

УДК 616.71-001.5

А.Н. Гришук, М.Э. Пусева, Н.В. Тишков, А.В. Бушманов

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ЧРЕСКОСТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ СТАНДАРТНОГО НАБОРА ИЛИЗАРОВА, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ДЛЯ ФИКСАЦИИ ФРАГМЕНТОВ ТАЗОВОГО КОЛЬЦА

ГУ Научный центр реконструктивной и восстановительной хирургии СО РАМН, Иркутск  
ГОУ ВПО «Амурский государственный медицинский университет», Благовещенск

В эксперименте на 14 метафизарных стержнях из стандартного набора Илизарова (РНЦ ВТО, Курган) определена степень угловой деформации внешней части чрескостного элемента под действием увеличивающейся динамической, циклической и длительной статической нагрузки до 280 Н. Груз прикладывали в направлении 90° относительно длинной оси стержня на расстоянии 40 и 70 мм от места крепления, что соответствует расстоянию от места выхода стержня из кости до точки фиксации стержня во внешней конструкции для стержней, введенных в область гребня и передненижней ости подвздошной кости соответственно.

Перемещение точки нагружения стержня под действием нагрузки в заданных условиях достигает 19,58 мм и имеет нелинейную зависимость от величины, кратности и длительности прикладываемой нагрузки.

Полученные экспериментальные данные и математические модели жесткости метафизарных стержней из стандартного набора Илизарова (РНЦ ВТО, Курган) могут быть использованы в математическом моделировании конструкций внешней фиксации тазового кольца.

**Ключевые слова:** повреждения костей таза, аппарат Илизарова.

Повреждения таза составляют 3–7% от общего числа травм и относятся к наиболее тяжелым повреждениям опорно-двигательного аппарата [1, 2]. В настоящее время в лечении нестабильных повреждений таза активно используется чрескостный остеосинтез, который в большинстве случаев позволяет при минимальной травматичности вмешательства обеспечить репозицию и стабильную фиксацию фрагментов, а также при необходимости разделить оказание помощи на несколько этапов.

Известно, что жесткость фиксации костей таза наружной конструкцией складывается из ряда факторов, в том числе жесткости чрескостных элементов. Установлено, что для лечения травмы таза целесообразно выбирать стержневой вид связи «кость — аппарат» [3]. Предложены и активно используются более 10 видов стержней. Доказано, что погружаемая часть стержня для внеочагового остеосинтеза таза должна быть длиной до 50 мм, что соответствует максимально возможной величине погружения в тазовую кость, должна иметь вид цилиндра с постоянным

либо переменным диаметром до 6 мм с высокой опорной резьбой крупного шага [3–5]. Доказана необходимость индивидуального подбора типоразмеров чрескостных элементов в соответствии с анатомическими особенностями тазовых костей, что позволяет увеличить стабильность в системе «кость — аппарат» [6]. Выявлено, что стержни для выполнения чрескостного остеосинтеза костей таза должны быть изготовлены из титанового сплава ВТ14 и подвергнуты высокотемпературной термомеханической обработке [7].

Переломы стержней, применяемых в лечении травмы таза методом чрескостного остеосинтеза, по данным разных авторов, составляют 2,2–8,7% [5, 7]. В ряде случаев клиницисты не устраивают прочностные характеристики наружной резьбовой части чрескостных элементов. Предложены и активно используются чрескостные элементы с диаметром наружной резьбовой части 8 мм.

При этом в литературе встречаются лишь единичные сведения о жесткости внешних фиксаторов таза в целом и их элементов

Таблица 1

Значения перемещений точки нагружения стержня D (мм) под действием динамической нагрузки от 10 до 280 Н, приложенной на расстоянии 40 мм (эксперимент 1.1) и 70 мм (эксперимент 1.2) от места его крепления под углом 90° к его длинной оси

Нагрузка (Н)	Перемещение точки нагружения, мм	
	Эксперимент 1.1	Эксперимент 1.2
10	0,27	0,72
20	0,50	1,12
30	0,84	1,50
40	0,90	2,18
50	1,34	2,54
60	1,40	3,00
70	1,58	3,24
80	2,10	3,72
90	2,24	4,88
100	2,36	4,92
110	2,56	5,17
120	3,22	5,54
130	3,26	6,16
140	3,40	6,38
150	3,56	7,30
160	4,10	7,56
170	4,22	8,18
180	4,88	8,76
190	5,00	9,58
200	5,20	9,86
210	5,26	10,32
220	5,42	10,54
230	5,68	11,96
240	6,28	12,48
250	6,34	13,00
260	6,96	13,52
270	7,32	15,04
280	7,68	16,28

в частности [3, 4, 8–10]. Подобные исследования технически сложны, достаточно трудоемки, сопряжены с большим количеством неучтенных факторов, влияющих на чистоту эксперимента.

Перспективным представляется сравнение жесткости фиксации костей таза известными конструкциями и создание усовершенствованных новых конструкций при помощи математического моделирования. Однако для его проведения необходима информация о жесткости

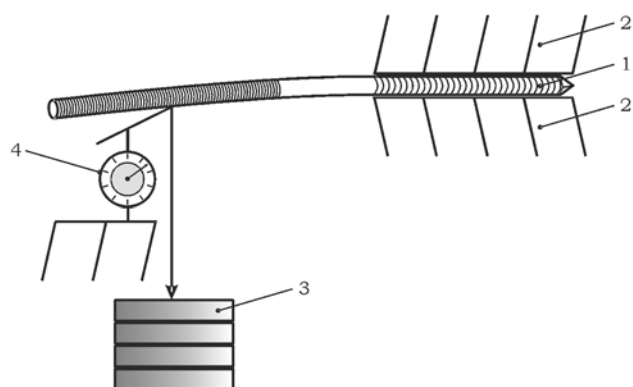


Рис. 1. Схема установки для определения деформации стержня с жестко фиксированной врезной частью под действием нагрузки, приложенной под углом 90° к его длинной оси

основных элементов. При этом в литературе отсутствуют сведения об экспериментальных исследованиях количественных характеристик жесткости чрескостных элементов, применяемых для остеосинтеза костей таза.

Цель нашего исследования — определение жесткости чрескостных элементов из стандартного набора Илизарова, используемых для фиксации фрагментов тазового кольца.

Поставлены следующие задачи:

- 1) определить степень угловой деформации чрескостного элемента под действием увеличивающейся нагрузки в направлении 90° относительно длинной оси стержня;
- 2) определить степень угловой деформации чрескостного элемента под действием циклической нагрузки в направлении 90° относительно длинной оси стержня;
- 3) определить степень угловой деформации чрескостного элемента под действием длительной статической нагрузки в направлении 90° относительно длинной оси стержня.

Экспериментальные исследования жесткости чрескостных элементов, используемых для фиксации фрагментов тазового кольца, на изгиб проводились на 14 метафизарных стержнях из стандартного набора Илизарова (РНЦ ВТО, Курган) диаметром 6,5 мм, длиной 170 мм с длиной погружаемой части 50 мм.

В соответствии с поставленными задачами исследование было разделено на три этапа.

**Эксперимент 1.** Погружаемая часть стержня (1) жестко фиксировалась в горизонтальном положении при помощи специальных зажимов (2) (рис. 1). В первом случае (эксперимент 1.1) груз (3) прикладывали на расстоянии 40 мм от места крепления стержня, что соответствует

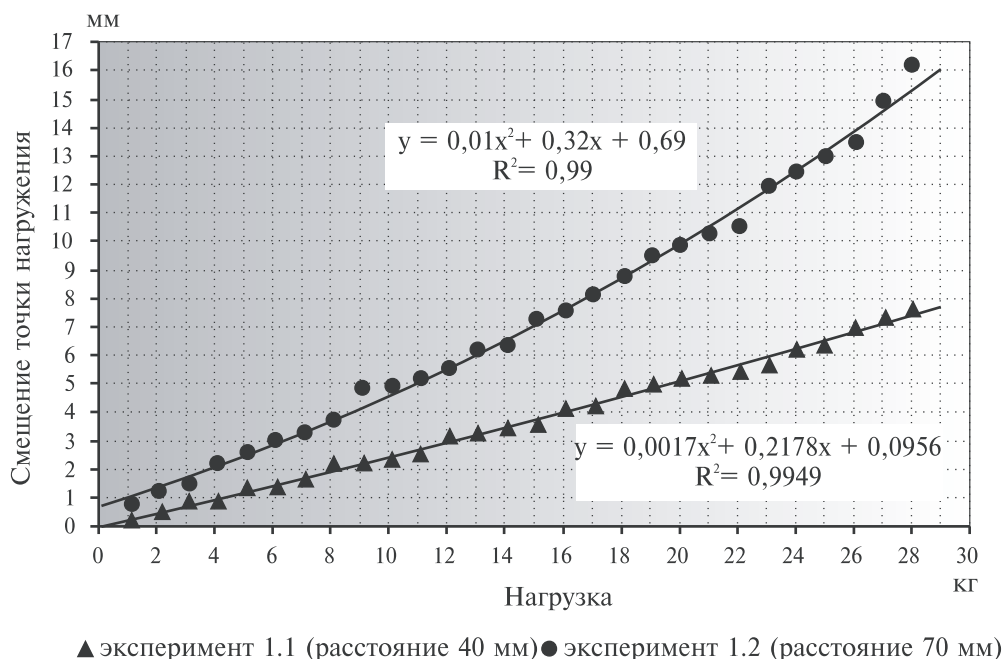


Рис. 2. График зависимости перемещений точки нагружения стержня от нагрузки, действующей под углом  $90^\circ$  к его длинной оси на расстоянии 40 мм (эксперимент 1.1) и 70 мм (эксперимент 1.2)

расстоянию от места выхода стержня из кости до точки фиксации стержня во внешней конструкции для стержней, введенных в область гребня подвздошной кости. Во втором случае (эксперимент 1.2) груз прикладывали на расстоянии 70 мм от места крепления стержня, что соответствует расстоянию от места выхода стержня из кости до точки фиксации стержня во внешней конструкции для стержней, введенных в область переднее – нижней оси подвздошной кости. Величина грузов увеличивалась постепенно, шаг нагрузки – 10 (Н), максимально использованный груз – 280 Н, время экспозиции – 2 мин. Величина деформации стержня (перемещение точки нагружения) регистрировалась индикатором линейных перемещений часового типа с ценой деления 0,01 мм (4).

В каждом случае (исследовано четыре стержня) эксперимент повторялся трехкратно. Среднеарифметические значения полученных показателей перемещений точки нагружения стержня под действием увеличивающейся нагрузки сведены в **табл. 1.**, из которой видно, что под действием нагрузки в 280 Н, приложенной на расстоянии 40 мм от места крепления стержня, наступает угловая деформация последнего с перемещением точки нагружения на 7,68 мм. Под действием той же нагрузки, приложенной на расстоянии 70 мм от места крепления стержня, перемещение точки нагружения составляет 16,28 мм.

На **рис. 2** полученные экспериментальные данные представлены в виде точек. Полиномиальные функции зависимости деформации стержня от приложенной нагрузки, построенные при помощи пакета Microsoft Excel, обозначены сплошными линиями.

В случае нагружения стержня под углом  $90^\circ$  к длинной оси на расстоянии 40 мм от места его крепления получили следующую функцию зависимости перемещения точки нагружения стержня от прилагаемой нагрузки:

$f(x) = 0,0017x^2 + 0,2178x + 0,0956$  с коэффициентом достоверности аппроксимации 0,9949.

В случае нагружения стержня под углом  $90^\circ$  к длинной оси на расстоянии 70 мм от места его крепления получили следующую функцию зависимости перемещения точки нагружения стержня от прилагаемой нагрузки:

$f(x) = 0,01x^2 + 0,32x + 0,69$  с коэффициентом достоверности аппроксимации 0,99.

**Эксперимент 2.** Погружаемая часть стержня (1) жестко фиксировалась в горизонтальном положении при помощи специальных зажимов (2), груз (3) прикладывали на расстоянии 4 см (эксперимент 2.1) и 7 см (эксперимент 2.2) от места крепления стержня (**рис. 1**). Величина груза составляла 280 Н, время экспозиции 2 мин, число повторений – 30. Величина деформации стержня (перемещение точки нагружения) во время приложения нагрузки и остаточная деформация

Таблица 2

Значения перемещений точек нагружения стержня под действием циклической нагрузки 280 Н, приложенной на расстоянии 40 мм (эксперимент 2.1) и 70 мм (эксперимент 2.2) от места крепления стержня под углом 90° к его длинной оси

Кратность приложения нагрузки	Перемещение точки нагружения, мм	
	Эксперимент 2.1	Эксперимент 2.2
1	7,92	16,48
2	7,45	16,86
3	7,84	15,94
4	7,90	16,30
5	8,34	16,62
6	7,65	16,89
7	8,58	16,56
8	8,10	16,43
9	8,24	17,40
10	8,56	16,57
11	8,06	16,94
12	8,22	16,18
13	7,86	16,58
14	8,40	16,25
15	7,86	17,62
16	8,10	17,69
17	8,22	17,16
18	7,68	16,82
19	8,00	17,06
20	8,10	17,17
21	8,26	17,04
22	8,12	17,81
23	8,68	17,38
24	8,28	17,45
25	8,34	16,42
26	8,76	17,09
27	8,32	17,16
28	8,56	17,32
29	8,08	18,00
30	8,82	18,36

(деформация стержня после прекращения действия нагрузки) регистрировались индикатором линейных перемещений часового типа с ценой деления 0,01 мм.

Таким образом исследовано четыре стержня. Среднеарифметические значения полученных показателей перемещений точки нагружения

Таблица 3

Значения перемещений точки нагружения стержня статической нагрузкой 280 Н, действующей на расстоянии 40 мм (эксперимент 3.1) и 70 мм (эксперимент 3.2) от места крепления стержня под углом 90° к его длинной оси в течение четырех недель

Время экспозиции, сут	Перемещение точки нагружения, мм	
	Эксперимент 3.1	Эксперимент 3.2
1	7,76	16,76
2	7,75	18,54
3	8,94	18,26
4	8,95	17,38
5	9,08	18,22
6	8,08	18,96
7	8,96	18,58
8	8,54	19,36
9	8,94	18,08
10	8,66	18,14
11	9,78	18,72
12	9,12	18,64
13	9,70	19,30
14	9,76	18,43
15	9,08	19,06
16	9,20	18,58
17	9,02	19,50
18	9,98	19,20
19	9,60	19,85
20	9,34	19,27
21	9,76	19,04
22	9,52	19,81
23	9,68	19,00
24	9,20	19,15
25	9,32	18,98
26	9,48	19,46
27	9,64	19,22
28	9,52	19,58

под тридцатикратным действием нагрузки 280 Н сведены в **табл. 2**.

На **рис. 3** полученные экспериментальные данные представлены в виде точек. Полиномиальные функции зависимости деформации стержня от кратности прилагаемой нагрузки, построенные при помощи пакета Microsoft Excel, обозначены сплошными линиями.

В случае тридцатикратного нагружения стержня грузом 280 Н под углом 90° к длинной

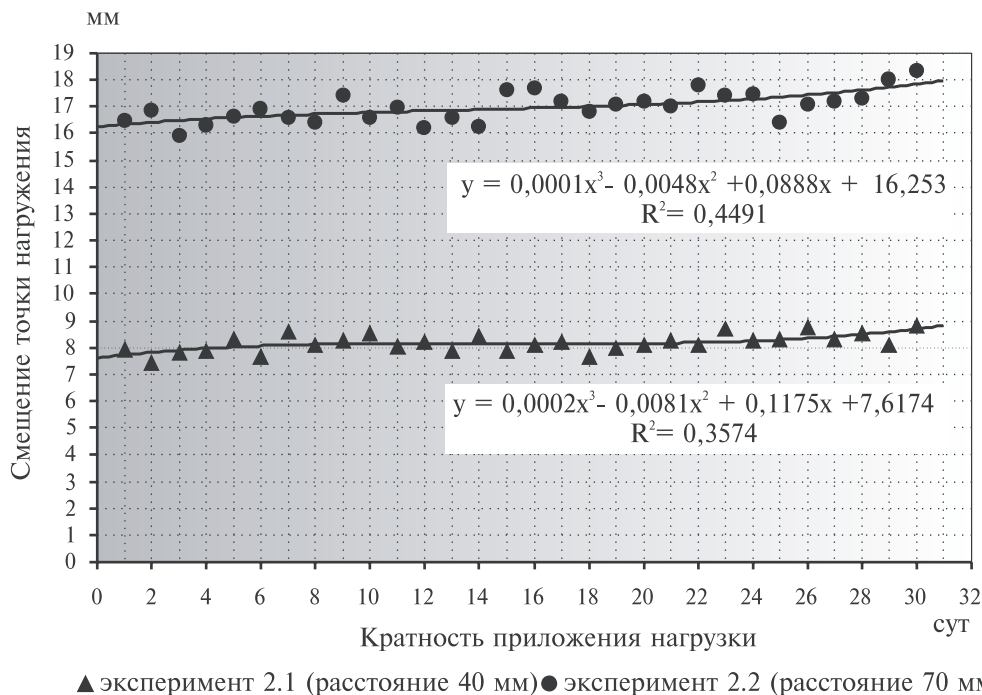


Рис. 3. График зависимости перемещений точки нагружения стержня от кратности прикладываемой нагрузки 280 Н, действующей под углом 90° к его длинной оси на расстоянии 40 мм (эксперимент 2.1) и 70 мм (эксперимент 2.2)

оси стержня на расстоянии 40 мм от места его крепления получили следующую функцию зависимости перемещения точки нагружения стержня от кратности прикладываемой нагрузки:

$f(x) = 0,0002x^3 - 0,0081x^2 + 0,1175x + 7,6174$  с коэффициентом достоверности аппроксимации 0,3574.

В случае тридцатикратного нагружения стержня грузом 280 Н под углом 90° к длинной оси стержня на расстоянии 70 мм от места его крепления получили следующую функцию зависимости перемещения точки нагружения стержня от кратности прикладываемой нагрузки:

$f(x) = 0,0001x^3 - 0,0048x^2 + 0,0888x + 16,253$  с коэффициентом достоверности аппроксимации 0,4491.

**Эксперимент 3.** Погружаемая часть стержня (1) жестко фиксировалась в горизонтальном положении при помощи специальных зажимов (2), груз (3) прикладывали на расстоянии 40 мм (эксперимент 3.1) и 70 мм (эксперимент 3.2) от места крепления стержня (рис. 1). Величина груза составляла 280 Н, время экспозиции четыре недели. Величина деформации стержня (перемещение точки нагружения) во время приложения нагрузки и остаточная деформация (деформация стержня после прекращения действия нагрузки) ежедневно регистрировались индикатором линейных перемещений часового

типа с ценой деления 0,01 мм. Таким образом исследовано шесть стержней.

Среднеарифметические значения полученных показателей перемещений точки нагружения стержня под действием нагрузки 280 Н, приложенной на расстоянии 40 и 70 мм от места крепления стержня под углом 90° к его длинной оси, со временем экспозиции до 28 сут сведены в табл. 3.

На рис. 4 полученные экспериментальные данные представлены в виде точек. Полиномиальные функции зависимости деформации стержня от экспозиции статической нагрузки, построенные при помощи пакета Microsoft Excel, обозначены сплошными линиями

В случае нагружения стержня грузом 280 Н под углом 90° к длинной оси стержня на расстоянии 40 мм от места его крепления в течение четырех недель получили следующую функцию зависимости перемещения точки нагружения стержня от экспозиции статической нагрузки:

$f(x) = 0,0001x^3 - 0,0083x^2 + 0,2091x + 7,7747$  с коэффициентом достоверности аппроксимации 0,625.

В случае нагружения стержня грузом 280 Н под углом 90° к длинной оси стержня на расстоянии 70 мм от места его крепления в течение четырех недель получили следующую функцию зависимости перемещения точки нагружения



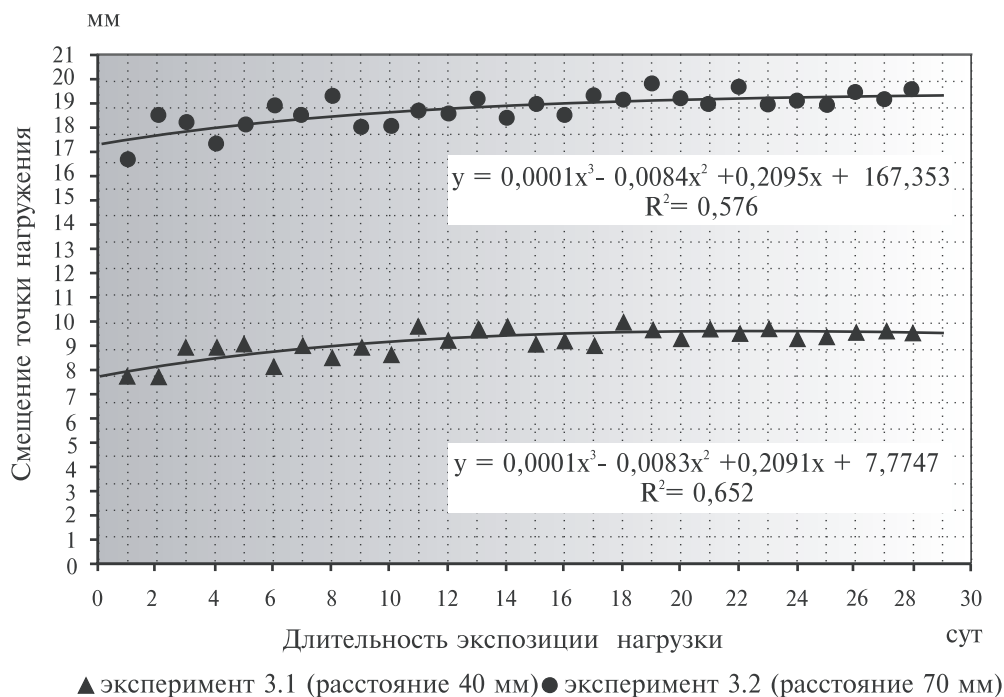


Рис. 4. График зависимости перемещений точки нагружения стержня от экспозиции статической нагрузки 280 Н, действующей на расстоянии 40 мм (эксперимент 3.1) и 70 мм (эксперимент 3.2) от места крепления стержня под углом 90° к его длинной оси

стержня от экспозиции статической нагрузки:

$f(x) = 0,0001x^3 - 0,0084x^2 + 0,2095x + 17,353$  с коэффициентом достоверности аппроксимации 0,576.

#### Выводы

1. Метафизарный стержень 6,5 мм в диаметре из стандартного набора Илизарова (РНЦ ВТО, Курган) выдерживает динамическую, циклическую и статическую нагрузку до 280 Н, приложенную на расстоянии до 70 мм от места крепления стержня.

2. Перемещение точки нагружения стержня под действием динамической нагрузки до 280 Н, приложенной на расстоянии до 70 мм от места крепления стержня под углом 90° к его длинной оси, достигает 16,28 мм и имеет нелинейную зависимость от величины прикладываемой нагрузки.

3. Перемещение точки нагружения стержня под действием циклической нагрузки до 280 Н, приложенной на расстоянии до 70 мм от места крепления стержня под углом 90° к его длинной оси, на тридцатом цикле составляет 18,36 мм и имеет нелинейную зависимость от кратности прикладываемой нагрузки.

4. Перемещение точки нагружения стержня под действием статической нагрузки 280 Н, приложенной на расстоянии до 70 мм от места крепления стержня под углом 90° к его длинной

оси в течение четырех недель, на 28-е сут экспозиции составляет 19,58 мм и имеет нелинейную зависимость от экспозиции прикладываемой нагрузки.

5. Полученные экспериментальные данные и математические модели жесткости метафизарных стержней диаметром 6,5 мм из стандартного набора Илизарова (РНЦ ВТО, Курган) могут быть использованы в математическом моделировании конструкций внешней фиксации тазового кольца.

#### DEFINING THE RIGIDITY OF TRANSOSSEOUS ELEMENTS OF STANDARD ILIZAROV'S SET USED FOR FIXATION OF PELVIC GIRDLE FRAGMENTS

A.N. Grishchuk, M.E. Puseva, N.V. Tishkov, A.V. Bushmanov

During experiment with 14 metaphyseal rods from standard Ilizarov's set (Russian Scientific Center of Reconstructive Traumatology and Orthopedics, Kurgan) degree of angular deformation of external part of transosseous element under the action of growing dynamic, cyclic and long static load up to 280 Н. Load was applied in the line of 90° regarding long axis of the rod on the distance of 40 and 70 mm from the place of attachment which corresponds the

distance from rod's exit out of the bone to the point of fixation of the rod in external device for rods introduced in the area of crest and anterior-inferior spine of huckle-bone correspondingly.

Moving of road load point under the action of the load in the given conditions comes up to 19.58 mm and has nonlinear dependence from value, rate and duration of applied load.

Received experimental data and mathematic models of rigidity of metaphyseal rods from standard Ilizarov's set (Russian Scientific Center of Reconstructive Traumatology and Orthopedics, Kurgan) can be used in mathematic modeling of external fixation devices for pelvic girdle.

### **Литература**

1. *Ruedi T.P., Murphy W.M. AO Principles of Fracture Management.* Stuttgart; N. Y., 2000. 391–415.
2. *Черкес-Заде Д.И., Лазарев А.Ф.* Оперативное лечение застарелых повреждений тазового кольца: Методические рекомендации. М., 2004. 20 с.
3. *Лобанов Г.В.* Морфобиомеханический выбор связи «кость — аппарат» в лечении тяжелой травмы таза // *Диагностика, лечение и реабилитация больных с повреждениями костей таза: Сб. статей.* Екатеринбург, 1996. 42–48.
4. *Борозда И.В.* Конструкции для репозиции и фиксации переломов костей таза: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Благовещенск, 2000.
5. *Шлыков И.Л.* Оперативное лечение больных с последствиями повреждений тазового кольца: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Екатеринбург, 2004.
6. *Гринь А.А.* Чрескостный остеосинтез при нестабильных повреждениях костей и сочленений тазового кольца: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Тюмень, 2006.
7. *Кутенов С.М.* Управляемый чрескостный остеосинтез в лечении переломов костей таза: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Пермь, 1996. 65 с.
8. *Pohlemann T., Krettek C., Hoffmann R., et al.* Biomechanical comparison of various emergency stabilization measures of the pelvic ring // *Unfallchirurg.* 1994. 97 (10). 503-510.
9. *Rieger H., Winckler S., Wetterkamp D., Overbeck J.* Clinical and biomechanical aspects of external fixation of the pelvis. *Clin Biomech.* 1996; 11 (6): 322-7.
10. *Kees J. Ponsen, Gilbert A., Van Dijke H., et al.* External fixators for pelvic fractures Comparison of the stiffness of current systems // *Acta Orthop Scand.* 2003. 74 (2). 165–171.