больного, а также от условий и методики проведения испытаний. Для конкретного пациента эти физико-механические характеристики не могут быть достоверно определены.

3D-модели отдельных костей таза в норме могут быть построены по томографическим срезам в пакетах параметрического моделирования SolidWork или Ansys. Из отдельных моделей костей таза в норме можно построить модель таза, но сопряжения костей в этих пакетах не отражают истинного состояния соединений. Далее можно моделировать переломы, имплантаты и проводить модельный остеосинтез, оценить прочность и жесткость фиксации. Недостатки этого решения состоят в том, что оно не учитывает свойства кости конкретного больного, не позволяет адекватно смоделировать все особенности перелома и геометрию поверхностей кости в месте перелома. Моделирование не дает точного ответа о качестве проведенной операции.

Оценки качества проведения операции могут быть даны для каждого пациента, исходя из анализа томограмм, полученных после операции остеосинтеза костей таза.

Материалы и методы. Современные прижизненные морфологические методы исследования, такие как МРТ и СКТ, высокоинформативны в изучении пельвиометрических индексов, характеризующих форму таза, и могут быть использованы для оценки стандартных размеров, а СКТ – также

и для точной реконструкции формы таза в целом или отдельных его фрагментов [8]. Эти методы можно использовать для оценки качества проведения операций остеосинтеза таза, симметричности, наличия или отсутствия деформаций костных структур. Компьютерные томограммы таза, полученные после проведения операций остеосинтеза на томографе SiemensSOMOTOMsensation-64, показывают, что идеального соединения отломков создать не удастся. Часто наблюдаются нарушения симметрии костей таза.

Для оценки качества проведения операции остеосинтеза отломков костей таза по томографическим срезам будем измерять длины отрезков между размерными точками и следом сагиттальной плоскости по томографическим срезам, лежащим в трансверсальных плоскостях, на уровнях: пятого позвонка, центров головок бедренных костей и симфиза, а по томографическим срезам, лежащим во фронтальных плоскостях, – в трех уровнях: наибольшей асимметрии гребня подвздошных костей, дна вертлужной впадины и симфиза.

Чтобы исключить влияние масштаба изображения, введем понятие индекса асимметрии каждого уровня. Индекс асимметрии уровня указывает, насколько близко состояние костной системы таза к состоянию костной системы в норме для конкретного больного. За норму принимаем неповрежденную часть таза. При идеальном восстановлении геометрии таза индекс асимметрии равен нулю. Любое отклонение от симметричности относительно срединно-сагиттальной плоскости увеличивает значение индекса асимметрии. Допустимые пределы колебания индекса асимметрии должны быть связаны с качеством жизни больного в послеоперационный период. Кроме того, следует иметь в виду, что асимметричность таза может быть врожденной или приобретенной [9].

Обозначим индекс асимметрии i -го уровня через t_i , где i – номер уровня.

Определим коэффициенты асимметрии уровня для больного, оперированного по разработанной методике.

Пациент № 7 (оперирован по предлагаемой методике). На рентгенограмме (рис. 1) и серии КТ костей таза определяется разрыв в области крестцово-подвздошного сочленения слева; перелом в области крестца справа (линия перелома проходит через крестцовые отверстия) с диастазом отломков, разрыв лонного сочленения; переломы верхней и нижней дуг лонной кости слева со

смещением; по классификации по А. О. Tile, переломы костей таза с нарушением тазового кольца, стадия В. После репозиции с помощью металлостеосинтеза ликвидирован диастаз отломков в области крестцово-подвздошного сочленения справа и слева, соотношение в области лонного сочленения – удовлетворительное. Фиксированы отломки в области дуг лонной кости слева.



Рис. 1

Номер в верхней части рис. 2–7 соответствует номеру томографического среза таза. Белая вертикальная линия на рисунках – след срединно-сагиттальной плоскости. Белыми точками показаны размерные точки таза, которые являются началами и концами размерных отрезков.

Для каждого уровня определяем длину отрезков (начало и конец обозначены одноименными буквами, например |AA1|). Срезы томограмм пациентов для определения характерных размеров были выбраны из пакетов срезов томограмм. Все срезы представлены картинками с расширением .jpeg. На этих картинках измерить характерные размеры не удастся, поэтому был использован следующий алгоритм определения размеров:

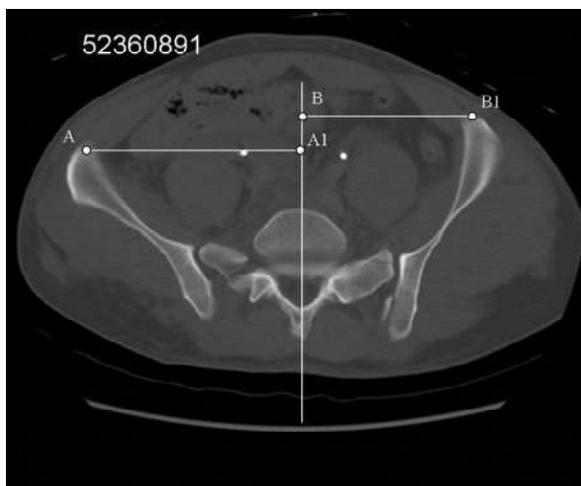


Рис. 2

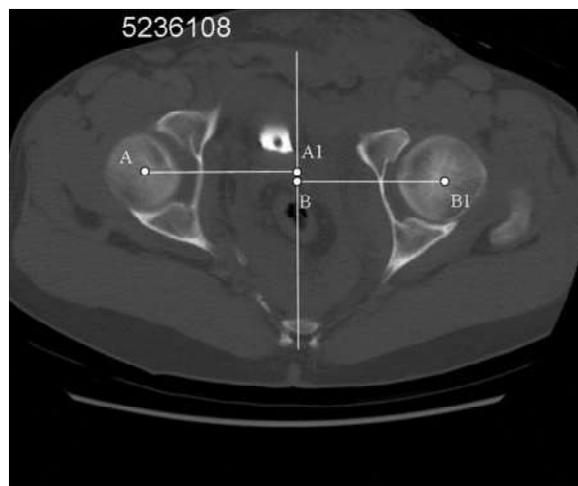


Рис. 3

1. Изображение среза томограммы помещалось в рабочее поле программы Microsoft PowerPoint.

2. На изображении томограммы на каждом уровне проставлялись и обозначались характерные точки, которые соединялись прямыми линиями.

3. Выделялись одновременно изображение томограммы и все построения.

4. Изображение томограммы со всеми построениями сохранялось как рисунок с расширением .jpeg.

5. Рисунок экспортировался в пакет параметрического моделирования SolidWork.

6. Измерялись длины отрезков.

7. С рабочего поля SolidWork рисунок удалялся и на рабочем столе оставались отрезки и их размеры в масштабе рисунка.

Размеры отрезков (в миллиметрах) соответствуют масштабу изображения, переданного в рабочее поле SolidWork.

Индекс асимметрии подсчитываем для первого и последующих уровней по формуле

$$t_i = \frac{||AA1| - |BB1||}{|AA1|}$$

Индекс асимметрии равен абсолютному значению отношения разницы длин размерных отрезков к длине размерного отрезка.

Наиболее информативен из всех рассмотренных выделенных уровней пациентов второй уровень. В трансверсальной плоскости измерялись расстояния от срединно-сагиттальной плоскости до центров головок бедренных костей и рассчитывался индекс асимметрии t_2 . Даже предположение о том, что укладка пациента на стол томографа была выполнена не параллельно фронталь-

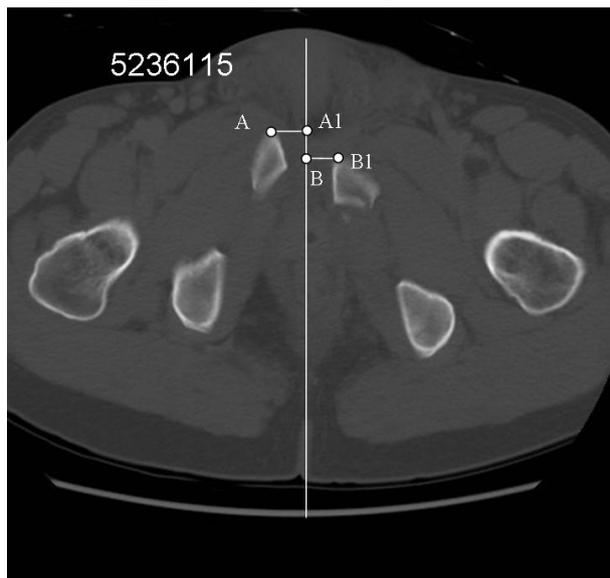


Рис. 4



Рис. 5



Рис. 6

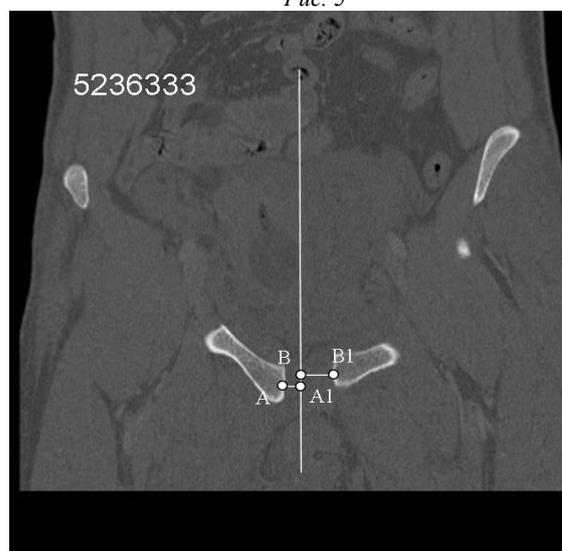


Рис. 7

ной плоскости, не влияет на положение центров головок бедренных костей как на трансверсальном, так и на фронтальном томографических срезах. Это позволяет оценить симметричность расположения биомеханических осей ног (биомеханическая ось проходит в положении стоя через центры суставов: тазобедренного, коленного и голеностопного). Во фронтальной плоскости измерение расстояний между срединно-сагиттальной плоскостью и «дном» вертлужных впадин дает вторую оценку положения биомеханических осей ног, а также их смещение вдоль продольной оси туловища, что важно для организации реабилитационного периода пациента.

Индекс асимметрии первого уровня t_1 учитывает возможные смещения оси действия силы тя-

жести, приложенной к позвонку $L5$ со стороны верхней части туловища. Асимметричность подвздошных костей после операции остеосинтеза приводит к перераспределению нагрузки со стороны внутренних органов и возникновению момента дополнительного давления на одну из ног. Индекс асимметрии t_3 третьего уровня связан со смещениями подвздошных костей. Его изменение может приводить к изменению индексов асимметрии первого и второго уровней.

Оценка абсолютных (в единицах длины) значений отклонений измеряемых размеров от нормы после проведения операции может быть получена для каждого пациента после измерения характерных диаметров таза по томограмме или, если по каким-либо причинам это сделать не уда-

Таблица 1

Номер пациента	Индекс асимметрии в зависимости от положения среза томограммы					
	Трансверсальная плоскость, уровень			Фронтальная плоскость, уровень		
	1	2	3	1	2	3
6	0.045	0.083	0.033	0.10	0.14	0.14
7	0.21	0.03	0.11	0.10	0.03	0.25
22	0.05	0.06		0.06	0.03	
14	0.16	0.01	–	0.01	0.04	–

ется, по приводимым в литературе среднестатистическим размерам таза человека.

Сводная таблица индексов асимметрии таза пациента (табл. 1) позволяет сравнить результаты операций разной степени тяжести.

Значение индекса асимметрии t_2 принимаем за основной параметр сравнения. Лучшие результаты по этому параметру имеют пациенты 14 (консервативное лечение), 7 и 22. Для пациента 6 индекс асимметрии больше и поэтому результаты хуже – нагрузка на ногу в период реабилитации будет больше.

Кроме того, необходимо учитывать у пациентов 7 и 23 смещение левой ноги вдоль продольной оси (фронтальные плоскости среза). Для пациента 7 абсолютное смещение центров головок бедренной кости вдоль продольной оси туловища составляет 0.9 см, а гребней подвздошной кости – 3 см. Это осложняет процесс реабилитации, поскольку в позе стоя возникает искривление позвоночника и перераспределение сил.

Индекс асимметрии второго уровня позволяет оценить качество проведения операции, сравнить с нормой и сформулировать рекомендации для дальнейшей реабилитации больного с учетом состояния сопутствующих структур организма человека.

Введем коэффициент качества операции остеосинтеза костей таза [%]:

$$M = (1 - t_2) 100.$$

Значения коэффициента качества для рассмотренных пациентов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Плоскость среза, %	Номер пациента			
	6	7	22	14
Трансверсальная	91.7	97.0	94.0	99.0
Фронтальная	86.0	97.0	97.0	94.0

Коэффициент качества операции остеосинтеза таза, соответствующий индексу асимметрии t_2 , может быть использован для оценки целостности после операции костных структур таза. В случае, когда нет разрушения колец таза, этот коэффициент (пациент 14) близок к 100 %. Для пациента 6 он равен 86 %.

Значения индекса асимметрии t_2 и коэффициента качества операции остеосинтеза M во многом зависят от тяжести травмы, состояния и свойств костных структур таза, а также сопутствующих осложнений. Знание этих параметров при положительном исходе операции может быть эффективно использовано в организации реабилитации пациента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. The unstable iliac fracture: a biomechanical evaluation of internal fixation / P. T. Simonian, Jr. M. L. Routt, R. M. Harrington and, A. F. Tencer // *Injury*. 1997. Vol. 28, № 7. P. 469–475.

2. Determination of pelvic ring stability: a new technique using a composite hemi-pelvis / J. P. Clements, N. Moriaty, T. J. S. Chesser, A. J. Ward, J. L. Cunningham // *J. Eng. in Medicine*. 2008. Vol. 222, № 5. P. 611–616.

3. Pelvic ring fractures internal fixation: Iliosacral screws versus sacroiliac hinge fixation / B. Ilharreborde, D. Breitel, T. Lenoir, T. Mosnier, W. Skalli, P. Guigui, E. Hoffmann // *Orthopaedics & Traumatology Surgery & Research*. 2009. № 95. P. 563–567.

4. Biomechanical response of impacted bony pelvis: influence of the morphometry and bone density / C. Masson, P. Baque, C. Brunet // *Computer Methods in*

Biomechanics and Biomedical Engineering. 2010. Vol. 13, № 5. P. 641–646.

5. Оперативное лечение несвежих и застарелых двусторонних ротационно-нестабильных поврежденных таза (обзор литературы) / А. Н. Грищук, М. Э. Пуцева, Н. В. Тишков, В. Ю. Васильев // *Бюл. ВСНЦ СО РАМН*. 2010. № 5 (75). С. 222–248.

6. Серов М. А. Математическое моделирование тазового кольца и конструкции фиксирующего устройства незамкнутого типа: дис. ... канд. техн. наук. Благовещенск, 2004. 143 с.

7. Костенко Ю. С. Особенности фиксации переднего полукольца таза при полифокальных повреждениях: дис. ... канд. мед. наук / ФГУ «Центральный научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии». М., 2010. 121 с.: ил.

8. Гайворонский И. В., Труфанов Г. Е., Виноградов С. В. Возможности прижизненных методов исследования в оценке морфометрических характеристик таза взрослого человека // Морфология: науч.-теор. и мед. журн. 2006. Т. 129, № 3. С. 76–81.

9. Does Pelvic Asymmetry always Mean Pathology. Analysis of Mechanical Factors Leading to the Asymmetry / R. Gnat, E. Saulicz, M. Biały, P. Kłapctocz // J. of Human Kinetics. 2009. Vol. 21, № 3. P. 23–35.

Yu. A. Shukeylo

Saint-Petersburg state electrotechnical university «LETI»

S. A. Linnik, F. Hourani Mohamed Yusif

Saint-Petersburg Northwestern State Medical University

E. V. Shataeva

Saint-Petersburg State University

I. O. Kucheev

Saint-Petersburg Hospital for War Veterans

TECHNOLOGIES OF A QUALITY ASSESSMENT OF AN OSTEOSYNTHESIS OF PELVIS'S BONES USING TOMOGRAMS

Technology of a quality assessment of an osteosynthesis of bone structures of a pelvis using tomographic slices was submitted. Three significant levels of the pelvis in two anatomical planes were selected. Concepts of an index of an asymmetry and a quality coefficient of an operation were introduced. Analysis of a state of pelvis's structures after a conservative treatment and the osteosynthesis using plates were conducted.

Trauma, pelvis, tomography, osteosynthesis, index of asymmetry
