

# Технологии расчета упругих свойств костной ткани по данным компьютерной томографии

Обучающийся:  
Д.О. Соловьев

Руководитель от университета:  
Л.Б. Маслов

Руководитель от профильной организации:  
М.А. Жмайло

# Инжиниринговый центр «Центр компьютерного инжиниринга» (CompMechLab®) СПбПУ

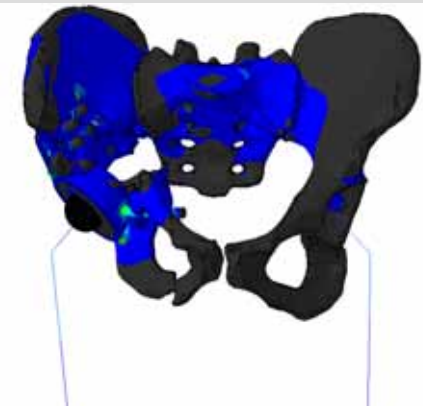
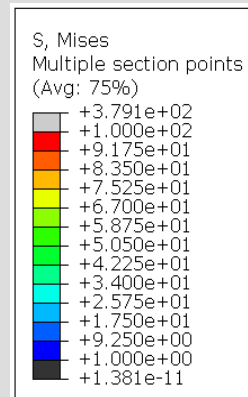
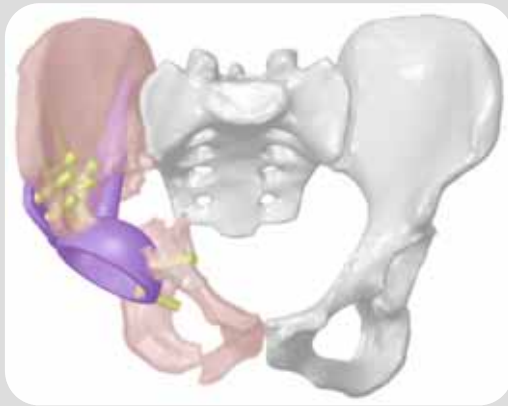
Ключевые направления деятельности:

- выполнение на регулярной основе НИОКР, обеспечивающих разработку и создание принципиально новых и глобально конкурентоспособных продуктов / изделий / конструкций нового поколения;
- подготовка глобально востребованных инженеров нового поколения;
- «встраивание» в технологические цепочки и производство промышленных компаний-лидеров мирового рынка (освоение, адаптация и развитие «cutting-edge технологий»), экспорт высокоинтеллектуальных услуг, разработка и трансфер технологических цепочек с высокой добавленной стоимостью ноу-хау в отечественную промышленность.



В распоряжении команды ИЦ CompMechLab® - мощности Суперкомпьютерного центра (СКЦ) «Политехнический» – одного из самых высокопроизводительных СКЦ в России

# Применение методов математического моделирования



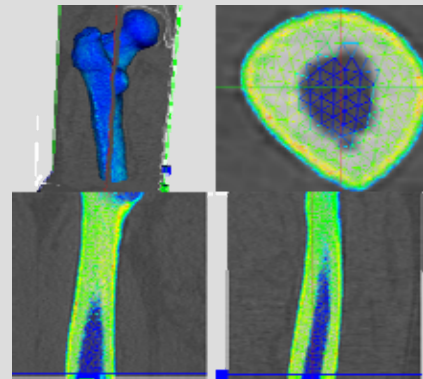
# Построение модели кости с неоднородными свойствами



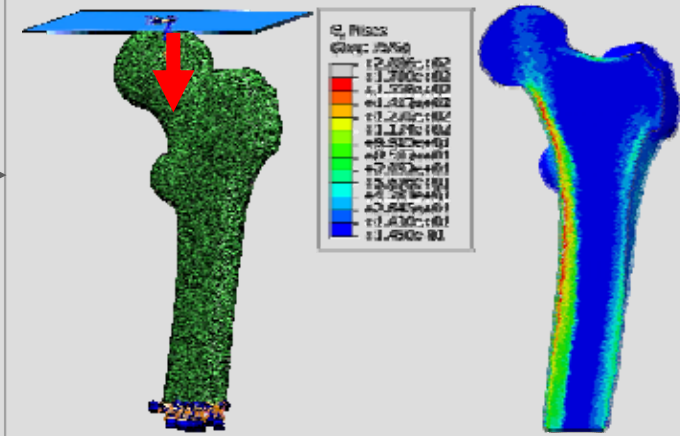
Построение геометрии и генерация КЭ-сетки



Определение механических характеристик

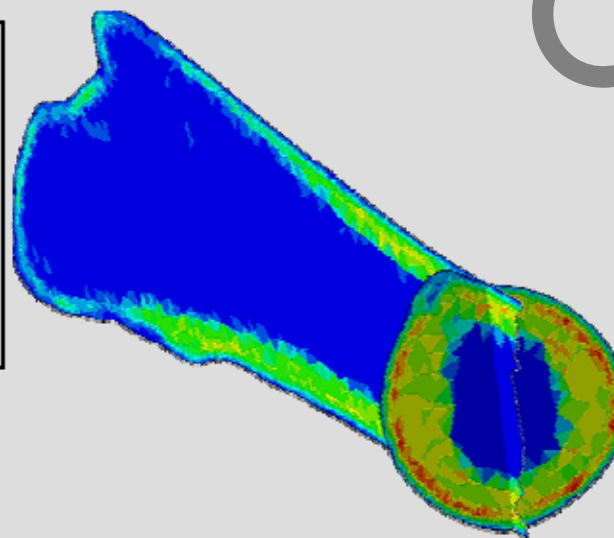
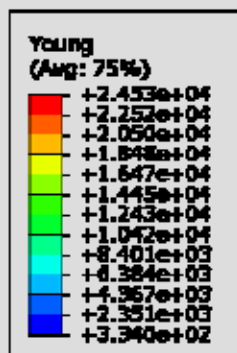
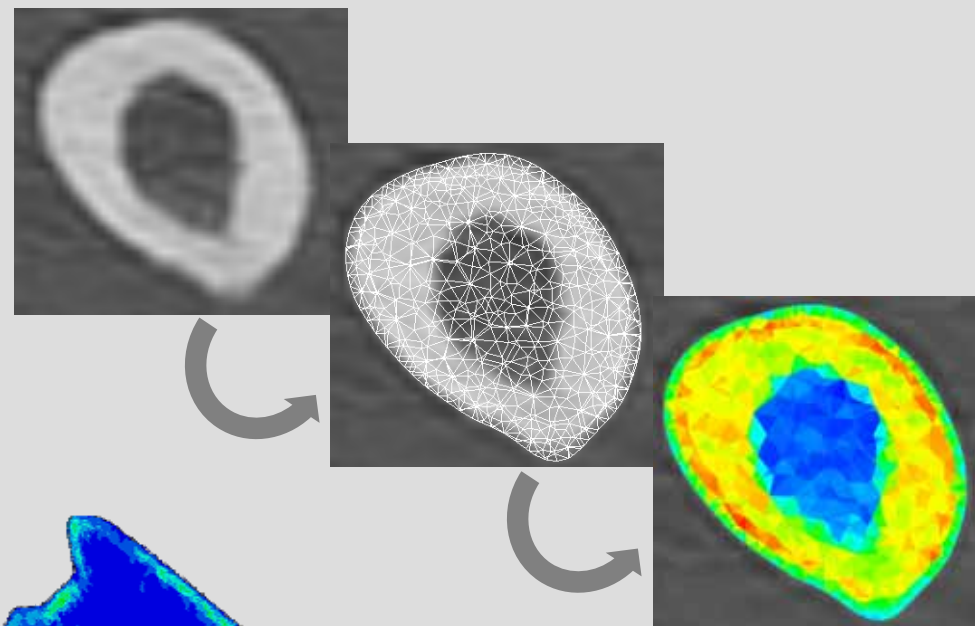


Анализ НДС полученной КЭ-модели



# Определение механических характеристик

1. Пересчет единиц Хаунсфилда каждого вокселя в значения упругих модулей
2. Усреднение полученного поля модулей для каждого элемента
3. Объединение элементов с близкими значениями модуля упругости в группы с заданным шагом



# Пересчет единиц Хаунсфилда в значения упругих модулей

## Примеры расчетных соотношений

$$\rho_{K_2HPO_4} = 10^{-3} (0.8 \cdot HU)$$

$$\rho_{ash} = (0.877 \times 1.15 \times \rho_{K_2HPO_4} + 0.08) [g/cm^3]$$

$$E_{cart} = 10200 \cdot \rho_{ash}^{2.01} [MPa], \quad \rho_{ash} > 0.486$$

$$E_{trab} = 2398 [MPa], \quad 0.3 < \rho_{ash} \leq 0.486$$

$$E_{trab} = 33900 \cdot \rho_{ash}^{2.2} [MPa], \quad \rho_{ash} \leq 0.3$$

$$\rho_{ash} = [p(x, y, z) - a] \frac{1.4}{b - a} [g/cm^3]$$

$p(x, y, z)$  – значение серого;  $a, b$  – значения серого для воды и плотного вещества, соответственно; например,  $a = 66$ ,  $b = 219$  при диапазоне оттенков серого [0,255]

$$E_{cart} = 10200 \cdot \rho_{ash}^2 [MPa], \quad \rho_{ash} > 0.6 [g/cm^3]$$

$$E_{trab} = 5307 \cdot \rho_{ash} + 469 [MPa], \quad \rho_{ash} > 0.6 [g/cm^3]$$

$$\rho_{ash} = 0.877 \cdot \rho_{CT} + 0.079 [g/cm^3]$$

$$\rho_{app} = \frac{\rho_{ash}}{0.6}$$

$$E = 6850 \cdot \rho_{app}^{1.49} [MPa]$$

$$\rho_{app} = 0.000666 \cdot HU + 0.68353 [g/cm^3]$$

$$E = 6950 \cdot \rho_{app}^{1.49} [MPa]$$

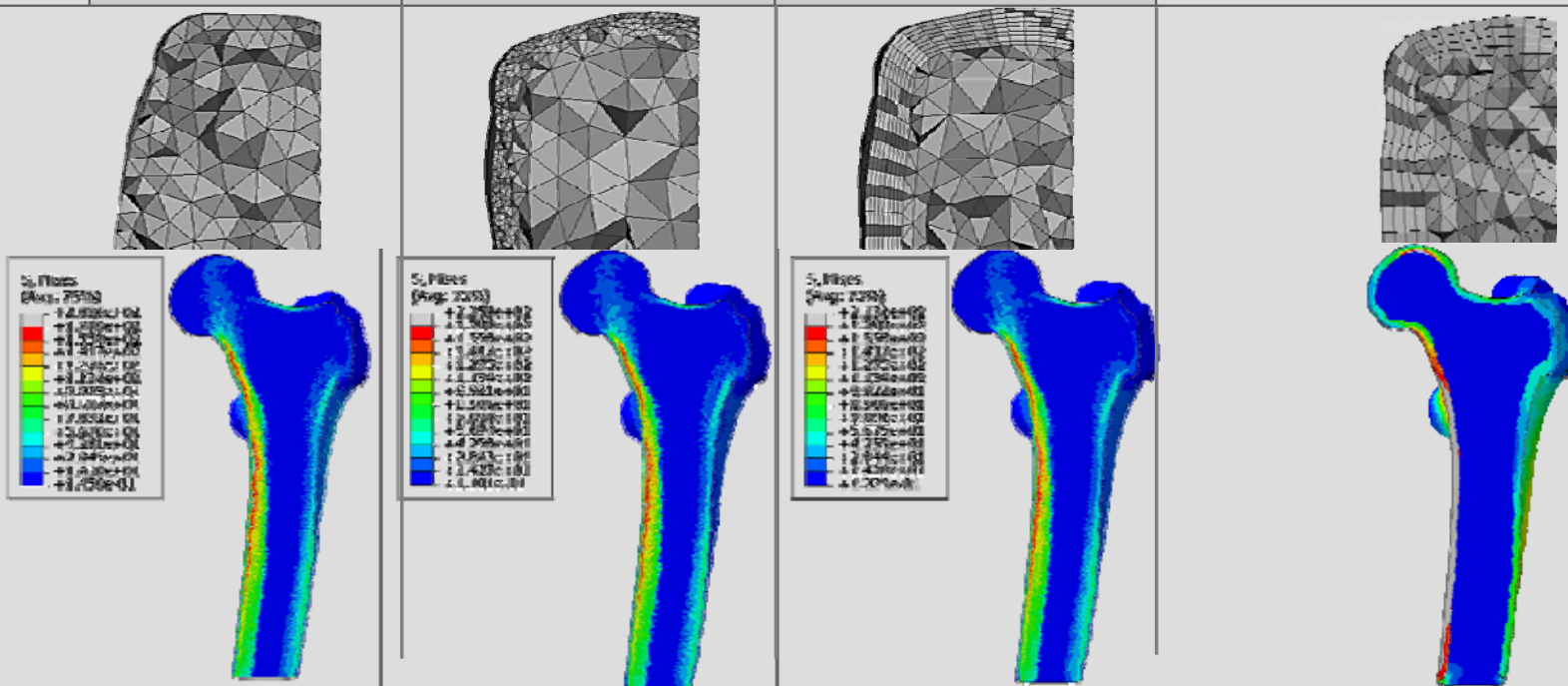
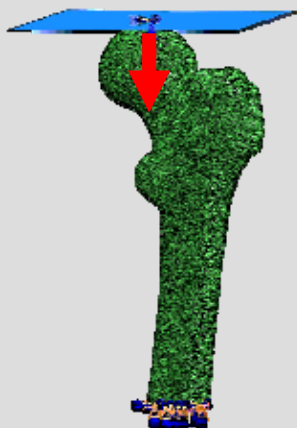
$$\rho_{ash} = 0.000656 \cdot HU + 0.0154 [g/cm^3]$$

$$E = 10500 \cdot \rho_{ash}^{2.57} [MPa]$$

# Сравнительные расчеты различных КЭ-сеток

	Модели с неоднородными свойствами Диапазон модуля Юнга: [0.3 – 25 ГПа]			Модель с однородными усредненными свойствами (2 слоя)
	300 000	2 500 000	760 000	Губчат. = 1 ГПа, Кортик. = 25 ГПа
Кол-во элементов	300 000	2 500 000	760 000	390 000
Время расчета, мин	5	64	52	10
Сила реакции, Н	9154	9100	8985	9700
Макс. перемещения, мм	6.81	6.79	6.75	8.89

Схема нагружения:



# Заключение

- Ознакомление с организацией места прохождения практики ИЦ CompMechLab® СПбПУ: структура, направления деятельности, компетенции, области заказов, технологии
- Рассмотрены различные подходы при составлении зависимостей, используемых при пересчете единиц Хаунсфилда в значения модуля Юнга
- На примере модели бедренной кости с полученным распределением модулей упругости выполнены сравнительные расчеты напряженно-деформированного состояния