

## БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АППАРАТОВ ВНЕШНЕЙ ФИКСАЦИИ

С.Р. Михайлов, Т.А. Амро

Институт патологии позвоночника и суставов им. проф. М.И. Ситенко АМН Украины, Харьков  
Запорожский государственный институт усовершенствования врачей

*Рассматривается принцип моделирования и расчета коэффициента жесткости соединения отломков трубчатых кости с помощью аппаратов внешней фиксации.*

### Введение

Применение аппаратов внешней фиксации (АВФ) при лечении повреждений и заболеваний длинных трубчатых костей скелета прослеживается в отечественной и зарубежной литературе более пятидесяти лет. Аппараты с опорными элементами, внедренными в костные фрагменты при лечении переломов длинных трубчатых костей скелета, начали применяться в конце XIX века [10]. В 1909 году профессор К.Ф. Вегнер впервые в России применил для лечения переломов стержневой аппарат внешней фиксации [3]. Этим было поставлено начало применения АВФ в Харьковском НИИ ортопедии и травматологии им. М.И. Ситенко, где почти 100-летний путь развития привел к значительному совершенствованию технологий лечения переломов с применением АВФ [2,4,6,8,9]. Все существующие внешние аппараты не обеспечивают абсолютно жесткой фиксации отломков, что связано с упругой деформацией стержней или натянутых спиц при нагрузках поврежденной конечности. Исследования ряда авторов (Бэц Г.В. 1992, Дубас В.И. 1999, Попсуйшапка О.К., Дубас В.И. 2001, Richardson I.V., Kenwright I. 1995) доказали, что при осевой нагрузке отломков сегмента голени, фиксированных внешним аппаратом, возникают продольные и угловые перемещения не приводящие к нарушению процесса сращения отломков.

При разработках конструкций аппаратов и методик их использования в клинической практике принципиально важно использовать показатель, количественно характеризующий степень жесткости соединения отломков. Таким показателем может быть коэффициент жесткости системы «аппарат- костные отломки», метод измерения которого предложен в лаборатории биомеханики ИППС им. проф. М.И. Ситенко (Михайлов С.Р., 2001).

Рассмотрим принципиальную основу формирования условий для получения коэффициента жесткости Кж.

При осевой нагрузке на поврежденный сегмент различные устройства для остеосинтеза отломков принимают на себя определенную часть возникающих нагрузок, а остальная часть нагрузки воспринимается отломками в месте их контакта. В стендовых исследованиях определяется именно эта часть нагрузки.

Для этих целей используют барометрическую систему измерения на-грузки, в состав которой входит датчик системы, который устанавливается между отломками. Внешняя нагрузка Р заданно известной величины вызывает соответствующее усилие по линии перелома, которую фиксируют этим датчиком.

К примеру, на модель приложена внешняя нагрузка Р = 200 Н, при этом датчик воспринял по линии перелома усилие DP = 40 Н, то есть значительно меньше приложенной, следовательно, АВФ воспринял на себя DP<sub>п</sub> = 160 Н, в этом случае значение Кж определяют как:

$$K_{ж} = 1 - \frac{\Delta P}{P} = 1 - \frac{40,0}{200,0} = 0,8$$

Таким же образом производят определение коэффициента жесткости системы А-К при различных заданных внешних нагрузках.

Данная методика и измерительная система определения нагрузки по линии перелома разработана в лаборатории биомеханики Харьковского института патологии позвоночника и суставов им. М.И. Ситенко. Ее применяют при стендовых исследованиях устройств остеосинтеза.

Стендовые исследования возможностей фиксаторов для остеосинтеза на модели сломанного сегмента, анализ их поведения при различных условиях нагрузки и результатов лечения переломов позволил выявить и опытным путем обосновать некоторые механические критерии

## ситуационный план

| Шифр  | Описание ситуаций  |
|---|--|
| <b>Т. ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЕСТКОСТИ СИСТЕМЫ</b>              |  |
| T-1   | Имитация прямого поперечного перелома в средней трети ББК. Установка АВФ на 4 опорных резьбовых стержнях (по 2 опорных стержня на каждом фрагменте). |
| T-1-1   | Тоже. Установка АВФ на 5 опорных резьбовых стержнях: 3 на дистальном, 2 на проксимальном отделах.  |
| T-1-2   | Тоже. Установка АВФ на 5 опорных резьбовых стержнях: 2 на дистальном, 3 на проксимальном отделах.  |
| T-1-3   | Тоже. Установка АВФ на 6 опорных резьбовых стержнях: 3 на дистальном, 3 на проксимальном отделах.  |
| T-1-4   | Тоже. Установка АВФ на 4 опорных гладких стержнях под углом до 60°: 2 на дистальном, 2 на проксимальном отделах.                                     |
| T-1-5   | Тоже. Установка АВФ на 6 опорных гладких стержнях под углом до 60°: 2x2 на дистальном, 2 на проксимальном отделах.                                   |
| T-1-6   | Тоже. Установка АВФ на 8 опорных гладких стержнях под углом до 60°: 2x2 на дистальном, 2x2 на проксимальном отделах.                                 |
| <b>ТТ. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ОТЛОМКОВ</b> |  |
| ТТ-1  | Имитация многооскольчатого перелома в средней трети ББК (диастаз 10-12 мм) Установка АВФ по ситуации Т-1.  |
| ТТ-1-1  | Тоже. Установка АВФ по ситуации Т-1-1.   |
| ТТ-1-2  | Тоже. Установка АВФ по ситуации Т-1-2.   |
| ТТ-1-3  | Тоже. Установка АВФ по ситуации Т-1-3.   |
| ТТ-1-4  | Тоже. Установка АВФ по ситуации Т-1-4.   |
| ТТ-1-5  | Тоже. Установка АВФ по ситуации Т-1-5.   |
| ТТ-1-6  | Тоже. Установка АВФ по ситуации Т-1-6.   |

фиксаторов, в том числе и АВФ. На пример научно обоснован критерий жесткости системы «Фиксатор–кость» любого устройства для остеосинтеза (Михайлов С.Р., 2001).

Этот показатель остеосинтеза имеет принципиальное значение при оценке биомеханических характеристик выполняемого остеосинтеза, поскольку дает количественную оценку качества фиксации и возможность более объективной оценки влияния условий фиксации отломков на процесс регенерации.

Приведенные биомеханические исследования сведены к решению ряда задач.

Основной задачей является определение коэффициента жесткости предлагаемого АВФ [1].

Другая задача предполагает определение величины перемещения отломков по линии перелома при соответствующих величинах нагружения поврежденной конечности. Показатель перемещения характеризует свойства использованного для остеосинтеза устройства при лечении переломов длинных трубчатых костей, при нагружении в условиях близких к естественным. Особенно это важно при косых и оскольчатых переломах, где отсутствует полный контакт отломков.

Вместе с тем, биомеханические исследования позволяют выявить максимально допустимую нагрузку на оперированную конечность при помощи конкретного фиксатора или устройства. Определение максимально допустимой нагрузки для исследуемого АВФ является третьей задачей нашего исследования.

### Методика исследования

Стендовые исследования биомеханических характеристик указанного АВФ были проведены в Институте патологии позвоночника и суставов им. проф. М.И. Ситенко АМН Украины.

Стендовые исследования АВФ проводили по соответствующей программе в объеме комплексных биомеханических исследований [7].

### Ситуационный план исследования АВФ

Реализация поставленных задач, как правило, должна сопровождаться разработкой подробного плана проведения эксперимента [5]. Для этих целей был разработан ситуационный план разностороннего исследования АВФ (табл. 1, 2).

Эксперимент проводили на препаратах большеберцовой кости, при помощи которых имитировали коэффициент жесткости  $K_{жi}$  для каждой величины нагружения  $P$  согласно ситуациям. Определяли  $K_{жi}$  по выражению:

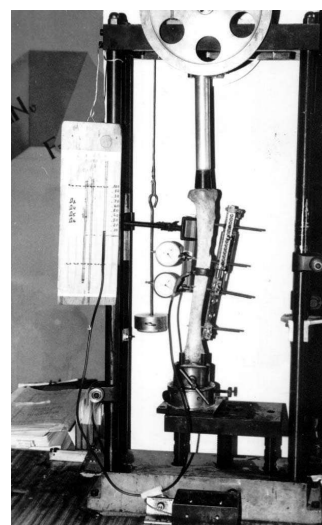


Рисунок 1

Общий вид станда для исследования коэффициента жесткости  $K_{ж}$  с установленной системой А–К с применением резьбовых стержней.

Таблица 2

Значение величины  $\Delta P$  по ситуациям

| P, Н | $h_{\text{ср.}}$<br>ммвод.ст. | $\Delta P$ , Н | Схема ситуации | Шифр      |
|------|-------------------------------|----------------|----------------|-----------|
| 200  | 7                             | 60             |                | Т - 1     |
| 400  | 11                            | 130            |                |           |
| 600  | 18                            | 220            |                |           |
| 800  | 27                            | 330            |                |           |
| 200  | 5                             | 70             |                | Т - 1 - 1 |
| 400  | 10                            | 140            |                |           |
| 600  | 17                            | 240            |                |           |
| 800  | 25                            | 300            |                |           |
| 200  | 4                             | 50             |                | Т - 1 - 2 |
| 400  | 11                            | 120            |                |           |
| 600  | 18                            | 210            |                |           |
| 800  | 25                            | 300            |                |           |
| 200  | 5                             | 50             |                | Т - 1 - 3 |
| 400  | 8                             | 90             |                |           |
| 600  | 14                            | 170            |                |           |
| 800  | 23                            | 280            |                |           |
| 200  | 7                             | 70             |                | Т - 1 - 4 |
| 400  | 12                            | 140            |                |           |
| 600  | 20                            | 250            |                |           |
| 800  | 29                            | 360            |                |           |
| 200  | 7                             | 70             |                | Т - 1 - 5 |
| 400  | 11                            | 130            |                |           |
| 600  | 20                            | 240            |                |           |
| 800  | 28                            | 340            |                |           |
| 200  | 5                             | 50             |                | Т - 1 - 6 |
| 400  | 9                             | 100            |                |           |
| 600  | 18                            | 210            |                |           |
| 800  | 28                            | 340            |                |           |

$$K\alpha^3 = 1 - \frac{\Delta D}{D}$$

Условно, общий коэффициент жесткости системы А-К для каждой ситуации, вычислен как среднее арифметическое значений исследуемой системы.

Результаты вычислений сведены в таблицу (табл.3).

Таблица 3

Значения коэффициентов жесткости системы А-К

| P, Н | Т-1<br>Кж1 | Т-1-1<br>Кж1 | Т-1-2<br>Кж1 | Т-1-3<br>Кж1 | Т-1-4<br>Кж1 | Т-1-5<br>Кж1 | Т-1-6<br>Кж1 |
|------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 200  | 0,7        | 0,65         | 0,75         | 0,75         | 0,65         | 0,65         | 0,75         |
| 400  | 0,68       | 0,65         | 0,70         | 0,77         | 0,65         | 0,68         | 0,75         |
| 600  | 0,64       | 0,60         | 0,65         | 0,72         | 0,60         | 0,60         | 0,65         |
| 800  | 0,59       | 0,56         | 0,60         | 0,65         | 0,57         | 0,58         | 0,58         |
| Кж   | 0,65       | 0,61         | 0,67         | 0,72         | 0,61         | 0,63         | 0,68         |

### Заключение

Анализируя данные, полученные при стендовых испытаниях АВФ на модели системы А-К, можно сформулировать следующие выводы.

1. Предложенный аппарат относится к консольным аппаратам внешней фиксации, модульной конструкции. При осевых нагрузках сегмента зафиксированного данной конструкцией аппарата, часть усилий передается с одного отломка на другой в месте их контакта.

2. Величина коэффициента жесткости системы, прежде всего, зависит от действующей нагрузки, и мало зависит от изменения количества используемых стержней. Это дает основание использовать их минимальное количество – 2 стержня в каждый отломок. Использование 3 и более стержней, практикуемое некоторыми авторами, не имеет смысла, так как не существенно увеличивает коэффициент жесткости системы аппарат – отломки.

3. При условиях фиксации отломков с оскольчатой плоскостью перелома (когда отсутствует контактный упор отломков) осевая нагрузка от 200 до 800 Н приводит к однотипному угловому перемещению отломков в пределах от 1,7 до 3,0°. Основная часть деформирования отломков происходит при действии нагрузок в интервале 400-600 Н. Величина деформирования мало зависит от количества стержней, что также свидетельствует о возможности использования схемы «2 и 2» стержня в каждый отломок.

## Литература

1. Патент № 30750, МКИ 7 А 61 В 17/66. Апарат для чрезкісткового остеосинтезу / Амро Т.А. (UA). № 98042227; Заяв. 30.04.98; Опубл. 15.05.2001, Бюл. № 4. С. 3.1.10-3.1.12.
2. Бэц Г.В., Рынденко В.Г. Применение стержневых аппаратов при лечении переломов костей голени // Ортопедия, травматология и протезирование. 1988. №7. С.7-11.
3. Викторова Н.Л. Экспертная оценка лечения диафизарных переломов длинных трубчатых костей // Анналы травматологии и ортопедии. 1995. №1. С.8-10.
4. Иванов О.К., Осипов Б.А. Исследования математической модели и методов расчета системы «устройство – кость», основанной на применении стержней // Аппараты и методы внешней фиксации в травматологии и ортопедии. Рига, 1985. Т.3. С.151.
5. Касагкин Б.С., Кудрин А. Б., Лобанов Л.М. и др. / Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений: Справочное пособие. Киев: Наук. думка, 1981. 583 с.
6. Применение стержневых аппаратов внешней фиксации при переломах: Метод. рекомендации / Сост.: В.Г. Рынденко и др. Харьков, 1988. 22 с.
7. Методика биомеханических исследований фиксаторов и устройств для остеосинтеза. Комплексная программа биомеханических исследований / Под ред. С.Р. Михайлова ХНИИОТ, 2000. 12с.
8. Применение стержневых аппаратов внешней фиксации при переломах: Метод. рекомендации / ХНИИОТ; Сост. Рынденко В.Г. и др. Харьков, 1979. 22 с.
9. Стержневые аппараты для чрезкостного остеосинтеза системы “ЧАС”: Учеб.-метод. пособие / Сост.: А.С. Чичунов. Харьков, 1991. 48 с.
10. Malgaigne J. Consideration cliniques sur les fractures de la rotule et leur traitement par le driffes // J. des Connaissances Med. Pratiques, 1853, 16, 9-12.

