

Численное моделирование низкоскоростного удара по грудной клетке человека: зависимость поведения сосудов от возраста

Рабочая группа по моделированию кровотока и сосудистых патологий (ИВМ РАН)
грант РФФ 14-31-00024 (новые лаборатории)

Ю.В. Василевский

В.Ю. Саламатова

А.А. Данилов

ИВМ

И.Б. Петров

А.В. Васюков

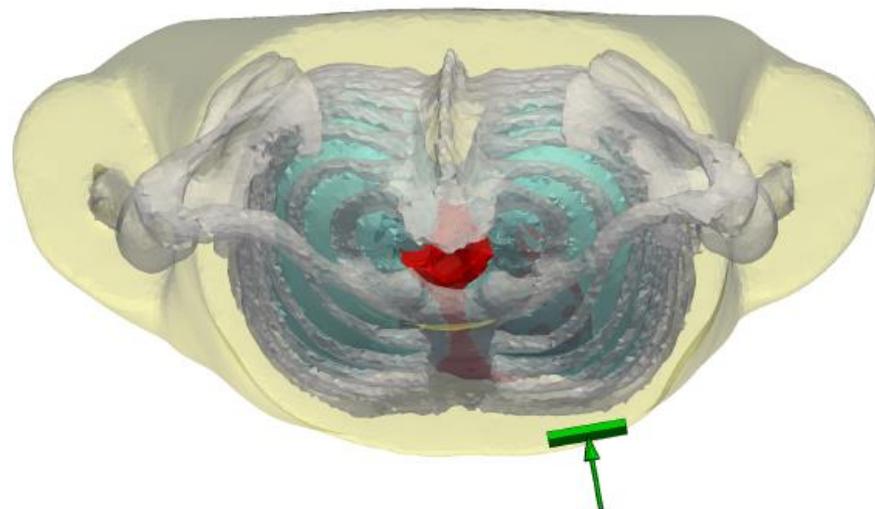
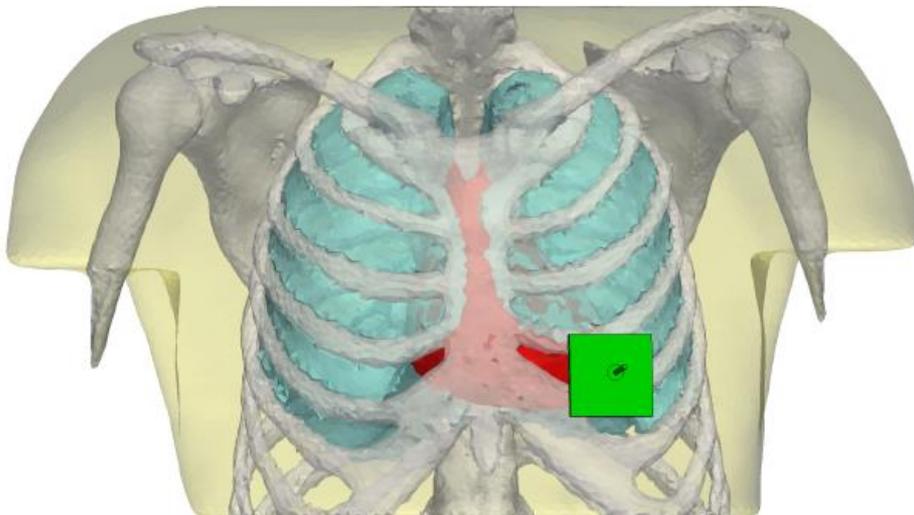
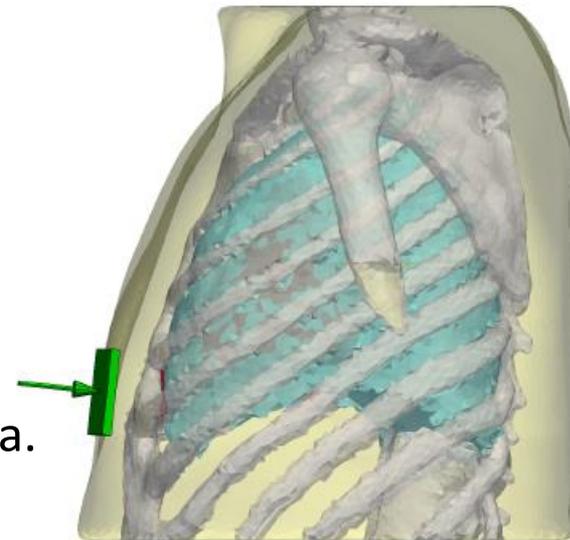
К.А. Беклемышева

А.С. Ермаков

Кафедра информатики МФТИ

Постановка задачи

- Низкоскоростной удар.
- Энергия удара - 8 кДж.
- Все контакты – полное сцепление.
- Все границы – свободная поверхность.
- Сетка ~1 млн узлов.
- Зависимость порога разрушения сосуда от возраста.
- Критерии разрушения: сжатие, растяжение, сдвиг и модуль девиатора.



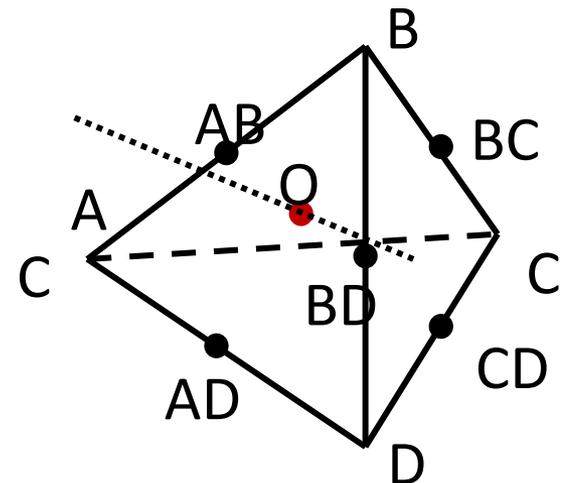
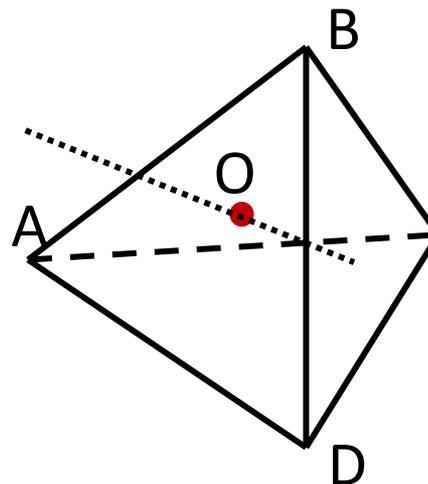
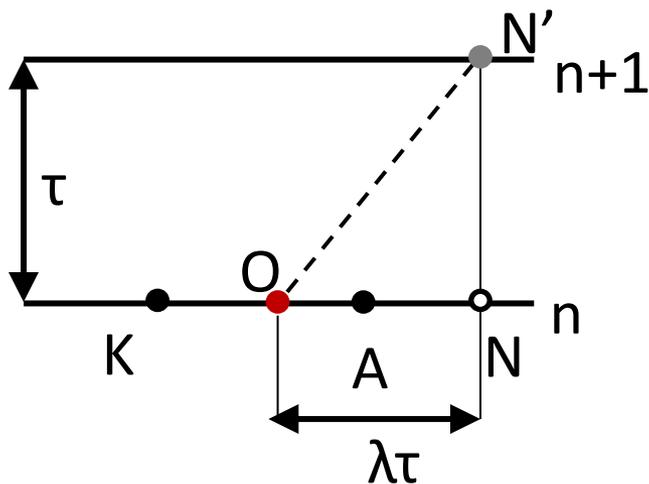
Постановка задачи

Ткань	τ_0 , с	ρ , кг/м ³	λ , МПа	μ , МПа
Жировая ткань	2.5	1000	1.02e+00	7.5e-01
Мышцы	2.5	1000	3.07e+00	2.05e+00
Кости	2.5	1000	7.86e+02	1.18e+03
Легкие	0.5	600	2.86e-02	7.14e-04
Диафрагма	2.5	1000	5.77e+00	3.85e+00
Печень	2.5	1200	2.43e-01	6.07e-02
Трахея	2.5	2000	1.43e+01	3.57e+00
Пищевод	2.5	1200	7.14e+00	1.79e+00
Сердце	2.5	1000	2.39e-01	5.96e-02
Кровь	2.5	1000	2.39e-01	5.00e-04
Артерии (20 лет)	2.5	1000	6.0e+00	1.6e-01
Вены (20 лет)	2.5	1000	1.6e+01	3.5e-01
Артерии (40 лет)	2.5	1000	9.2e+00	1.9e-01
Вены (40 лет)	2.5	1000	3.3e+01	6.7e-01
Артерии (60 лет)	2.5	1000	1.9e+01	3.9e-01
Вены (60 лет)	2.5	1000	5.6e+01	1.1e+00

Прочность, МПа	20 лет	40 лет	60 лет
Продольная	7.0	4.5	2.8
Поперечная	3.0	2.8	2.4

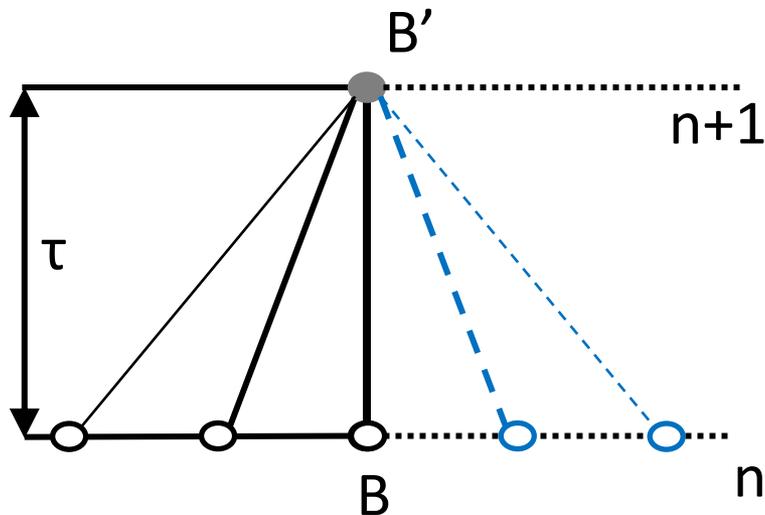
Сеточно-характеристический метод на неструктурированной сетке

- Полная система уравнений МДТТ для вязкоупругого тела
- Расщепление по направлениям
- Переход к инвариантам Римана и характеристикам
- Интерполяция в тетраэдре для переноса значений на новый временной слой
- Получение компонент вектора скорости и тензора напряжений и инвариантов Римана



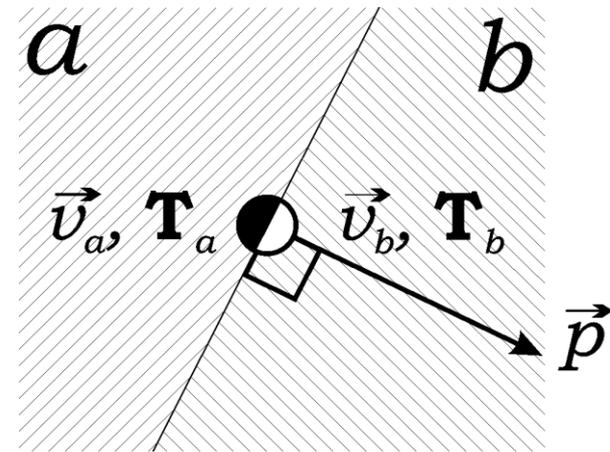
Граничные и контактные условия

Внешние поверхности



- Заданная внешняя сила
 $\mathbf{T}\vec{p} = \vec{f}$
- Заданная скорость границы
 $\vec{v} = \vec{V}$
- Смешанные условия

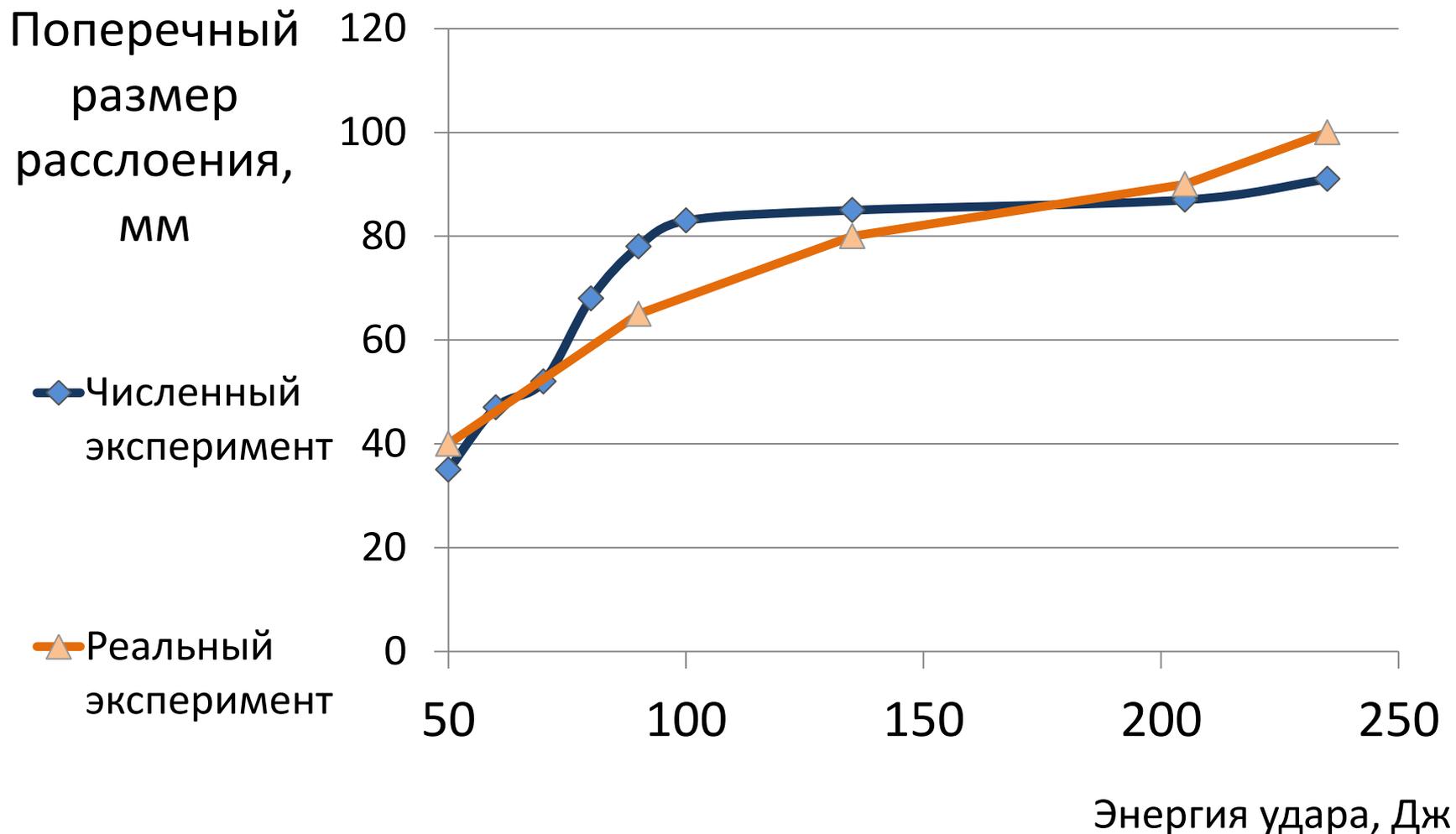
Поверхности раздела сред



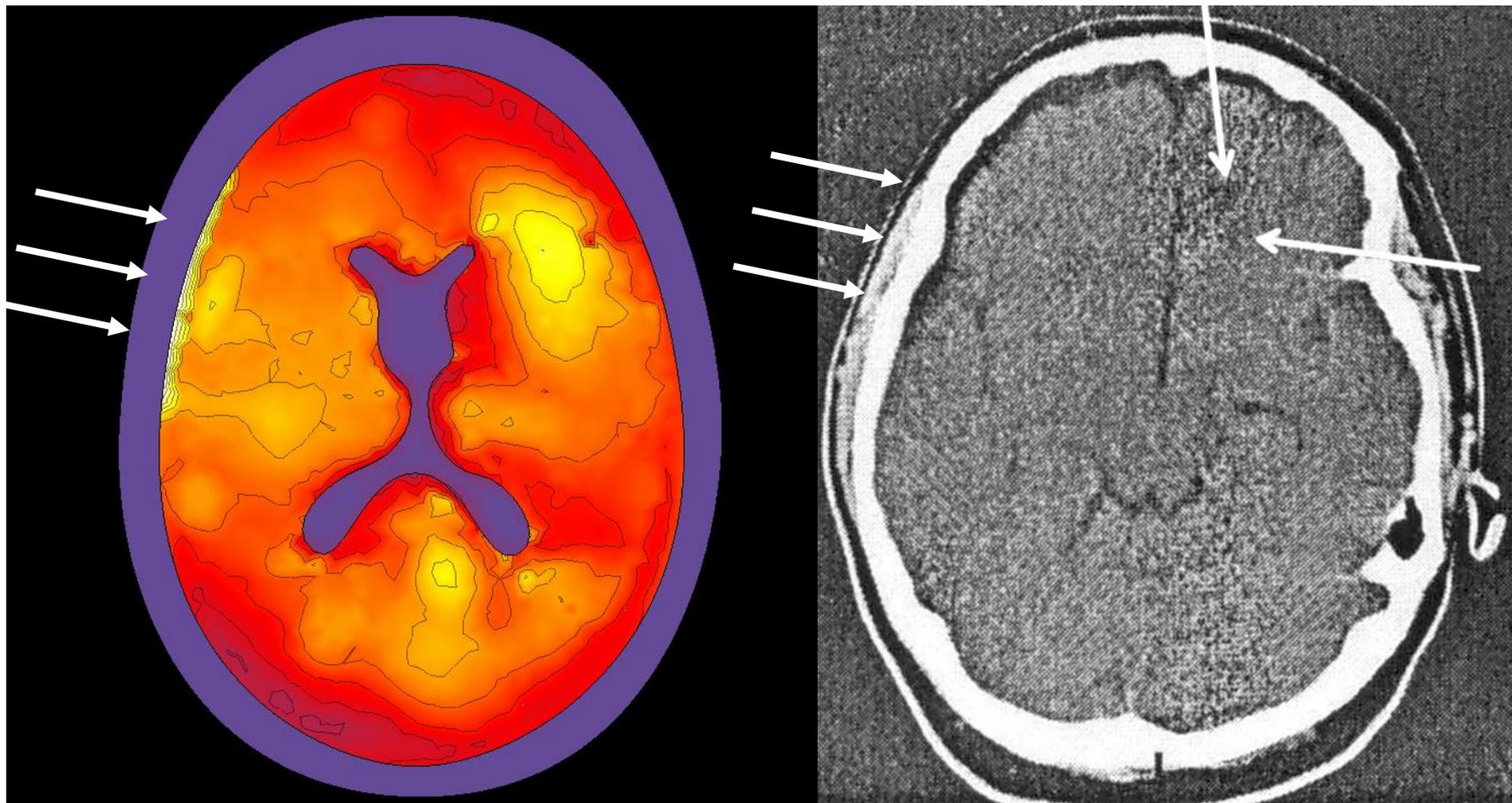
A – реальный узел
B – виртуальный узел

- Полное сцепление
 $\vec{v}_a = \vec{v}_b = \vec{V}, \quad \vec{f}_a = -\vec{f}_b$
- Свободное скольжение
- Скольжение с трением
- Разрушаемый контакт

Композитная панель обшивки самолета: сравнение с экспериментом.



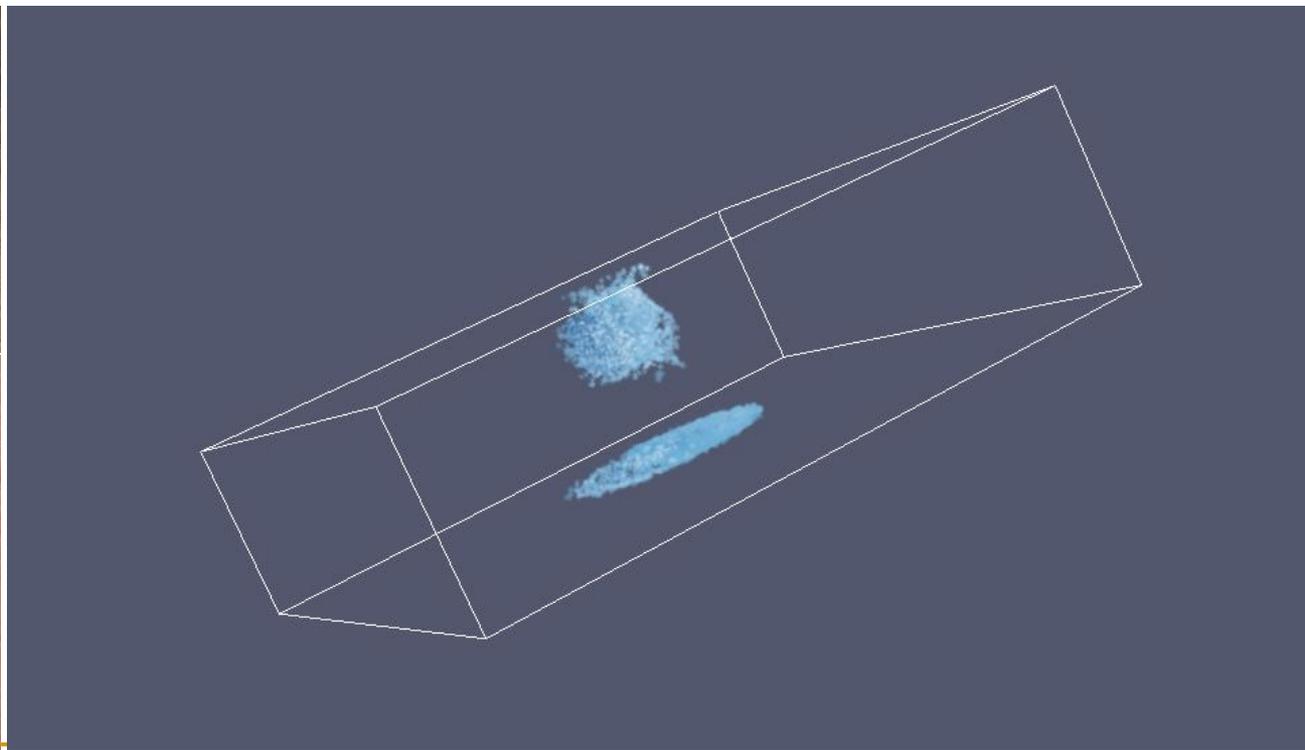
Черепно-мозговая травма: сравнение с клиническими данными.



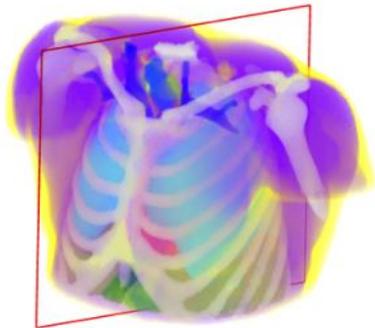
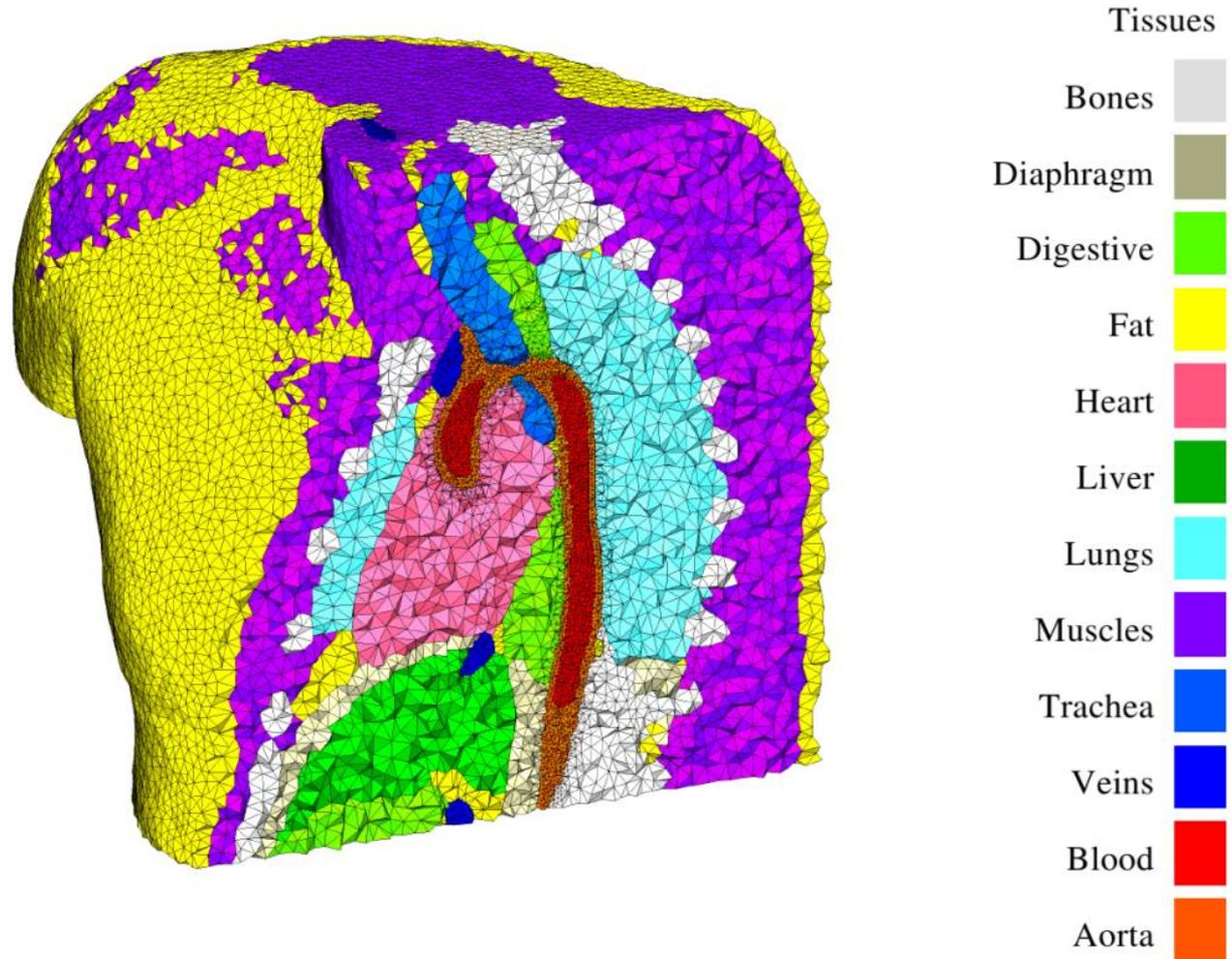
Главный военный клинический госпиталь им. Бурденко

Хрупкое разрушение стекла под действием лазерного излучения.

New method of the polymeric material properties experimental investigation under powerful energy flux impact / B.A. Demidov, V.P. Efremov, Yu.G. Kalinin et al. // Proceedings of XXX International Conference on Interaction of Intense Energy Fluxes with Matter. – Journal of Physics: Conference Series (JPCS), 2015.



Грудная клетка человека

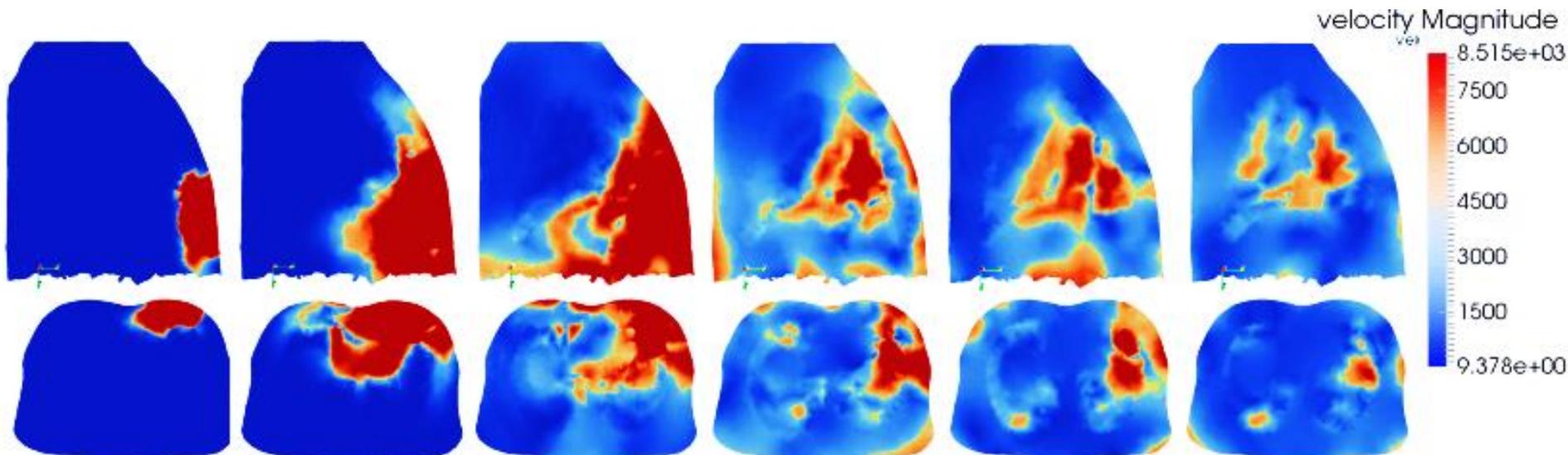


Danilov A.A. Salamatova V.Yu. Vassilevski Yu.V. Mesh generation and computational modeling techniques for bioimpedance measurements: an example using the vhp data. *J. Phys.: Conf. Series*, 407(1):012004, 2012.

Результаты расчетов:

зависимость модуля скорости от времени.

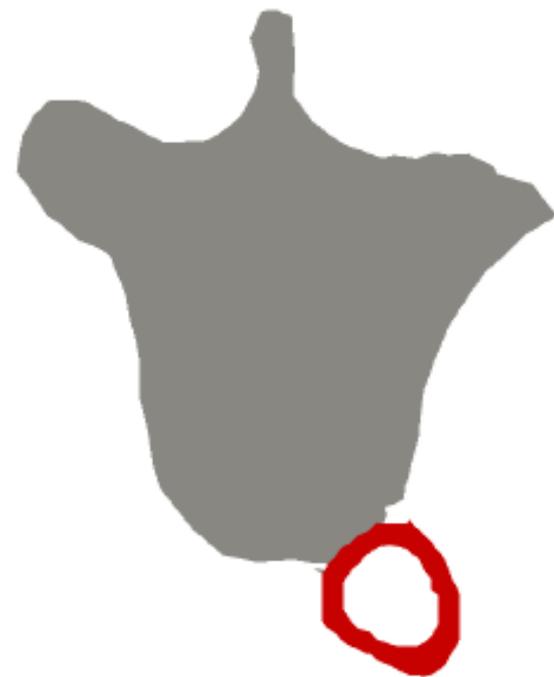
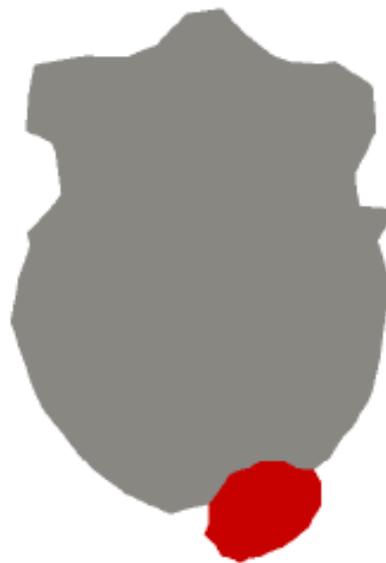
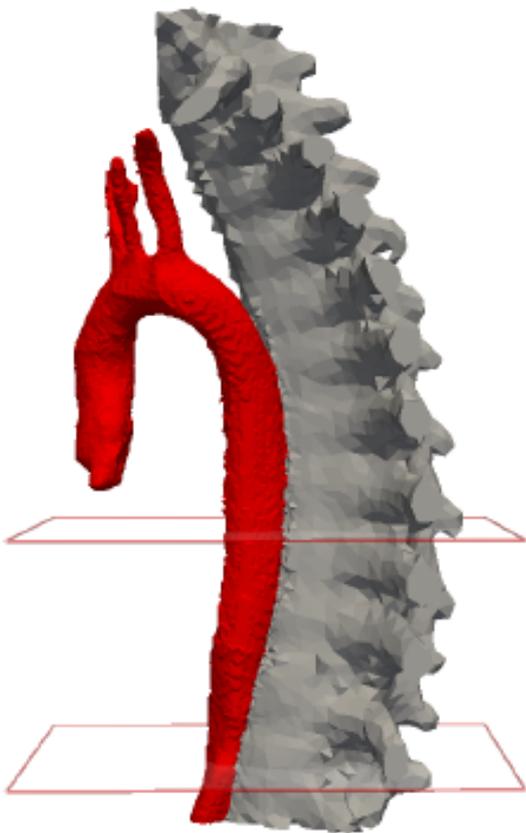
Сечения в поперечной и сагиттальной плоскостях



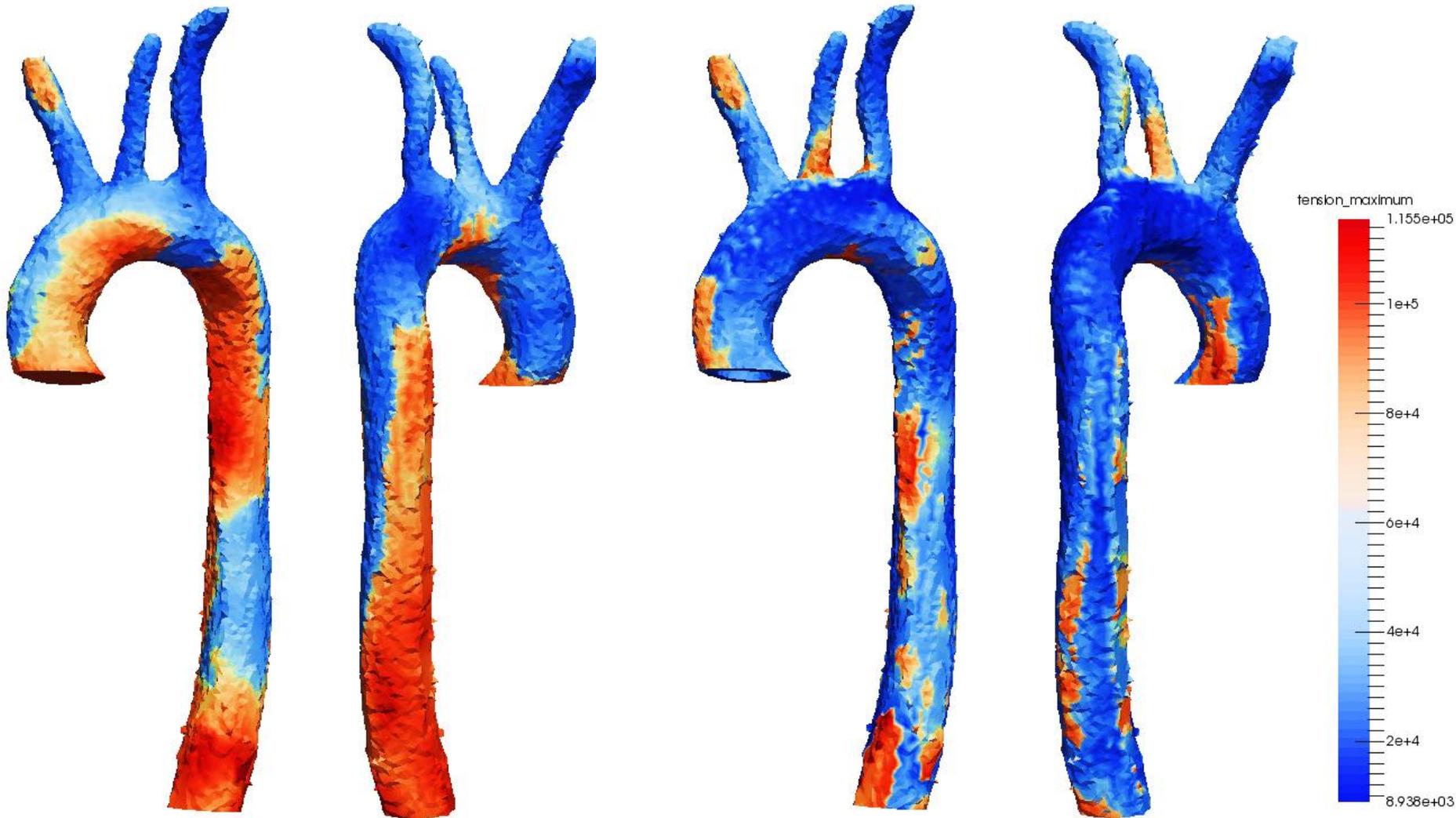
Результаты расчетов: сплошная и полая модели аорты.



Результаты расчетов: сплошная и полая модели аорты.

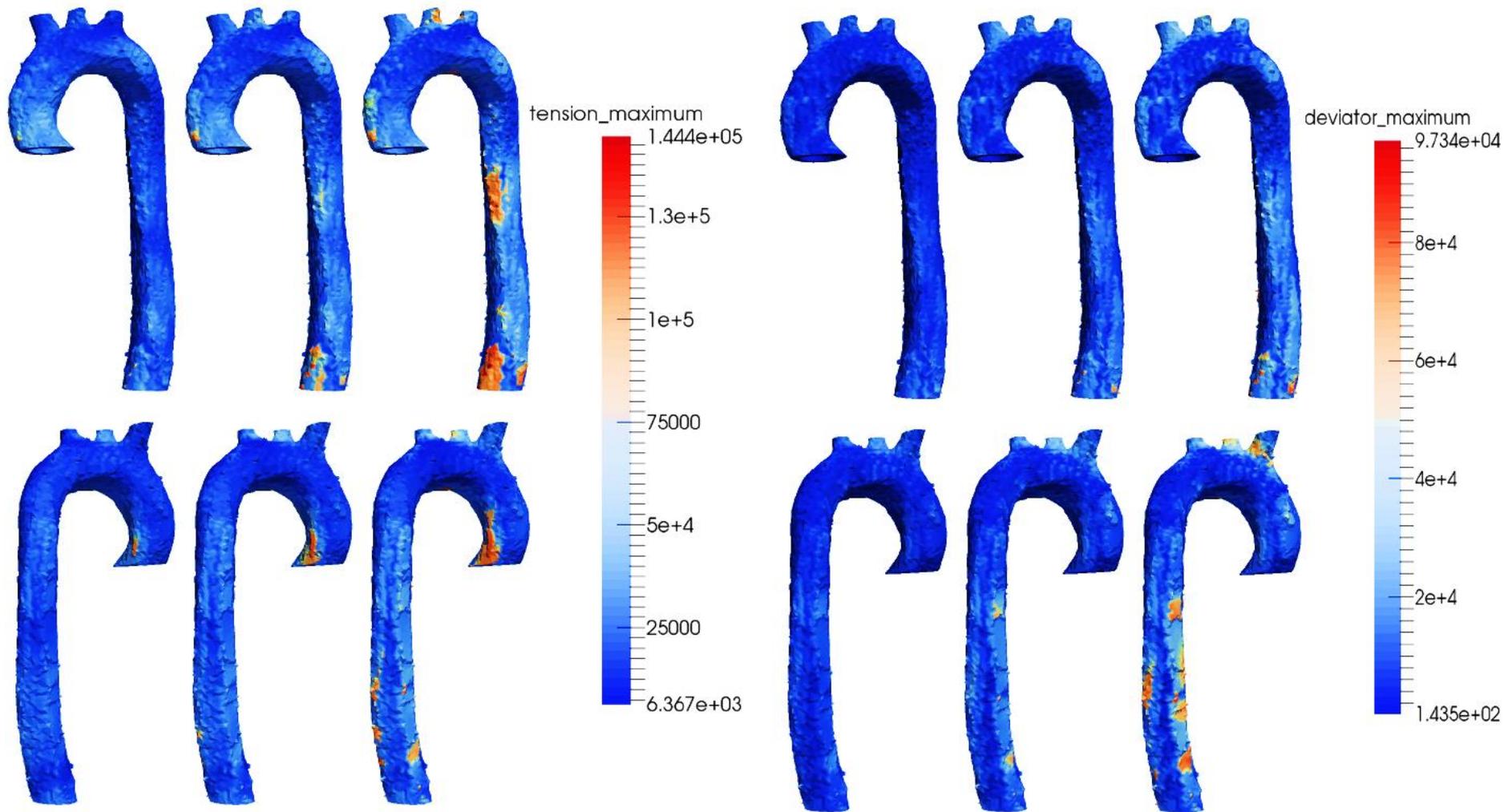


Результаты расчетов: сплошная и полая модели аорты.



Результаты расчетов:

растяжение и модуль девиатора на аорте;
20, 40 и 60 лет.



Заключение

- Сеточно-характеристический численный метод для решения задач МДТТ адаптирован для решения биомеханических задач в трехмерной постановке.
- Выполнена серия расчетов воздействия низкоскоростного удара на грудную клетку человека.
- Проведено численное исследование влияния возраста на поведение аорты человека при низкоскоростном ударном воздействии:
 - возраст пациента влияет на поведение сосудов при ударной нагрузке, по мере старения существенно увеличивает вероятность их повреждения;
 - контузии и расслоения стенки сосудов могут быть вызваны напряжениями, не достигающими порога разрушения;
 - с увеличением возраста пациента ранняя диагностика таких повреждений становится более актуальной.

**Спасибо за Ваше время и
внимание!**
