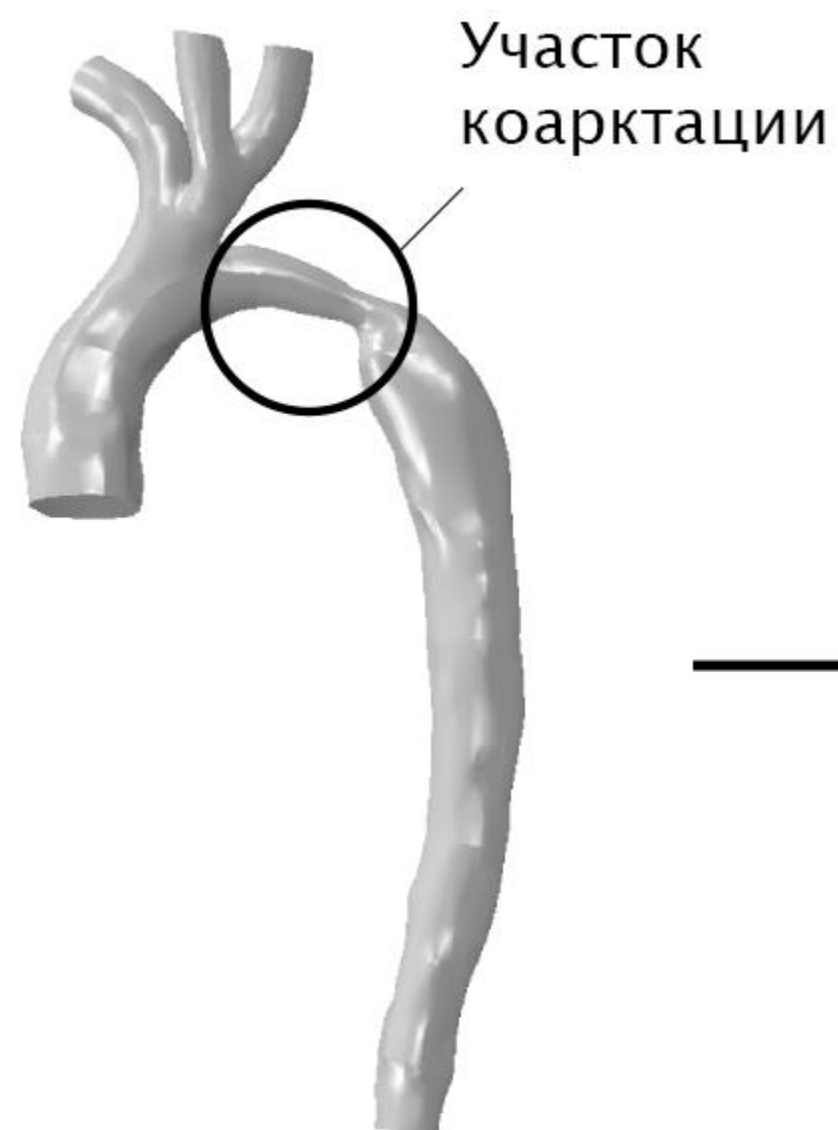


Моделирование процесса баллонной ангиопластики

Выполнил: Тишков Максим, 5030103/90301

Научный руководитель: Грекова Е.Ф.

Коарктация аорты



Локальное сужение
просвета аорты



Повышенное АД, риск
развития сердечной
недостаточности.

Цели работы

1. Корректно описать поведение материала аорты.
2. Провести моделирование процесса ангиопластики без стентирования.
3. Оценить изменение функционального состояния аорты после процедуры с течением времени.

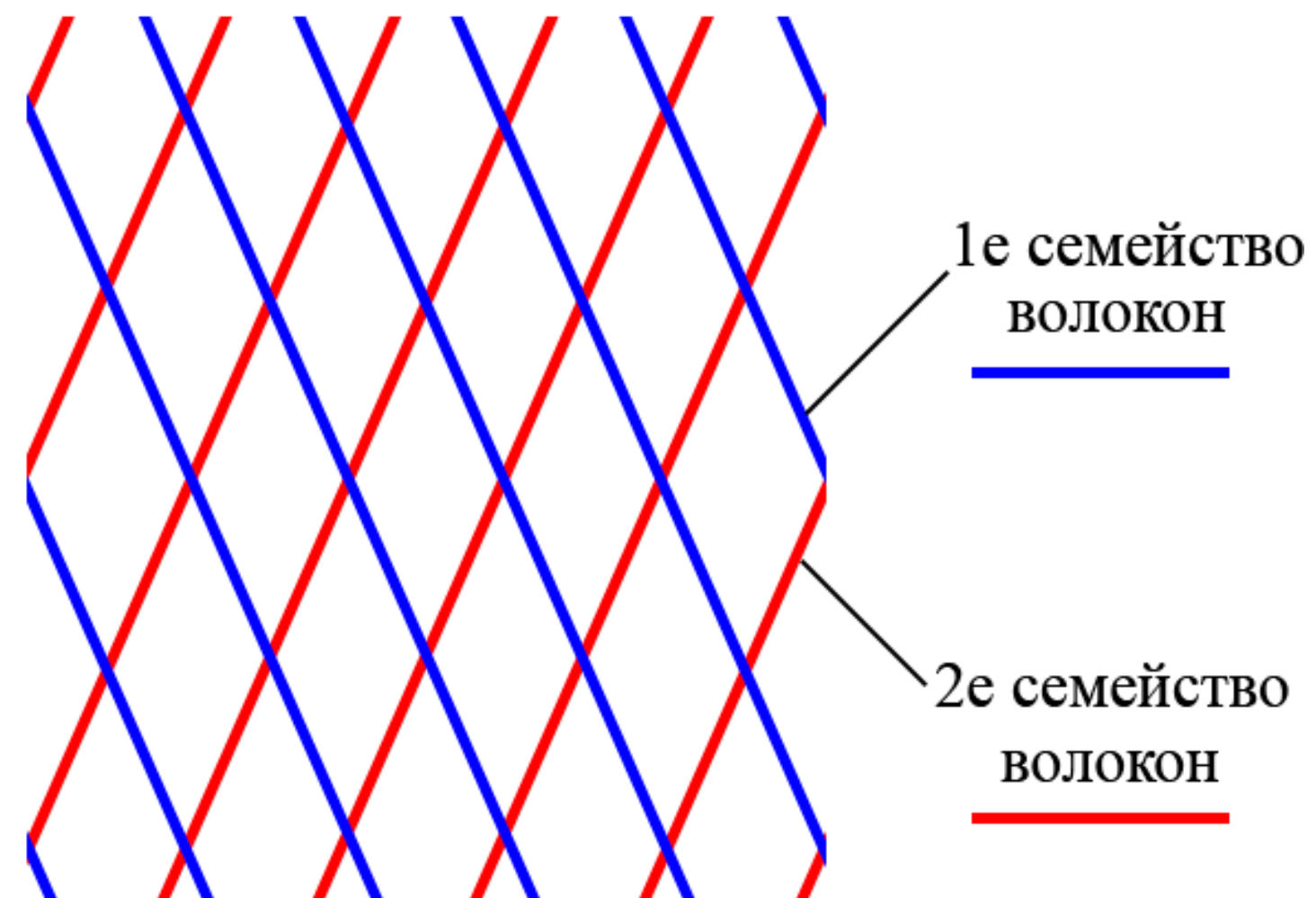


Рис. 1. Схематичное строение материала аорты.

Holzapfel-Gasser-Ogden

$$\Psi(\mathbf{C}, \mathbf{M}^1, \mathbf{M}^2) = \Psi_{\text{iso}}(\mathbf{C}) + \Psi_{\text{aniso}}(\mathbf{C}, \mathbf{M}^1, \mathbf{M}^2)$$

$$\Psi = c_{10}(\bar{I}_1 - 3) + \frac{1}{D} \left(\frac{J^2 - 1}{2} - \ln J \right) + \frac{k_1}{2k_2} \sum_{\alpha=1}^N \{ e^{k_2 \bar{E}_\alpha^2} - 1 \},$$

Где:

\mathbf{F} – градиент деформации

$$J = \det(\mathbf{F})$$

\mathbf{C} – мера деформации

$\bar{\mathbf{C}}$ – тензор формоизменения

$c_{10}, D, k_1, k_2, N, \mathbf{M}^1, \mathbf{M}^2$ – параметры модели

$$\bar{E}_\alpha = \kappa(\bar{I}_1 - 3) + (1 - 3\kappa)(\bar{I}_{4(\alpha\alpha)} - 1)$$

$$\bar{I}_{4(\alpha\beta)} = \mathbf{M}^\alpha \cdot \bar{\mathbf{C}} \cdot \mathbf{M}^\beta.$$

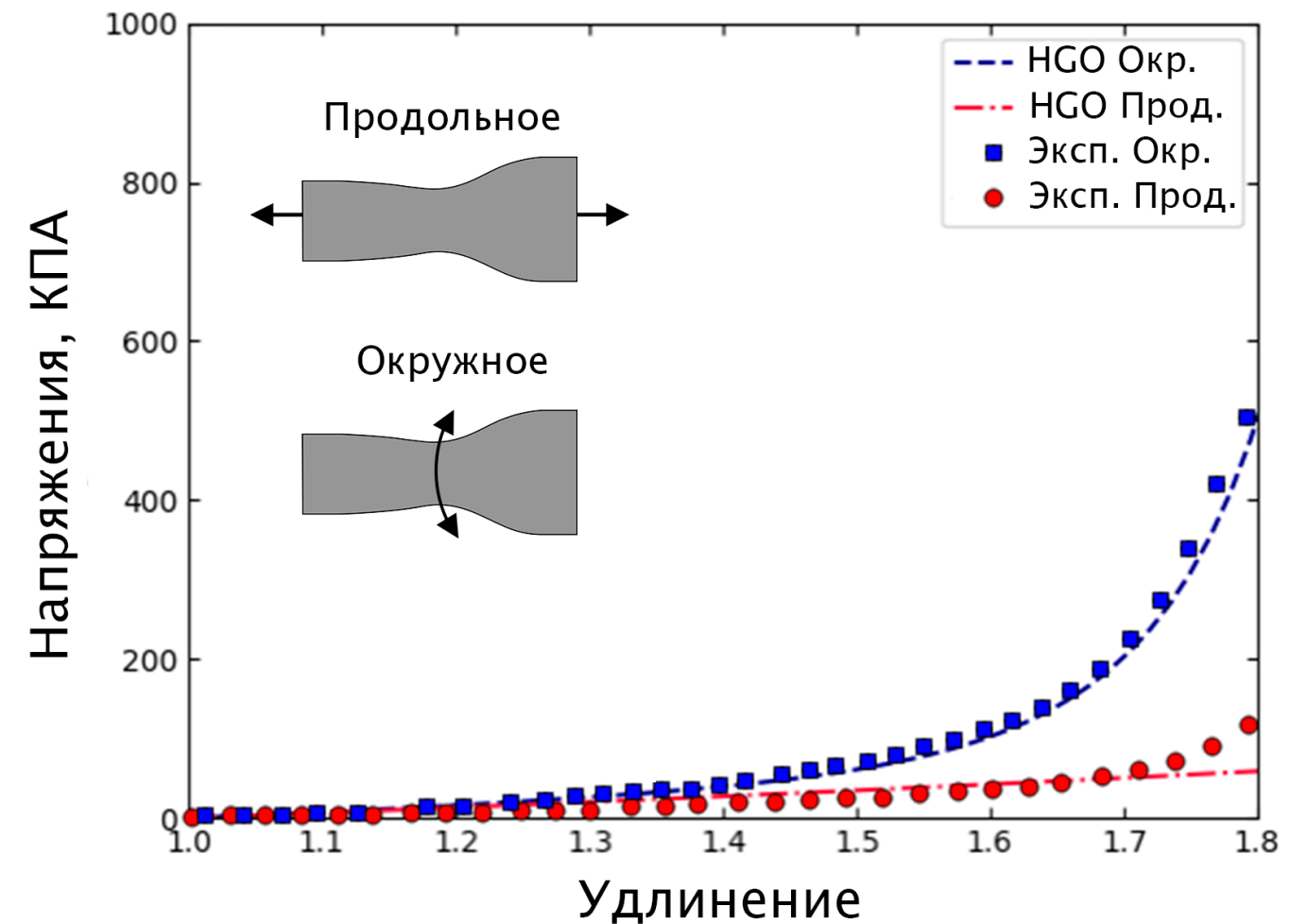
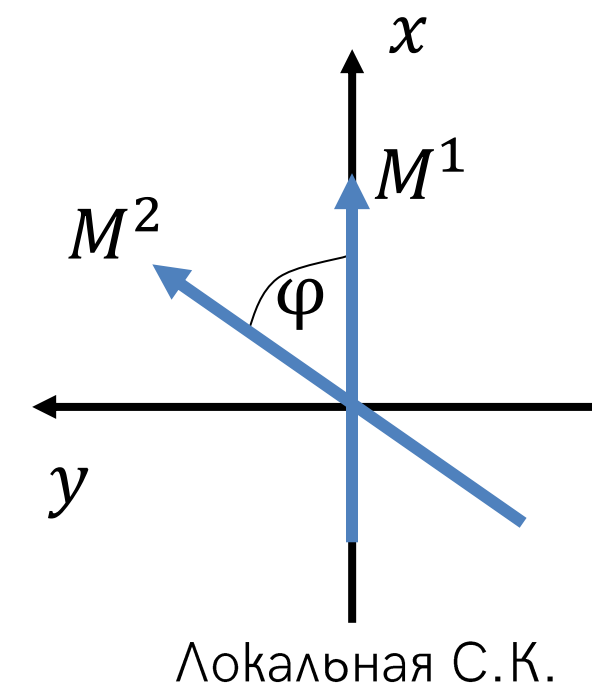
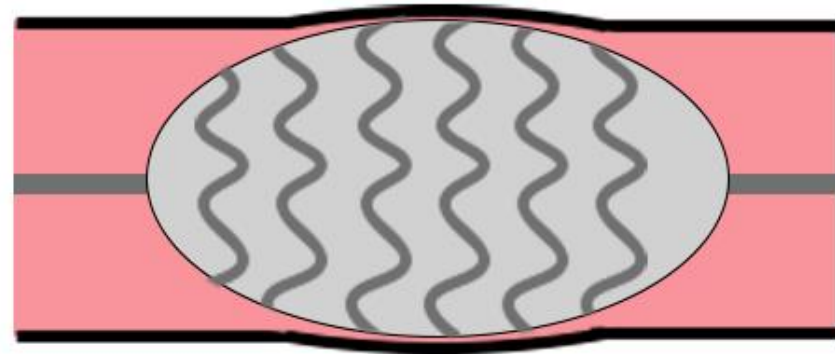


Рис. 2. Сравнение модели HGO экспериментом.

Ангиопластика

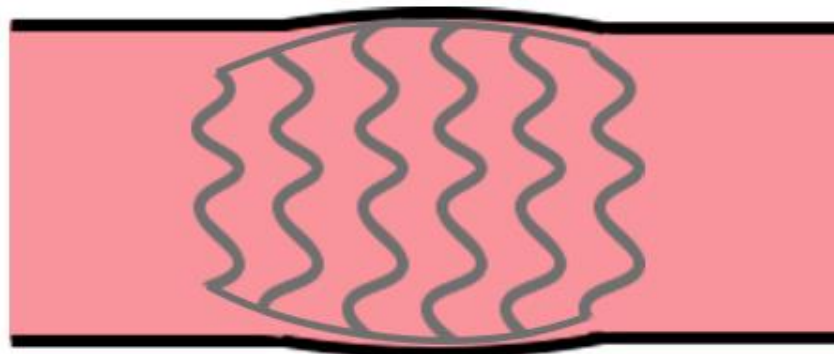
Со стентированием

1 Процесс нагружения:



Модель HGO - ✓

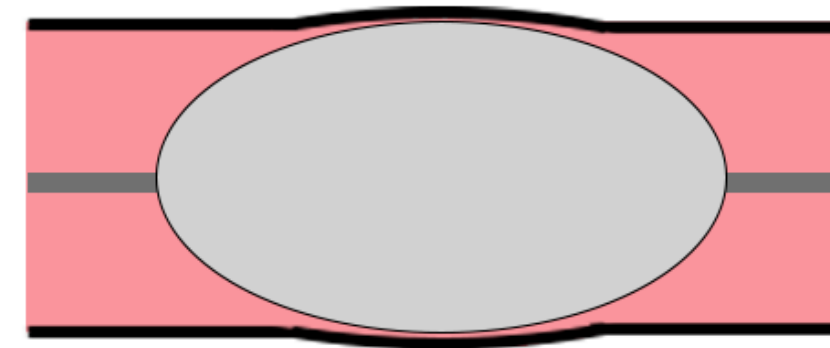
2 Остаточные деформации:



Модель HGO + пластическое поведение стента ✓

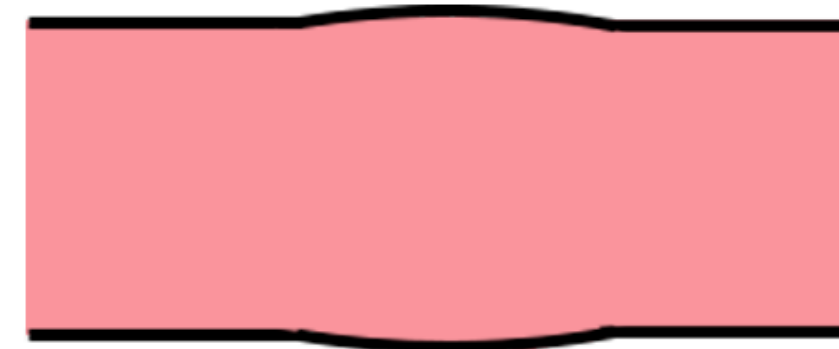
Без стентирования

1 Процесс нагружения:



Модель HGO - ✓

2 Остаточные деформации :



Модель HGO - ✗

Вязкость

$$\boldsymbol{\sigma} = \boldsymbol{\sigma}_{\text{iso}} + \boldsymbol{\sigma}_{\text{aniso}} + \boldsymbol{\sigma}_{\text{visc}}$$

$$\boldsymbol{\sigma}_{\text{visc}} = \eta \frac{\partial}{\partial t} \mathbf{E}$$

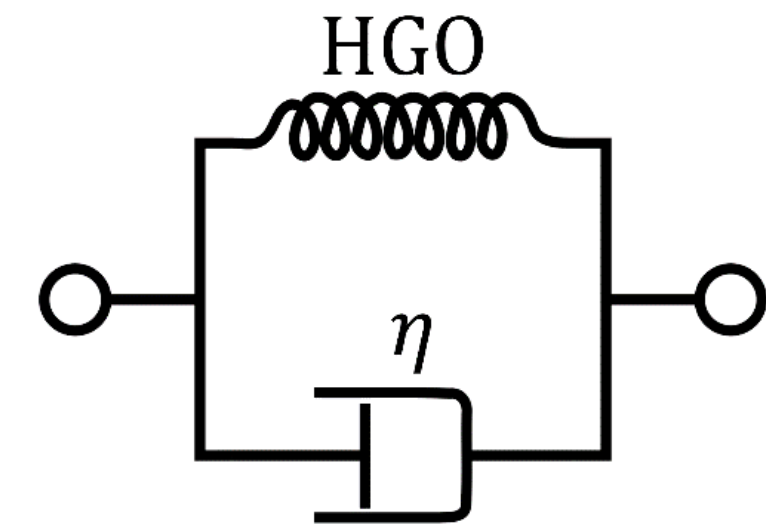
$$\mathbf{E} = \frac{1}{2} (\mathbf{F}^T \mathbf{F} - \mathbf{I}),$$

$$\boldsymbol{\sigma} = \boldsymbol{\sigma}_{\text{iso}} + \boldsymbol{\sigma}_{\text{aniso}} + \eta \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial t} (\mathbf{F}^T \mathbf{F} - \mathbf{I}) = \boldsymbol{\sigma}_{\text{iso}} + \boldsymbol{\sigma}_{\text{aniso}} + \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial t} (\mathbf{F}^T \mathbf{F})$$

Где:

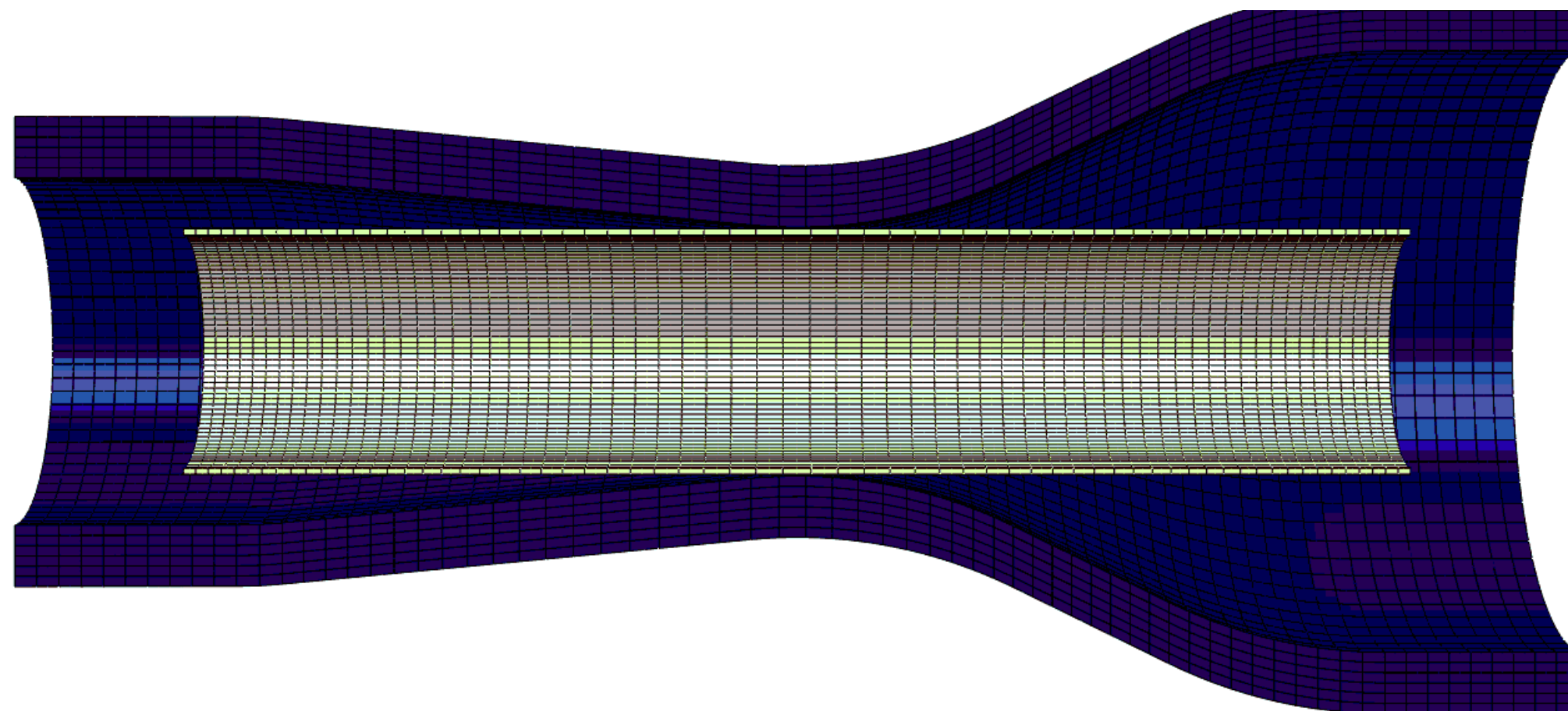
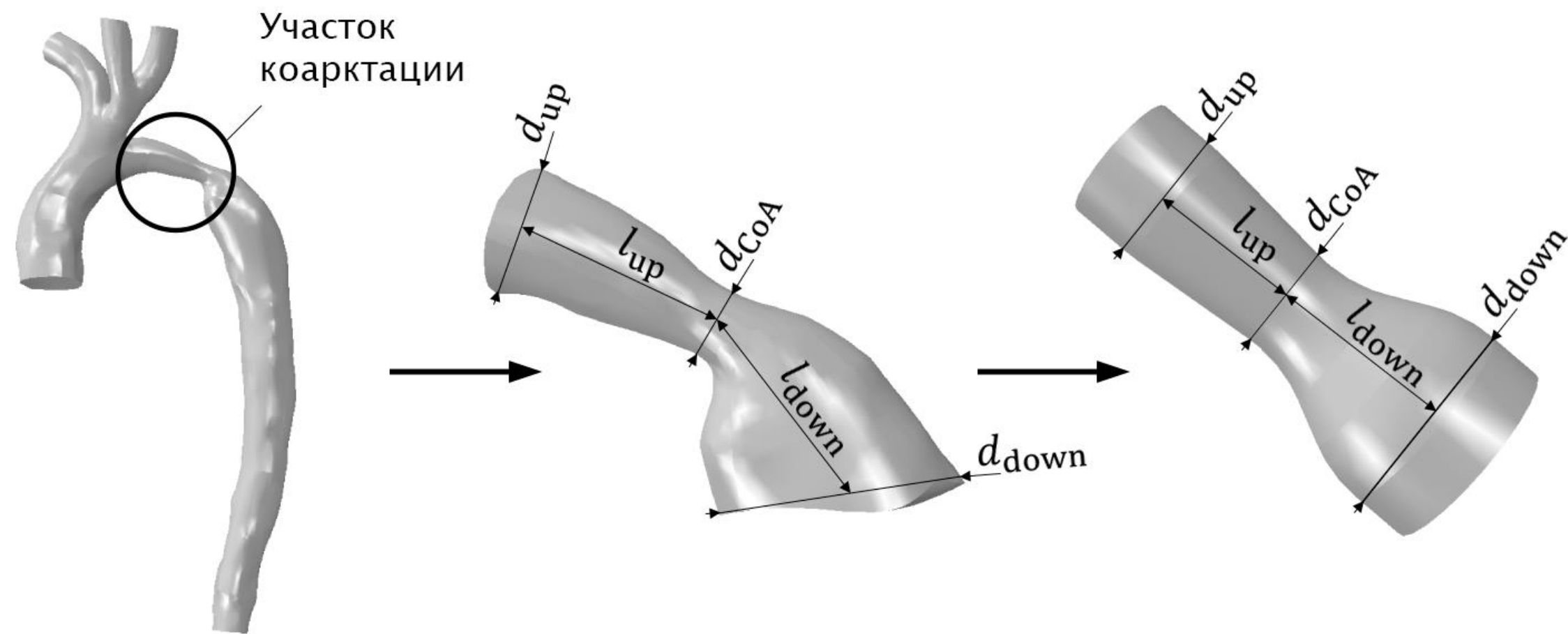
\mathbf{F} – градиент деформации

\mathbf{E} – тензор деформации



Упрощение геометрии

КЭМ



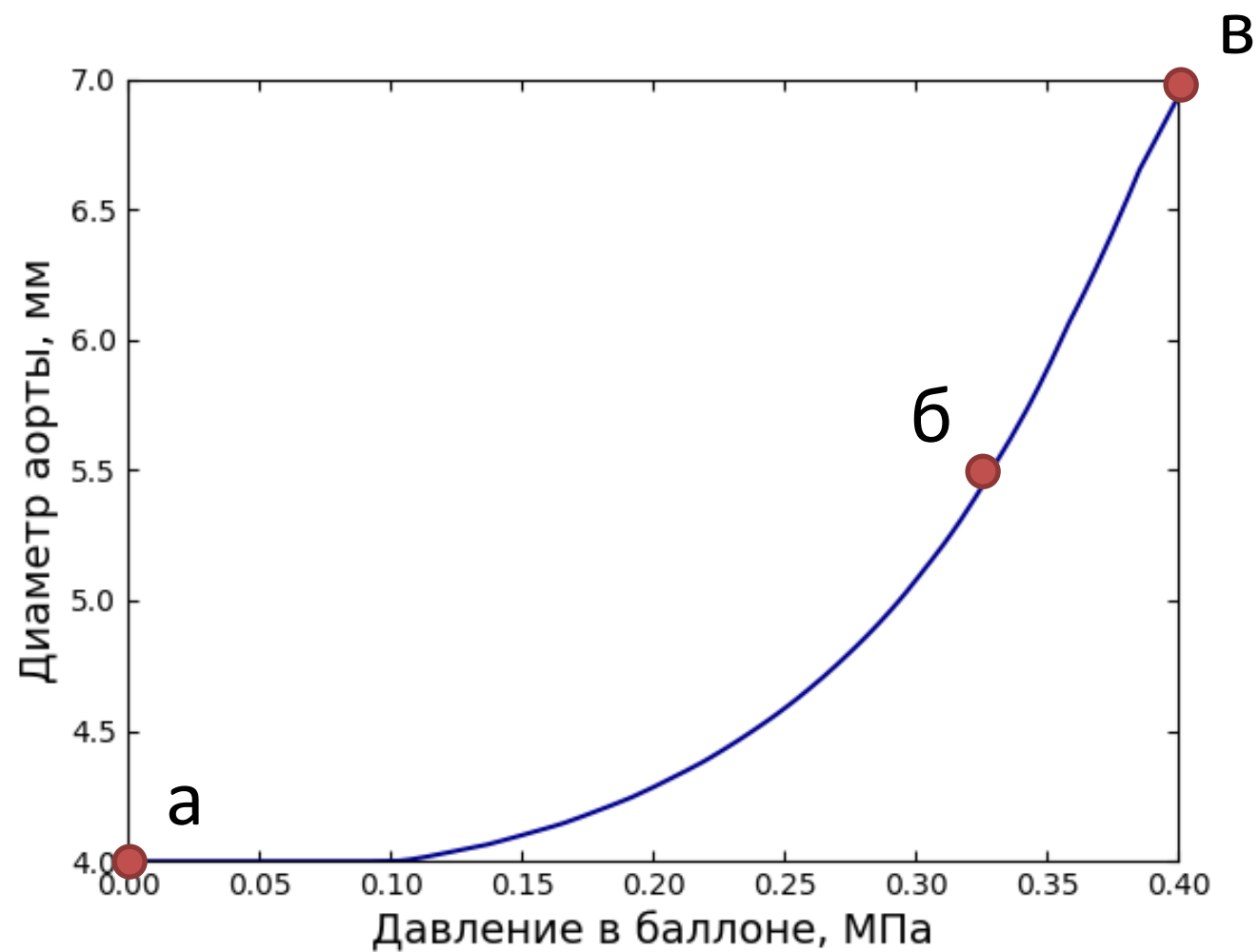


Рис. 3. Зависимость диаметра аорты от давления в баллоне.

Результаты нагружения

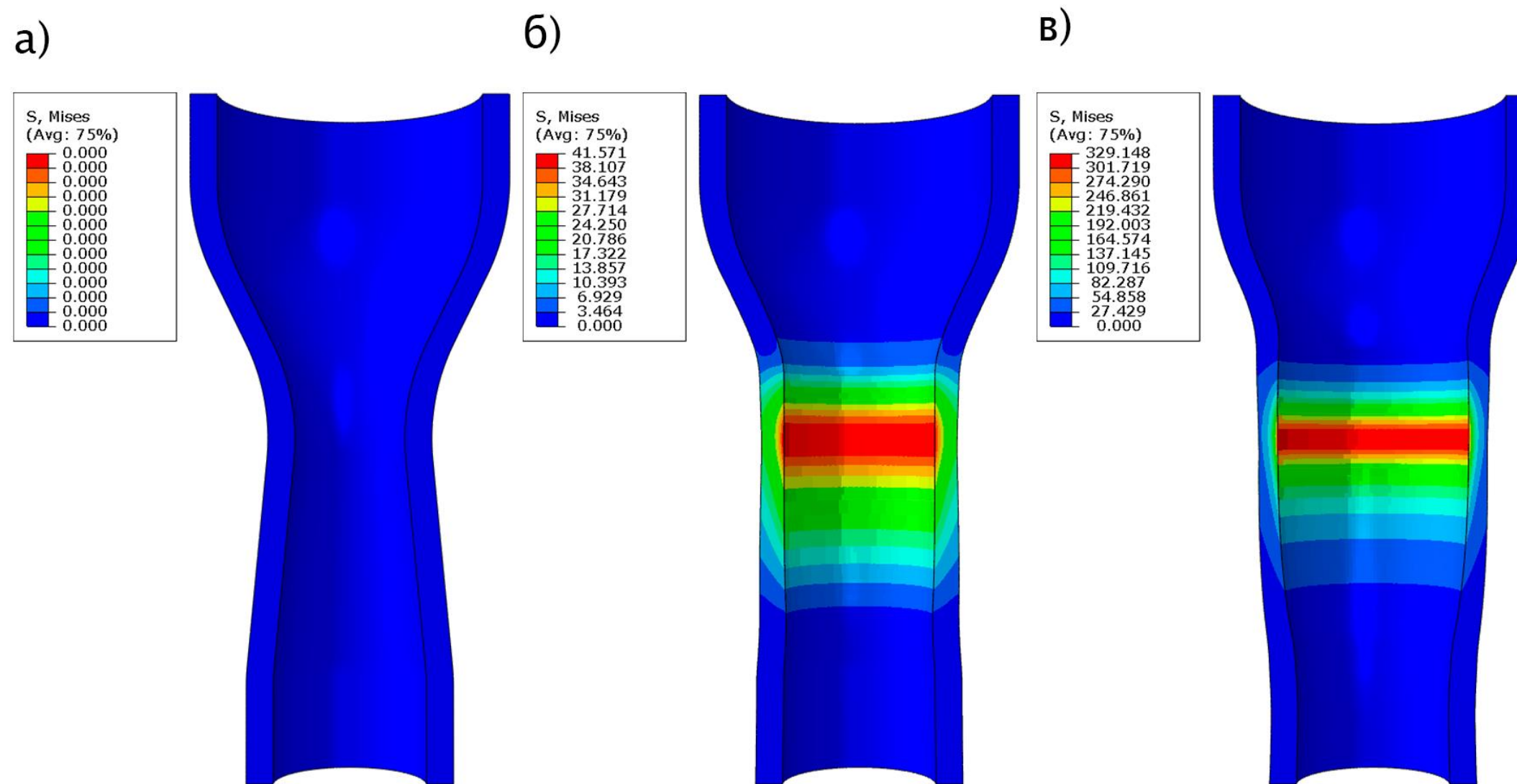


Рис. 4. Поля напряжений (КПа) в течении процесса расширения баллона: начало (а); половина максимального расширения (б); максимальное расширение (в).

Релаксация

Релаксация проводилась с тремя значениями вязкости: 5, 8 и $10 \cdot 10^5$ КПа · с

Вязкость η , КПа с	$t_{90\%}$, год	$t_{50\%}$, год	$t_{10\%}$, год
10^6	0.0332	0.2428	0.8430
$8 \cdot 10^5$	0.0212	0.1748	0.6822
$5 \cdot 10^5$	0.0147	0.1412	0.4056

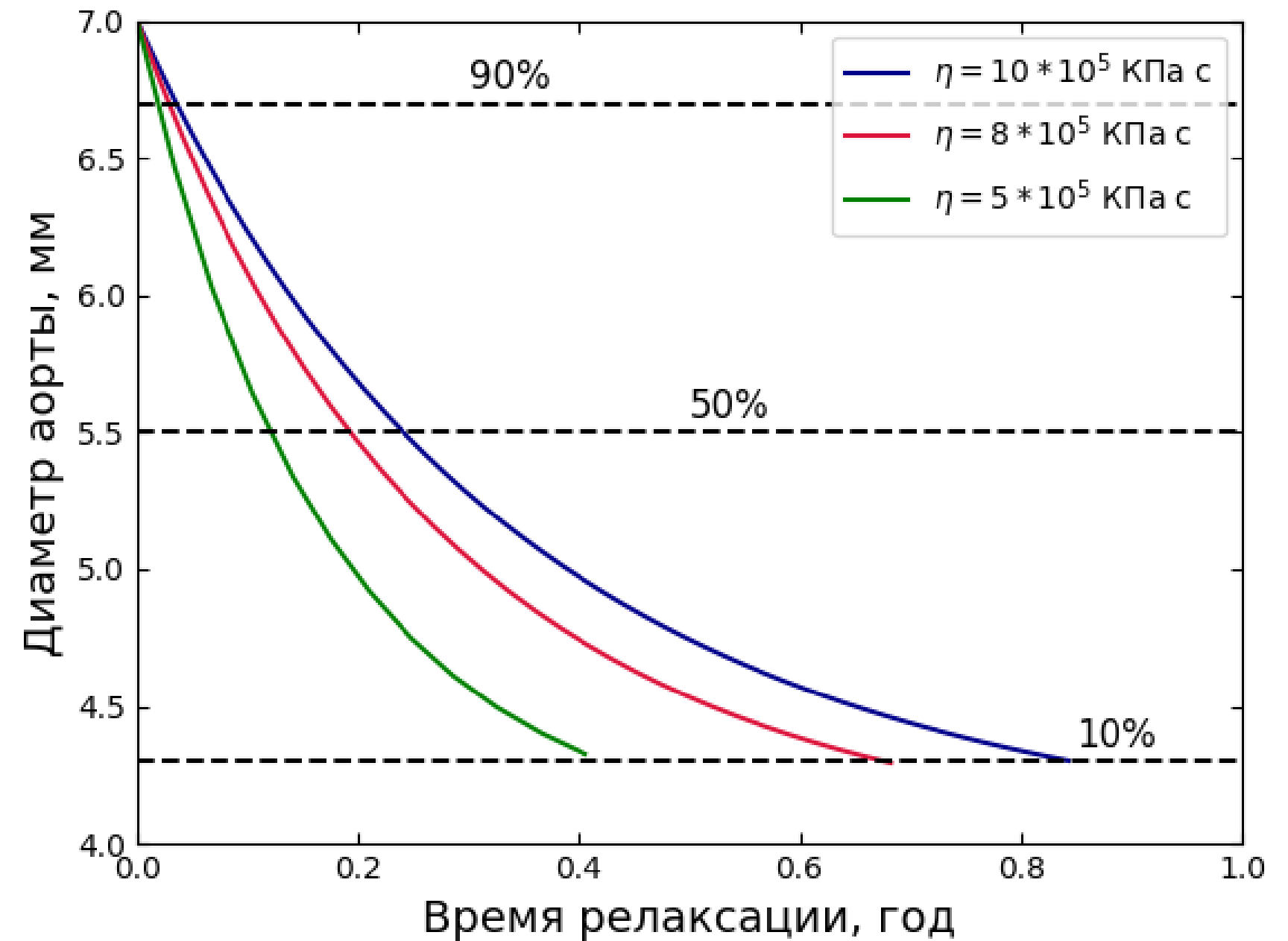


Рис. 5. Динамика изменения диаметра аорты (коарктационного сегмента) с течением времени

Применение модели вязкости

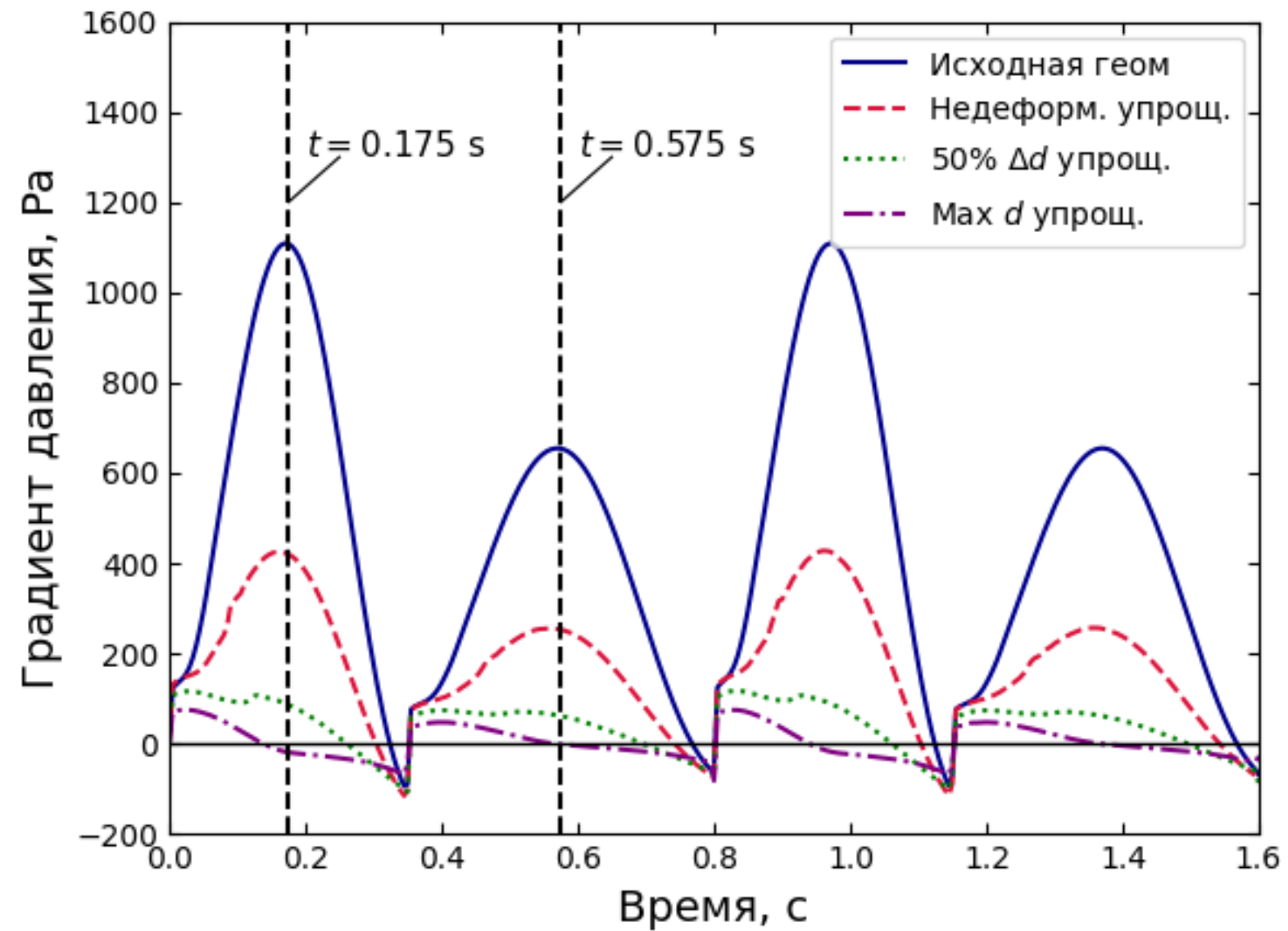


Рис. 6. Градиент давления в течение цикла сокращения сердца

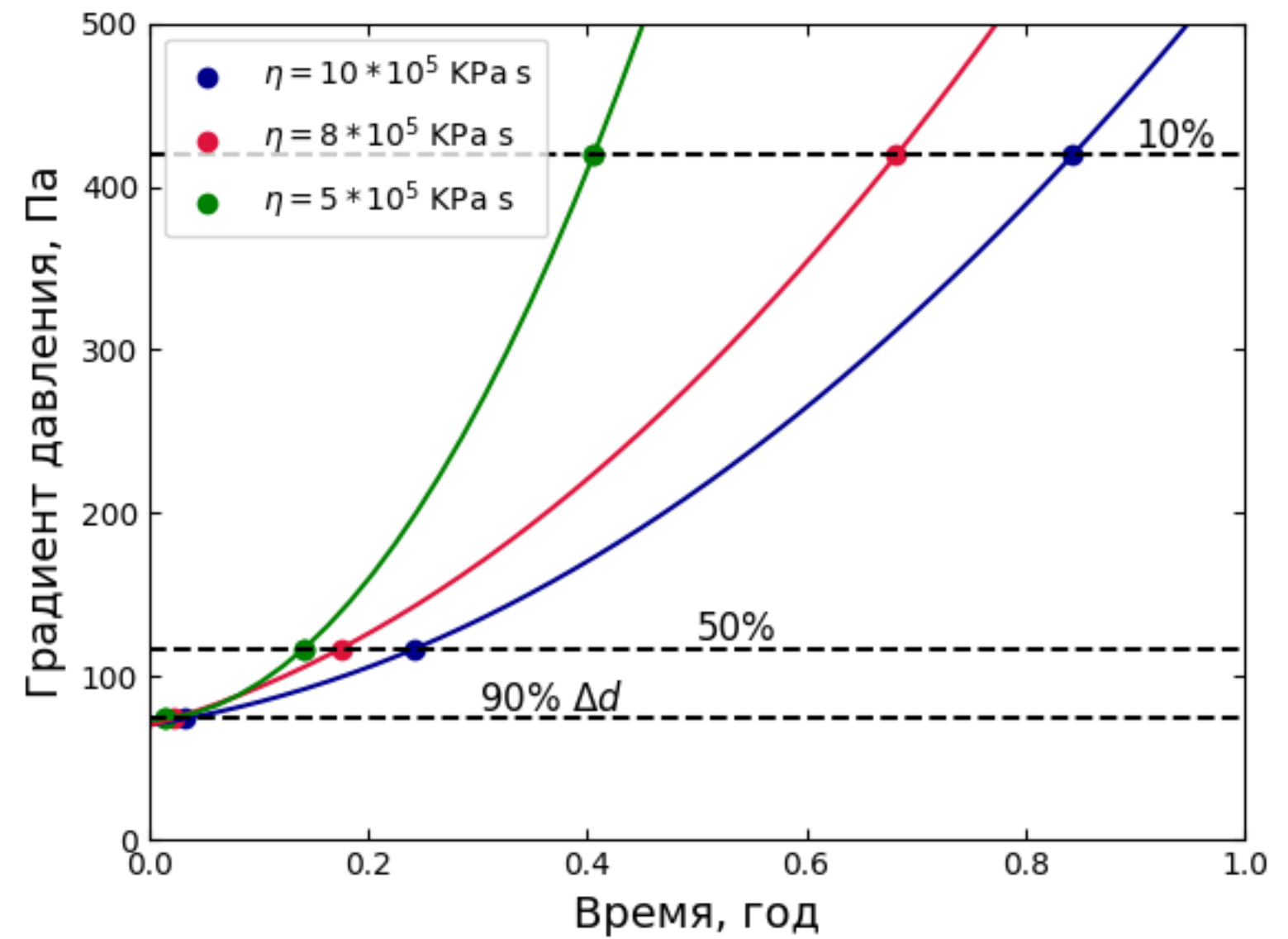


Рис. 7. Динамика изменения градиента давления с течением времени

Результаты

- Реализована реологическая модель HGO с вязкостью в пакете Abaqus
- Проведено моделирование процесса ангиопластики для конкретного клинического случая коарктации аорты
- Показана возможность прогнозирования динамики состояния аорты после процедуры

Спасибо за внимание!

Докладчик: Тишков Максим

Научный руководитель: Грекова Е.Ф.