

УДК 621.3.023

ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФИКСАТОРОВ ДИСТАЛЬНОГО ОТДЕЛА БОЛЬШЕБЕРЦОВОЙ КОСТИ

Кукареко В.А.¹, Ситник А.А.², Соломахо В.Л.³, Шапарь В.А.¹

¹ Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

² РНПЦ травматологии и ортопедии, Минск, Республика Беларусь

³ Республиканский институт инновационных технологий, Минск, Республика Беларусь

Совершенствование методов лечения переломов дистального отдела большеберцовой кости является актуальной проблемой современной травматологии. Это связано как с распространенностью подобного вида травм, так и с высокой вероятностью развития осложнений при их лечении. Перспективными направлениями улучшения результатов лечения являются проведение тщательных диагностических исследований, применение современной этапной тактики лечения, методов малоинвазивного остеосинтеза, использование анатомически изогнутых фиксаторов с блокированием винтов [1].

В связи с вышесказанным важной задачей является освоение выпуска отечественных имплантатов, соответствующих необходимым требованиям и имеющих более низкую, по сравнению с зарубежными аналогами, цену. В Объединенном институте машиностроения НАН Беларуси были проведены испытания образцов фиксаторов на сопротивление разрушению в условиях знакопеременного нагружения, характерного для реальных условий функционирования вживленных имплантатов.

Рассматриваемые фиксаторы предназначены для обеспечения репозиции и стабильной внутренней фиксации переломов дистального отдела большеберцовой кости до достижения сращения перелома. Проведенное ранее компьютерное моделирование позволило оптимизировать форму и размеры фиксаторов, выполнить анализ напряженно-деформированного состояния системы «большеберцовая кость – фиксатор» для различных типов переломов [2].

В комплект фиксатора входят медиальная накладная пластина переменной толщины, соответствующая изгибам медиальной поверхности дистального отдела большеберцовой кости (рисунок 1, а) и переднелатеральная пластина, соответствующая изгибам переднелатеральной поверхности большеберцовой кости (рисунок 1, б).

Имплантаты изготовлены из титана марки ВТ1-00 или титанового сплава. Выполненный анализ напряженно-деформированного состояния исследуемой системы «дистальный отдел большеберцовой кости - фиксатор» для случаев фиксации переломов медиальной и переднелатеральной накладными пластинами показал, что при действии на фиксаторы вертикальной силы они изгибаются. Проведенные

расчеты показали, что в случае наиболее тяжелых переломов (тип 41А3) фиксаторы изгибаются в сторону кости (сторону смыкания перелома).



Рисунок 1 – Образцы накладных пластин для фиксации дистального отдела большеберцовой кости: а) – медиальная; б) – переднелатеральная

Наиболее напряженные зоны фиксаторов находятся вблизи места крепления фиксатора к нижней части большеберцовой кости в участках, ослабленных отверстиями для крепежных винтов.

В результате расчетов максимальных деформаций изгиба хвостовиков медиальной и переднелатеральной пластин в горизонтальной плоскости при самых неблагоприятных условиях были установлены верхние предельные значения деформации $\epsilon_a^{кр}$, равные 1,1 мм для медиальной пластины и 2,0 мм – для переднелатеральной. В качестве базовой нагрузки, имитирующей массу пациента, принималась сила, равная 1000 Н.

Натурные усталостные испытания экспериментальных образцов медиальной и переднелатеральной накладных пластин (фиксаторов) проводились в условиях циклической деформации изгиба хвостовика с заданной амплитудой ϵ_a отнулевого цикла деформаций [3]. Хвостовики пластин жестко крепились к стержням, имитирующим большеберцовую кость. При указанных условиях в поверхностных слоях фиксаторов возникают растягивающие напряжения, аналогичные напряжениям, образующимся в теле закрепленного на кости имплантата при действии на него сосредоточенной силы. Заданная циклическая долговечность при испытаниях фиксаторов $N = 1 \cdot 10^6$ (без разрушения).

Перед проведением испытаний на циклическую долговечность образцы фиксаторов подвергались статическому консольному изгибу на универсальной испытательной машине INSTRON Satec 300LX для определения зависимости деформации изгиба хвостовика фиксатора ϵ_a от приложенной силы P . На рисунке 2 приведена схема испытаний на консольный изгиб фиксаторов с жестко зафиксированным

хвостовиком (на примере медиальной накладной пластины).

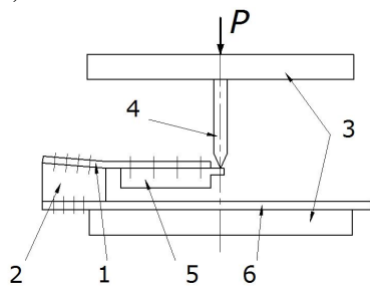


Рисунок 2 – Схема определения зависимости деформации хвостовика пластины от приложенной силы: 1 – медиальная пластина; 2 – адаптер; 3 – захваты; 4 – нож; 5 – стержень; 6 – основание

Испытания трансплантатов на циклическую долговечность проводились на модернизированном стенде для усталостных испытаний фиксаторов УИФ (рисунок 3). Основными функциональными узлами стенда являются привод, нагрузитель пластин-фиксаторов с устройством для крепления хвостовиков и устройство крепления головных частей медиальной и переднелатеральной пластин фиксаторов.

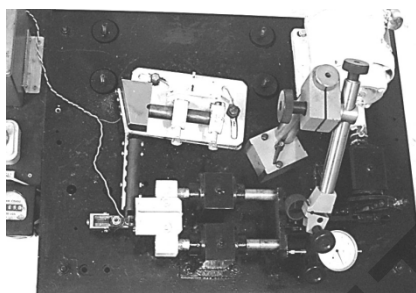


Рисунок 3 – стенд для усталостных испытаний фиксаторов дистального отдела большеберцовой кости с жесткой фиксацией хвостовиков

Кривошипно-шатунный механизм привода преобразует вращательное движение вала электродвигателя в возвратно-поступательное движение штоков нагрузителя, перемещающихся в цилиндрических направляющих. Частота возвратно-поступательных колебаний $f = 25$ Гц. Длина хода штоков (амплитуда e_a) устанавливается регулировкой узла эксцентрика кривошипно-шатунного механизма в пределах $0...15$ мм и контролируется индикатором часового типа с ценой деления $0,01$ мм. Узел крепления головной части пластин-фиксаторов содержит сварную оправку, на которой размещаются сменные адаптеры. Конструкцией стенда предусмотрены автоматическое выключение при разрушении образца, регистрация времени испытаний, проведение испытаний с иными значениями асимметрии цикла, вплоть до симметричного цикла.

На рисунках 4, 5 представлены результаты испытания на усталость усовершенствованных

образцов фиксаторов дистального отдела большеберцовой кости (в конструкцию фиксаторов были внесены изменения по результатам предварительных испытаний экспериментальных образцов).

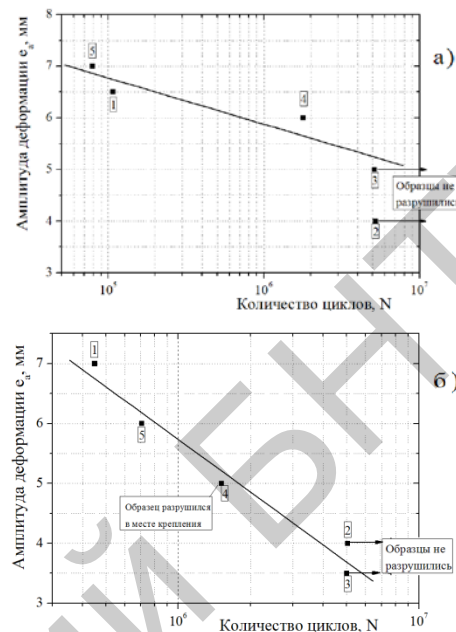


Рисунок 4 – Результаты усталостных испытаний усовершенствованных образцов имплантатов: а) – медиальная пластина; б) – переднелатеральная пластина

В результате испытаний усовершенствованных образцов фиксаторов установлено, что циклическая долговечность $N=1,0 \times 10^6$ переднелатеральных накладных пластин обеспечивается при значении $e_a \approx 5,7$ мм, что существенно превышает критические уровни $e_a^{KP}=2,0$ мм для частично разрушенного сустава и $e_a^{KP}=5,2$ мм для незакрепленного (разрушенного) сустава. Аналогичная циклическая долговечность медиальных пластин имеет место при $e_a \approx 5,8$ мм (для сравнения: $e_a^{KP}=1,1$ мм для частично разрушенного сустава и $e_a^{KP}=2,2$ мм для незакрепленного, т.е. разрушенного, сустава).

Литература

1. Ситник А.А. Диагностика и лечение переломов дистального отдела большеберцовой кости // Медицинские новости. – 2003. – № 67. – С. 31-35.
2. А.А. Ситник, В.А. Кукареко, А.С. Ковеня, Д.А. Чернышев. Разработка и конечно-элементное моделирование фиксатора большеберцовой кости на основе данных компьютерной томографии // Механика: Материалы докладов V Белорусского конгресса по теоретической и прикладной механике. – Минск: ОИМ НАН Беларуси. – 2011. – С. 423-428.
3. ГОСТ 23207-78. Соппротивление усталости. Основные термины, определения и обозначения. – М: Издательство стандартов, 1981.