

Методы оценки надежности средств фиксации переломов конечностей

*Шидловский Н.С. к.т.н., доцент; Дымань М.М., студентка
Национальный технический институт Украины
«Киевский политехнический институт»*

Введение. Наряду с клиническими показателями, системы фиксации переломов различных конструкций (спицы, винты, пластины и другие средства [1, 2]) должны обладать достаточной жесткостью, обеспечивающей стабильность фиксации отломков кости в течение всего времени лечения. Появлению нежелательных деформаций (смещений) фрагментов поврежденной кости способствуют внешние нагрузки. Последние являются неизбежными ввиду того, что обеспечить полную неподвижность пострадавшего в процессе лечения практически невозможно.

Цель исследований: разработать методику определения характеристик жесткости систем "поврежденная кость - устройство фиксации" ("К-Ф") при действии осевого сжатия, поперечного изгиба и кручения, в том числе в циклических режимах; провести стендовые натурные испытания различных систем ОС с наиболее распространенными способами фиксации переломов для выбора оптимальных с точки зрения качества способов закрепления отломков при сложных переломах.

Материалы и методы. Для экспериментальных исследований использовали длинные кости людей, умерших по причинам, не связанными с патологией опорно-двигательной системы. Остеосинтез костей с моделированными переломами выполняли врачи-специалисты, участвующие в экспериментальных работах, по обычным методикам с применением различных типов металоостеосинтеза.

Исследование деформационных характеристик систем К-Ф проводили с использованием универсальной испытательной машины, снабженной системой регистрации деформаций биологических объектов с помощью цифровых фото- и видеокамер (рис.1, 2). Препараты испытывали при однократных и циклических действиях нагрузок путем сжатия, изгиба и кручения [2-5].

Для определения перемещений точек кости и системы "К-Ф" под нагрузкой проводили фото- и видеосъемку препаратов, включая реперные точки (заостренные концы стальных спиц). По результатам измерений отдельных точек препарата рассчитывали величины их взаимных смещений.

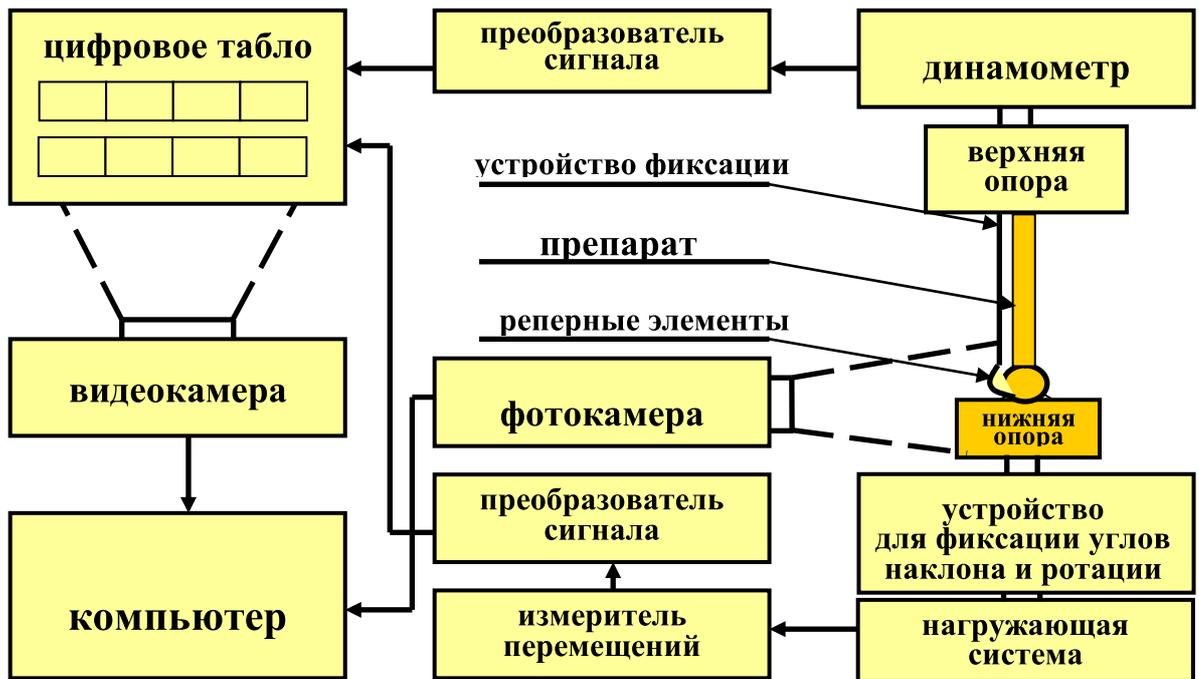


Рис. 1. Системы для измерения деформаций систем ОС

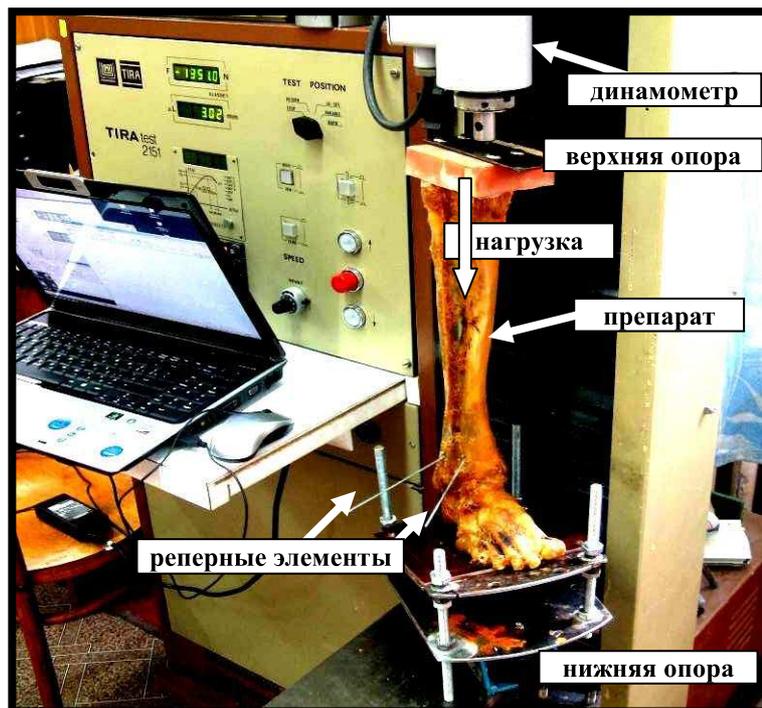


Рис. 2. Система для нагрузки и регистрации деформации систем ОС.

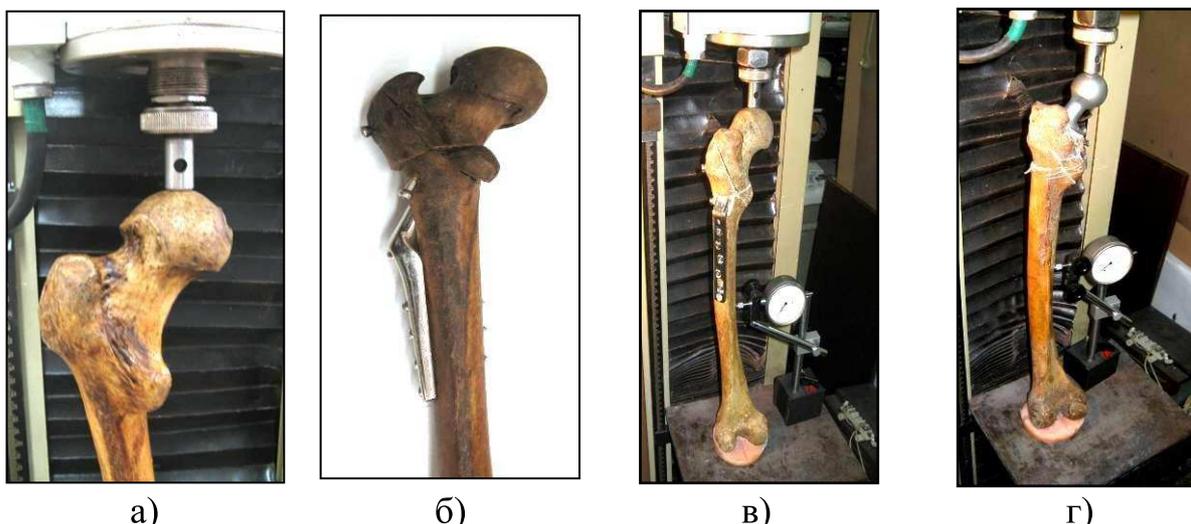


Рис.3. Исследованные препараты: неповрежденная бедренная кость во время испытаний на сжатие (а); бедренная кость с фиксирующей пластиной отдельно (б) и во время испытаний (в), кость с эндопротезом (г).

Действие однократных кратковременных нагрузок. Построены диаграммы деформирования (зависимости деформаций препаратов от приложенных нагрузок) при сжатии, изгибе и кручении неповрежденных образцов и костей с моделированными переломами, закрепленными системами ОС.

Указанные диаграммы имеют практически линейный характер в исследованных диапазонах нагрузок (рис. 4), поэтому упругие свойства препаратов могут быть охарактеризованы постоянными коэффициентами жесткости $C = P / \Delta$ и удельными деформациями $\delta = \Delta / P = 1 / C$, где P - нагрузка, измеренная по диаграмме деформирования; Δ - суммарная деформация, соответствующая P .

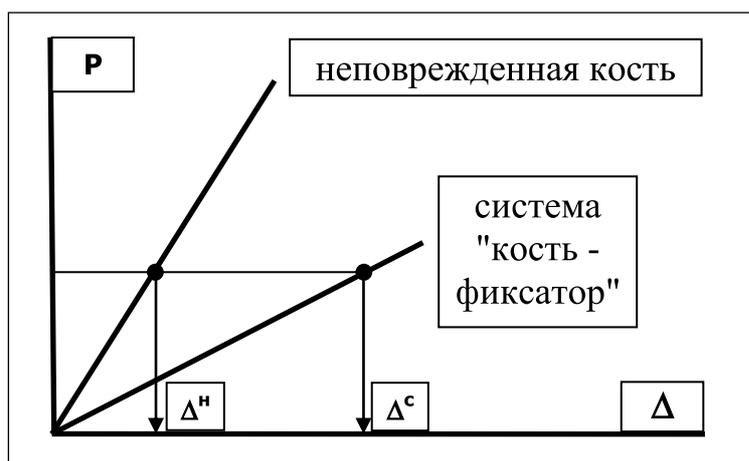


Рис. 4. Типичные диаграммы деформирования при кратковременном нагружении неповрежденной кости и системы "К-Ф".

Перелом кости и установка системы фиксации приводит к изменению механических характеристик по сравнению с неповрежденными препаратами. Уменьшение показателя C (увеличение δ) указывают на степень изменения жесткости препаратов при закреплении перелома определенным типом системы фиксации.

В качестве критерия механической надежности системы ОС при действии кратковременных однократных нагрузок целесообразно принять деформации, которые возникают при действии физиологической нагрузки.

За исходное значения критерия (базовый уровень) удобно принять деформацию неповрежденной кости, а показателем надежности всей системы ОС может служить отношение деформации неповрежденной кости к деформации системы "К-Ф" (показатель деформационной стабильности)

$$\Psi_K = \delta^H / \delta^C \quad (0 \leq \Psi_K \leq 1). \quad (1)$$

Действие длительных циклически изменяющихся нагрузок. Практика экспериментальных исследований показывает, что остаточные ("задержанные") деформации при циклическом нагружении конечностей с системами ОС могут в некоторых случаях превышать деформации, возникающие при быстром однократном нагружении, и при оценке надежности фиксации переломов это обстоятельство необходимо учитывать. Указанные деформации возникают в процессе нагружения и действия нагрузки P_{max} за время τ_1 и не полностью устраняются в процессе разгрузки и выдержке при нагрузке P_{min} за время τ_2 .

При проведении испытаний нами осуществлены следующие программы цикла (рис.5): 1) увеличение осевой нагрузки в течение времени τ_{in} до возникновения максимального усилия P_{max} ; 2) выдержка препарата при этой нагрузке в течение времени τ_1 ; 3) уменьшение нагрузки в течение времени τ_r до минимального усилия P_{min} (в наших опытах $P_{min} = 25$ Н); 4) выдержка препарата при минимальной нагрузке в течение времени τ_2 (в наших опытах $\tau_2 = 1$ с).

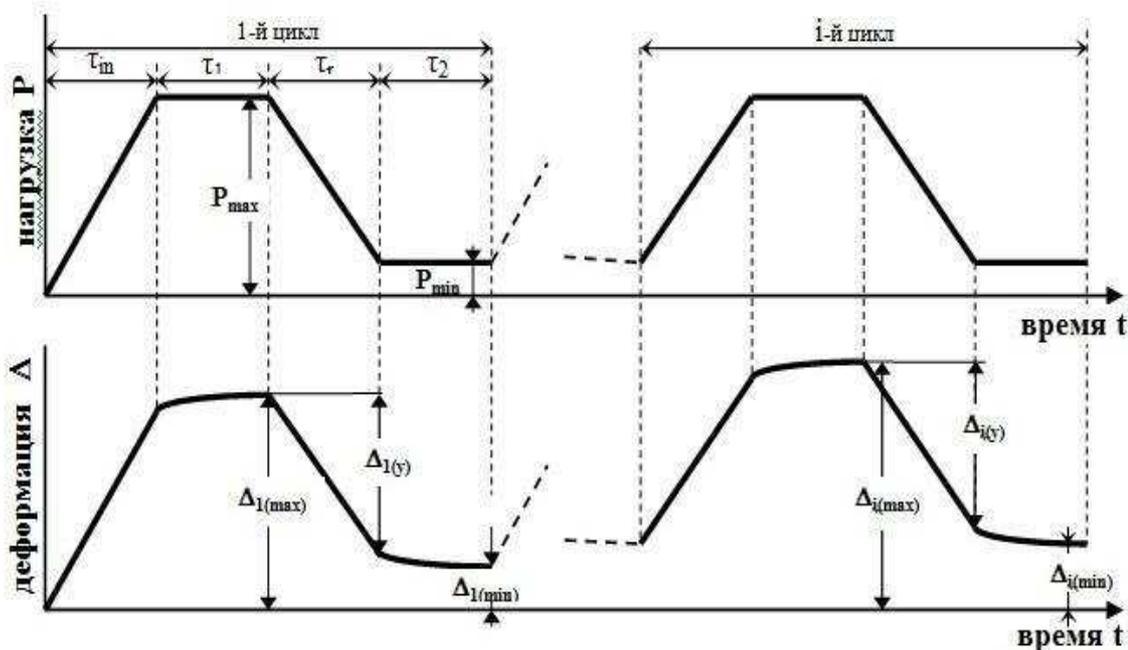


Рис.5. Программа нагружения и кривая циклической ползучести препаратов.

После этого цикл повторяли. Максимальное количество циклов для каждого образца равнялось 50. Запись значений деформаций препаратов производили на 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20, 30, 40 и 50-м циклах.

Были реализованы такие режимы циклических нагрузок образцов: скорость деформирования $V = 5, 10, 15, 20$ и 25 мм/мин; время выдержки образцов при $P = P_{\max}$ $\tau_1 = 1, 5, 15, 30$ и 60 с; нагрузка $P_{\max} = 200, 400, 600$ и 800 Н.

Суммарные "задержанные" деформации, накопленные в объекте после i -го цикла нагружения определяли по формуле $\Delta_{з,i} = \Delta_i - \Delta_1$, где Δ_i - общая деформация системы после i -го цикла, Δ_1 - деформация при однократном нагружении.

Зависимость "задержанных" деформаций от числа циклов представляет собой монотонный процесс, характеризующийся постоянно возрастающей деформацией (рис. 6). При этом наиболее интенсивное накопление деформаций происходит на первых циклах.

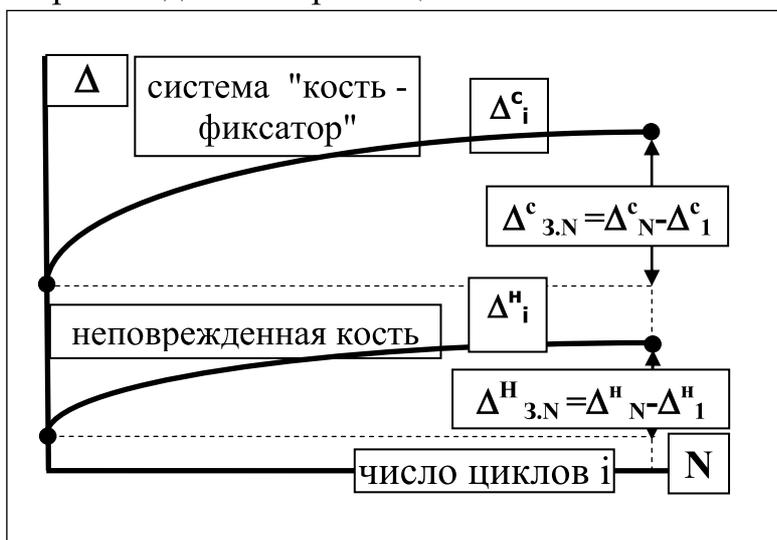


Рис. 6. Накопление "задержанных" деформаций при циклическом нагружении неповрежденной кости и системы "К-Ф".

Для сопоставления степени накопления деформаций в неповрежденных костях и в системах "К-Ф" рассчитаны величины этих деформаций по отношению к максимальной за цикл нагрузке P_{\max} (удельные "задержанные" деформации)

$$\delta_{з,i} = \Delta_{з,i} / P_{\max} .$$

Если использовать эти деформации в качестве критерия надежности, а за исходный (базовый) уровень принять "задержанную" деформацию неповрежденной кости, то показатель деформационной надежности предлагается представить в таком виде:

$$\Psi_{ц} = (\delta_{3,N}^H - \delta_{3,1}^H) / (\delta_{3,N}^C - \delta_{3,1}^C) \quad (0 \leq \Psi_{ц} \leq 1), \quad (2)$$

где индексами "Н" и "С" обозначены деформации неповрежденной кости и системы "К-Ф" соответственно, индексами "1" и "N" отмечены деформации, измеренные после 1-го N-го циклов нагружения соответственно.

Показатель $\Psi_{ц}$, также как и $\Psi_{к}$, может принимать различные значения от нуля до единицы (или от нуля до 100 процентов). В предельных случаях: вблизи нуля - система с большими уровнями "задержанных" деформаций, т.е. процесс накопления деформаций при увеличении числа циклов не ограничен; единица (100%) - "задержанные" деформации определяются только вязкоупругими свойствами неповрежденной части кости, система ОС и области ее закрепления в процессах развития деформаций не участвуют.

Abstract: *The methods for determination of the mechanical characteristics of the fixation systems, used for bone fractures fixation and treatment of the joint injuries were generalized and systematized. The stiffness of the bone-apparatus system was considered as the main criterion of quality as well as mutual dislocations of the bone fragments.*

Keywords: *biomechanics, lower extremity, deformation, stiffness of fixation, osteosynthesis, full-scale simulation*

Литература:

1. Анкин Л.Н. Практическая травматология. Европейские стандарты диагностики и лечения / Л.Н. Анкин, Н.Л. Анкин – М.: Книга, –2002. – 480 с.
2. Шаповалов В. М. Основы внутреннего остеосинтеза / В. М. Шаповалов, В. В. Хоминец, С. В. Михайлов. – М. : ГЭОТАР – Медиа, –2009. – 240 с.
3. Шидловський М.С. Дослідження деформаційних характеристик систем фіксації, що використовуються при лікуванні пошкоджень кісток та суглобів / Шидловський М.С., Лакша А.М., Бур'янов О.А. // Вестник Национального технического университета Украины "Киевский политехнический институт", серия Машиностроение. – К: 2008, – № 54. – С. 51-62.
4. Шидловский Н.С. О методах исследования систем остеосинтеза конечностей человека // Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут", Серія Машинобудування, – К: 2010, – № 58. – С. 195-203.
5. Шидловский Н.С. Параметры жесткости стержневых аппаратов фиксации / Н.С.Шидловский, А.М.Лакша, А.А.Лакша // Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут", Серія Машинобудування, – К: 2010, – № 59. – С. 31-34.