


Анализ модели регенерации костной ткани при гармонической нагрузке

Выполнила: Найденова Л.С.

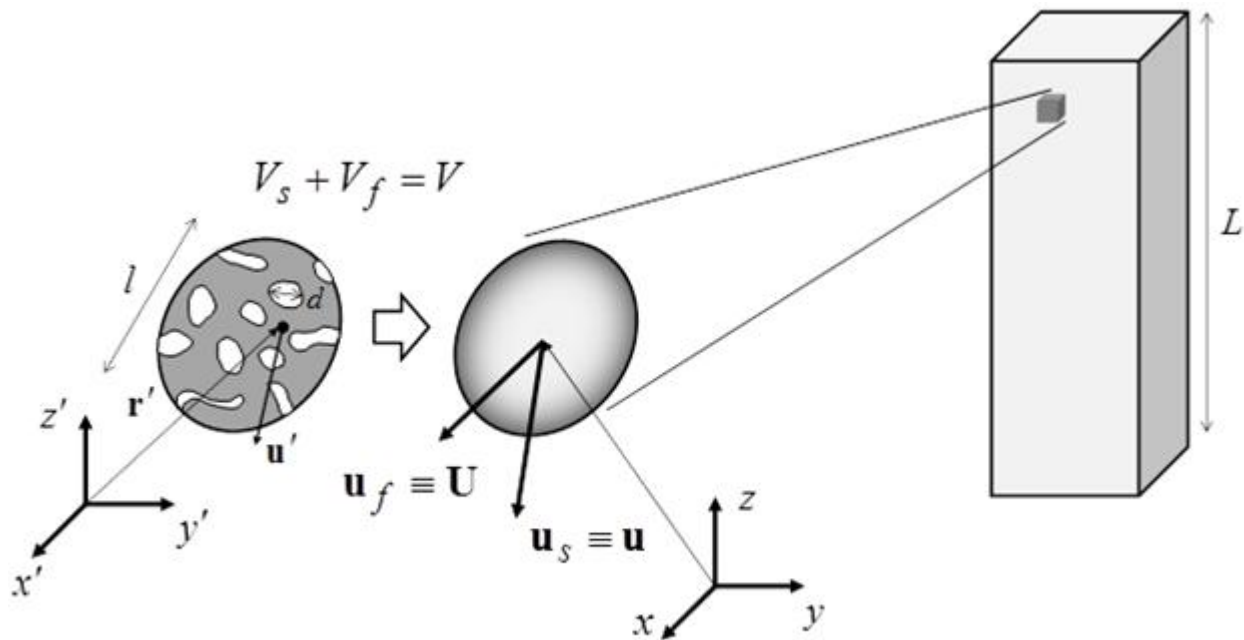
Место прохождения практики : Межвузовская исследовательская лаборатория по биомеханике ИГЭУ им. В.И.Ленина, кафедра ТиПМ.

Цели и задачи работы :

1. Исследование влияния механического воздействия гармонического характера на процесс регенерации кости в зоне перелома методами математического моделирования.
 2. Проведение вычислительных экспериментов с использованием разработанной трёхмерной модели.
 3. Вычисление зависимостей модуля Юнга, плотности и перемещений от времени.
- 

Пороупругая модель костной ткани

Двухфазная сплошная среда



V_s – объём твёрдой фазы,
 V_f – объём жидкой фазы

Алгоритм образования нового фенотипа

Механо-регулирующий индекс

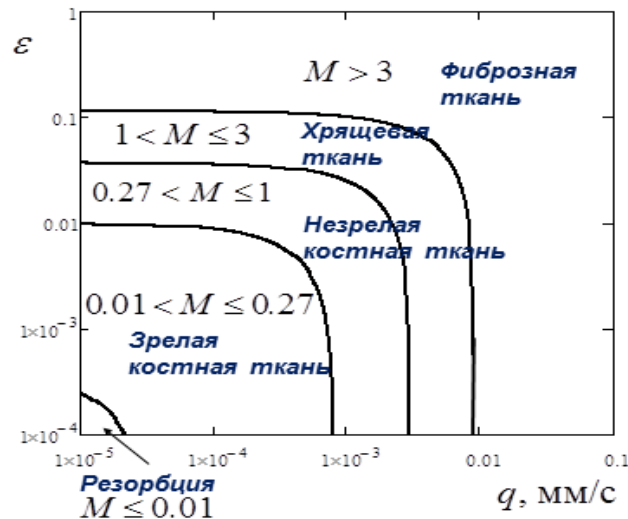
$$M = \frac{\varepsilon}{a} + \frac{q}{b}$$

$$a = 0.0375, \quad b = 3 \text{ мкм/с}$$

Уравнения диффузии клеток

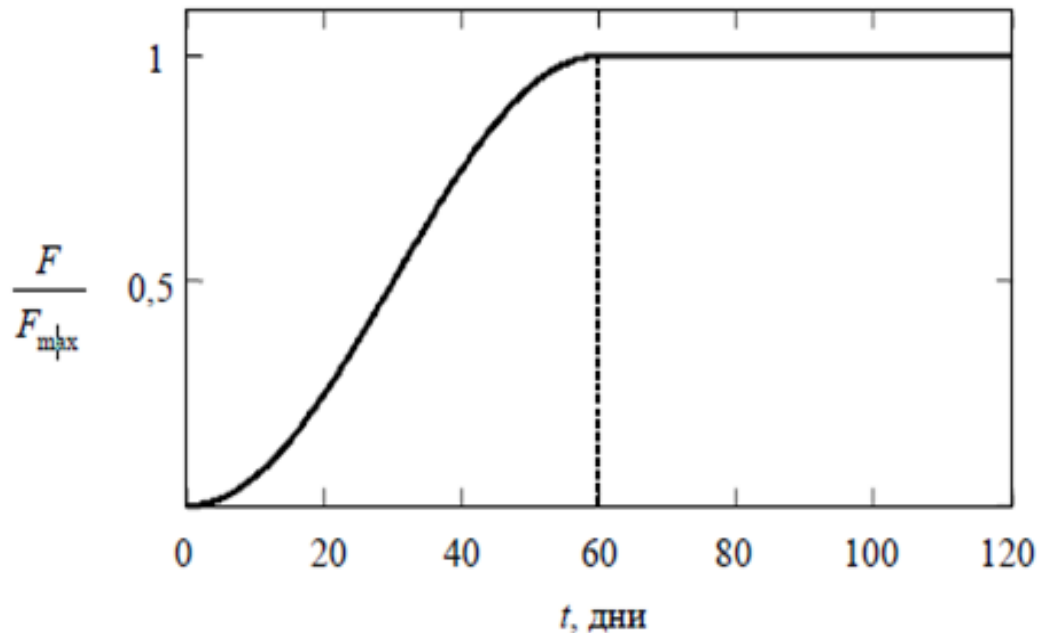
$$\frac{\partial}{\partial x} \left(J \frac{\partial \psi}{\partial x} \right) - \frac{\partial \psi}{\partial t} = 0$$

$$J = 0,06 \frac{\text{мм}}{\text{день}} \text{ коэффициент диффузии клеток}$$



Пороупругие
характеристики
основных
фенотипов
перестраиваемой
ткани

Тип ткани	ϕ	α	ρ , кг/м ³	$E^{(\phi)}$, Па	$G^{(\phi)}$, Па	R , Па	K , м ⁴ /Н·с
Гранулированная	0,99	1,000	1021	$1,36 \cdot 10^5$	$0,57 \cdot 10^5$	$2,29 \cdot 10^9$	$1,0 \cdot 10^{-14}$
Фиброзная	0,80	0,990	1100	$1,15 \cdot 10^6$	$0,47 \cdot 10^6$	$0,21 \cdot 10^9$	$1,0 \cdot 10^{-14}$
Хрящевая	0,80	0,995	1120	$5,82 \cdot 10^6$	$2,35 \cdot 10^6$	$1,07 \cdot 10^9$	$5,0 \cdot 10^{-15}$
Незрелая кость	0,65	0,893	1182	$3,73 \cdot 10^9$	$0,97 \cdot 10^9$	$1,42 \cdot 10^9$	$1,0 \cdot 10^{-13}$
Зрелая кость	0,20	0,435	1416	$1,31 \cdot 10^{10}$	$0,45 \cdot 10^{10}$	$0,39 \cdot 10^9$	$3,7 \cdot 10^{-13}$
Компактное вещество кости	0,10	0,367	1468	$2,11 \cdot 10^{10}$	$0,63 \cdot 10^{10}$	$0,19 \cdot 10^9$	$1,0 \cdot 10^{-17}$



Уравнения гармонической

нагрузки имеют вид:

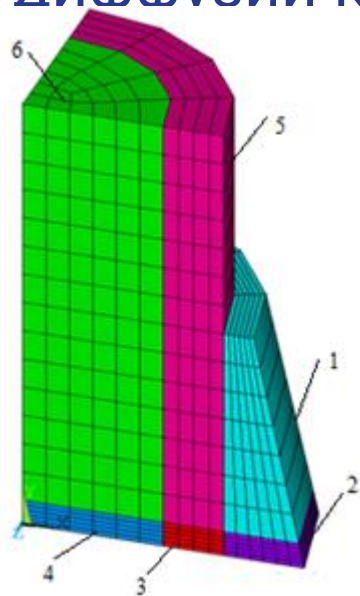
$$F(t, \omega) = F_{sta}(t) + F_{dyn}(t)e^{i\omega t}$$

$$F_{dyn} = kF_{sta}$$

t – время (дни), F_{sta} – статическое нагружение (Н),
 F_{dyn} – динамическая составляющая нагрузки (Н),
 k – коэффициент (%), ω – частота динамической
нагрузки, $F_{\max} = 500$ Н

График зависимости величины статической
нагрузки F от времени t

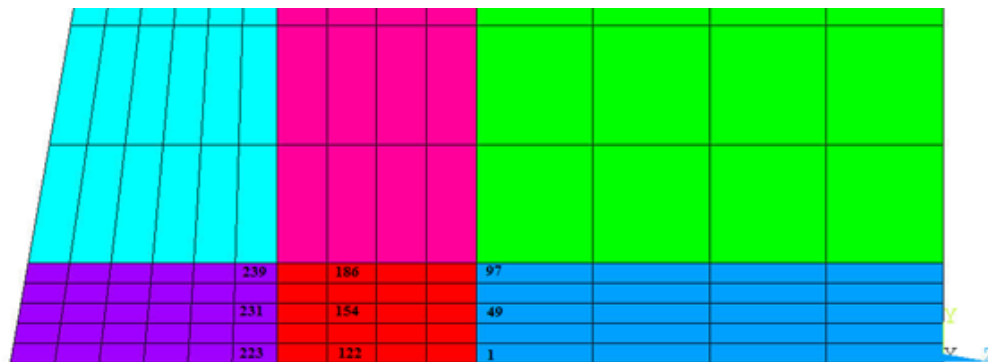
Трёхмерная модель регенерации костной ткани в зоне перелома при аналитической постановке задачи диффузии клеток

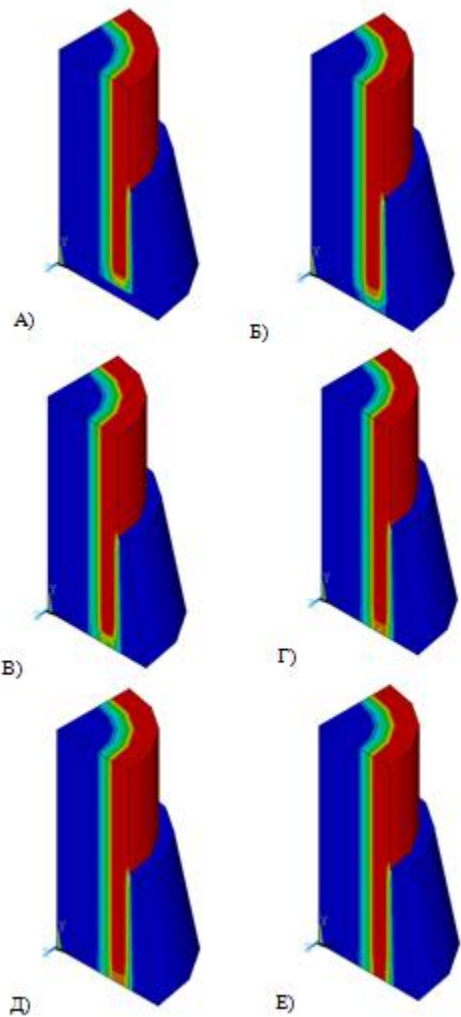
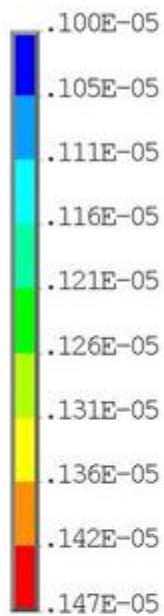


Трёхмерная модель кости. 1,2 – костная мозоль, 3 – область образования зрелой кости, 4 – область образования губчатого вещества кости, 5 – здоровая кость, 6 – губчатое вещество кости.



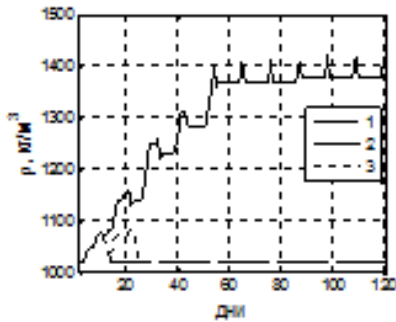
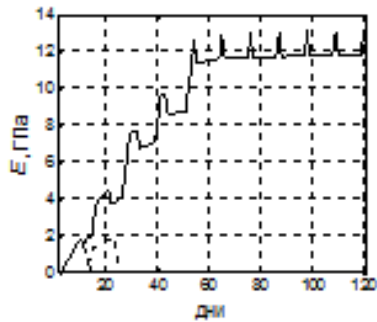
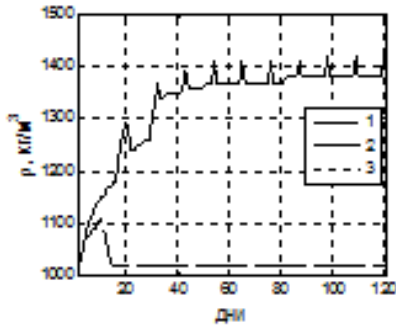
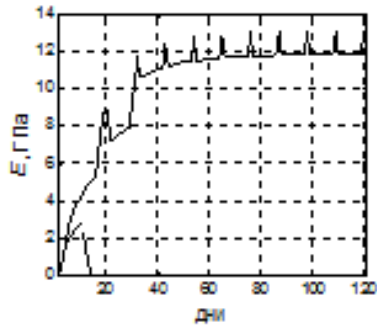
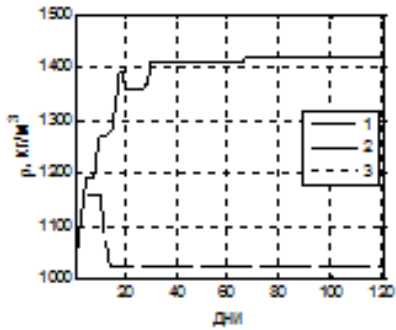
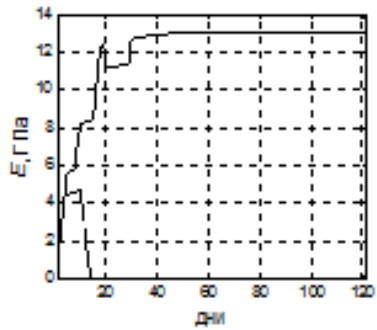
260 927 858



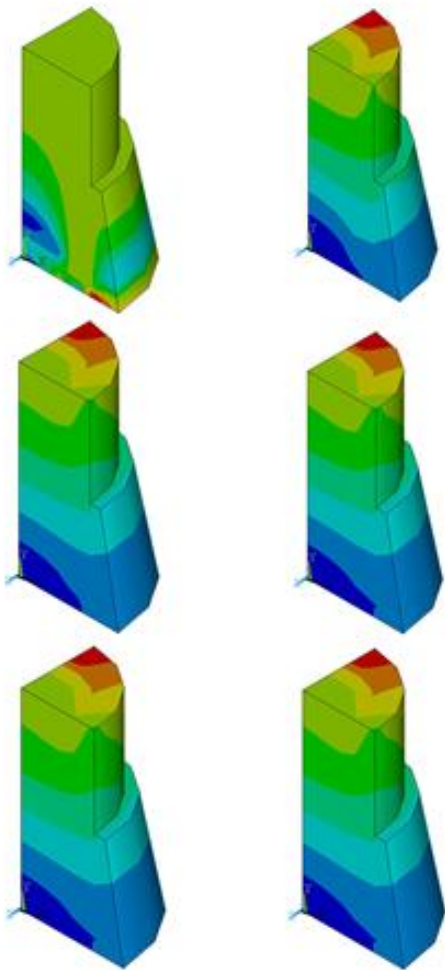
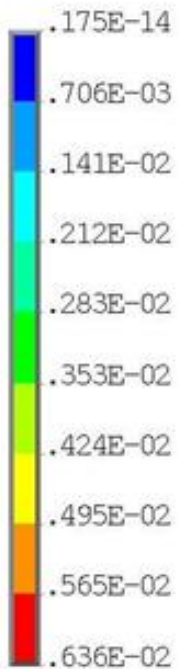


Динамика изменения плотности в области костной мозоли при частоте гармонической нагрузки 10 Гц и $k = 10\%$: А) 1 день эксперимента; Б) 15 день эксперимента; В) 30 день эксперимента; Г) 60 день эксперимента; Д) 90 день эксперимента; Е) 120 день эксперимента.

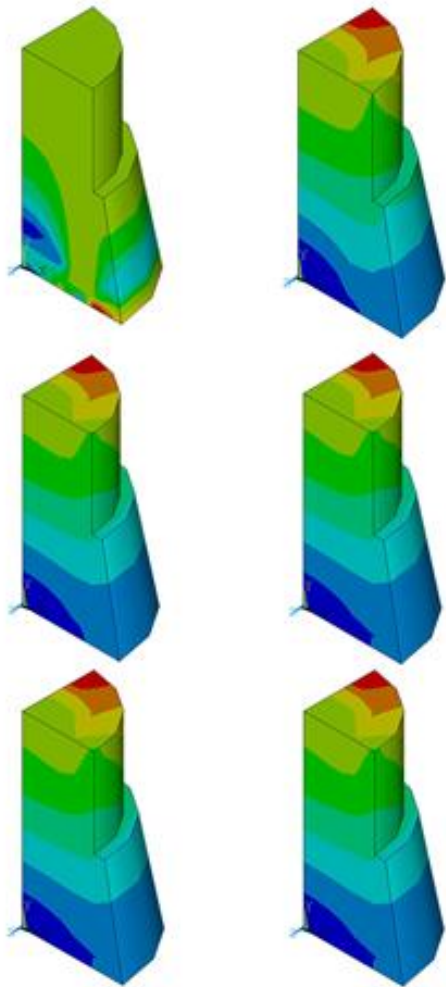




Динамика изменения модуля Юнга и плотности в области костной мозоли при частоте гармонической нагрузки 10 Гц и $k = 10\%$: А) слой 1 элементы 239-186-97 Б) слой 2 элементы 231-154-49 В) слой 3 элементы 223-122-1



Перемещения в статике при частоте гармонической нагрузки 10 Гц и $k = 10\%$: А) 1 день эксперимента; Б) 15 день эксперимента; В) 30 день эксперимента; Г) 60 день эксперимента; Д) 90 день эксперимента; Е) 120 день эксперимента



Перемещения в динамике при частоте гармонической нагрузки 10 Гц и $k = 10\%$: А) 1 день эксперимента; Б) 15 день эксперимента; В) 30 день эксперимента; Г) 60 день эксперимента; Д) 90 день эксперимента; Е) 120 день эксперимента.

Результаты работы

1. В результате работы было исследовано влияния механического воздействия гармонического характера на процесс регенерации кости в зоне перелома методами математического моделирования.
 2. Проведены вычислительные эксперименты с использованием трёхмерной модели.
 3. Вычислены зависимости модуля Юнга, плотности и перемещений от времени.
- 