



Институт бионических технологий и инжиниринга

ИБМ РАН
02.11.2023

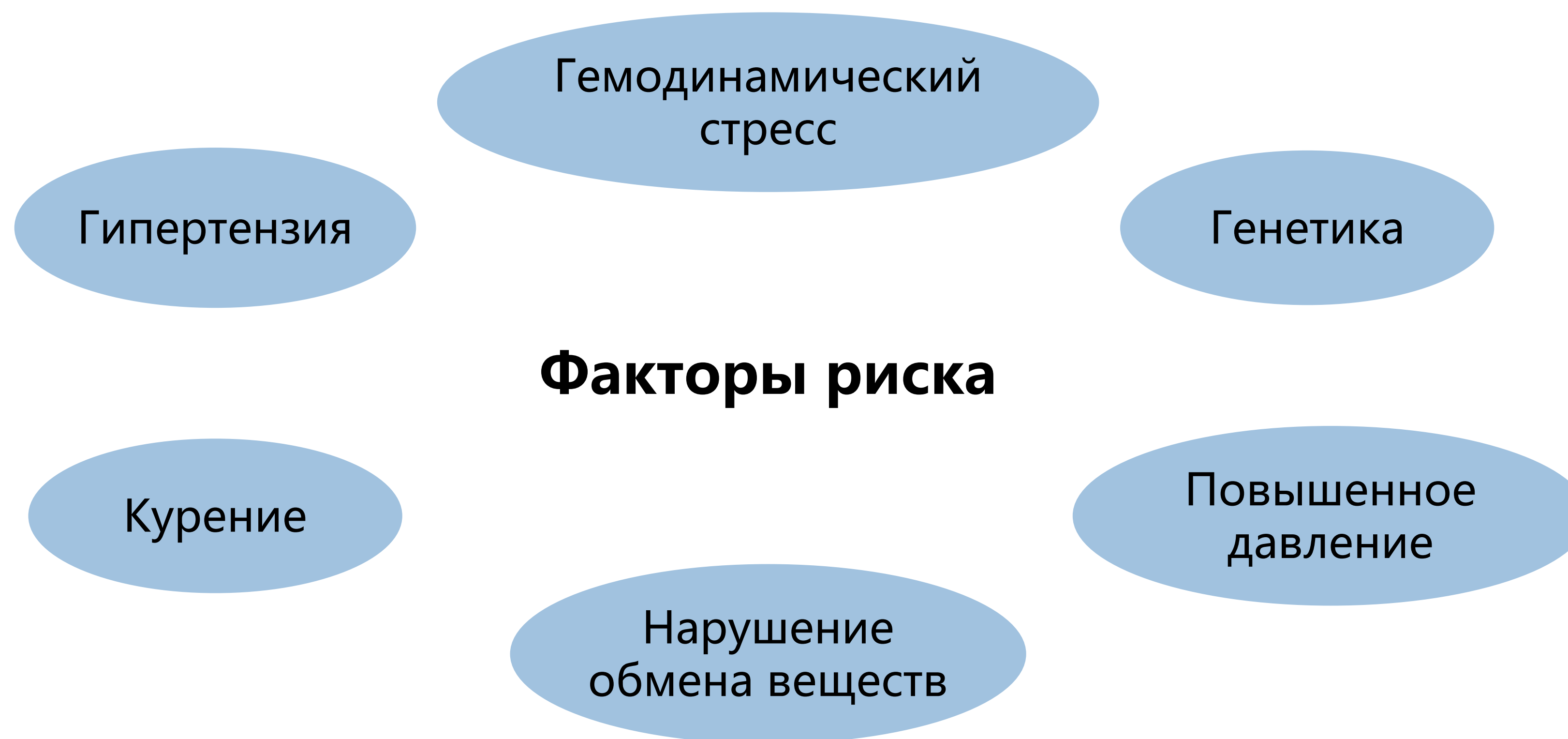
Моделирование сосудов головного мозга при церебральной анеризме

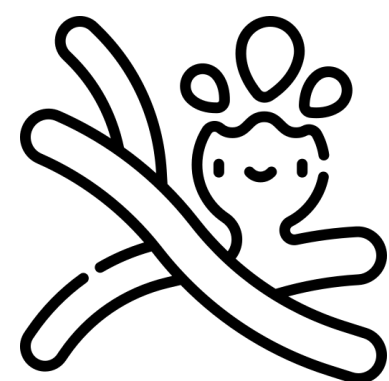
А.В. Горина¹, А.А. Галястов¹, Д.Д. Ставцев¹, А.Н. Коновалов^{1,3},
Ф.В. Гребенев^{1,3}, Д.В. Телышев^{1,2}

1. Первый Московский Государственный медицинский Университет имени И.М. Сеченова
2. Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники»
3. Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии имени академика Н. Н. Бурденко



Аневризма - расширение сосуда, сопровождающееся истончением его стенки





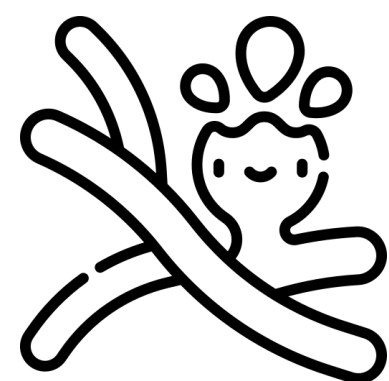
Главное осложнение - разрыв аневризмы



Высокие значения отношения размера аневризмы и афферентного сосуда – size ratio (SR)

Повышенные и пониженные значения сдвиговых напряжений на стенках сосуда – Wall Shear Stress (WSS)

Сложная структура течения с двумя и более вихрями



Главное осложнение - разрыв аневризмы



Зачем?

Для прогнозирования возможного риска разрыва аневризмы

Как?

3D Slicer

MeshMixer

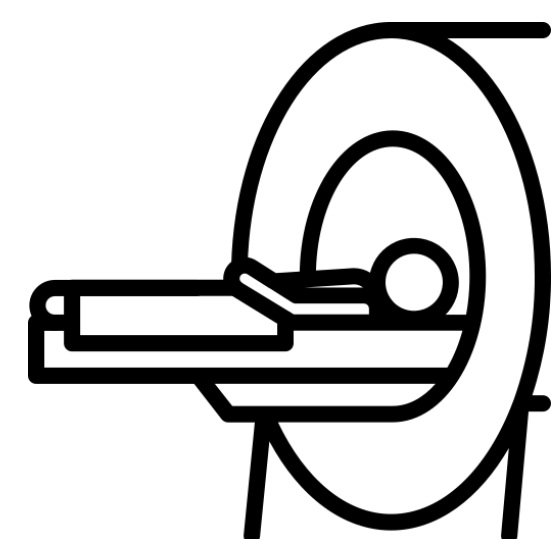
Salome

OpenFoam

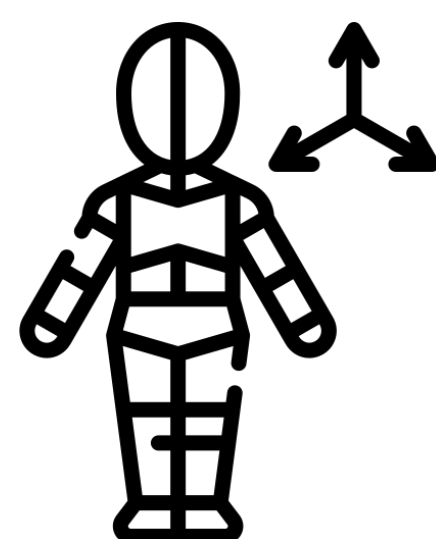
COMSOL Multiphysics

ParaView

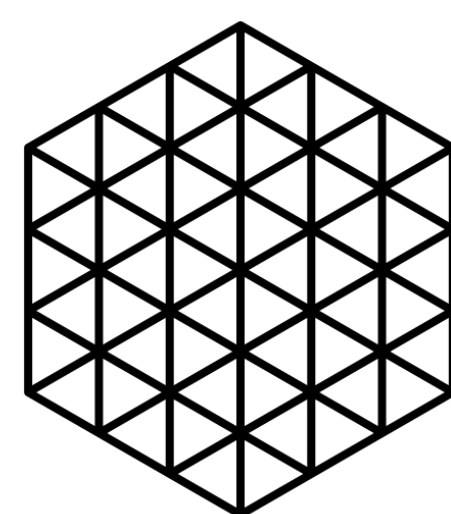
Компьютерное моделирование



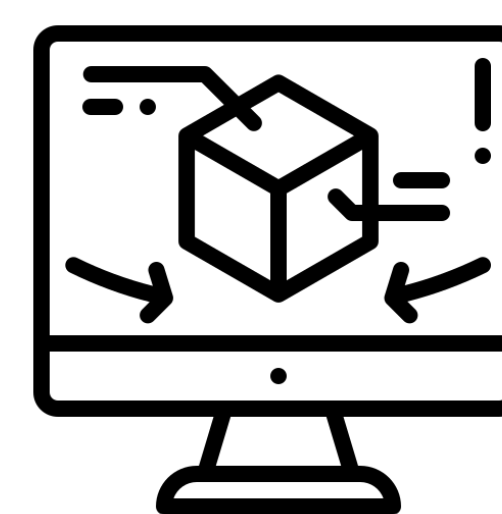
Результаты КТ



Сегментация



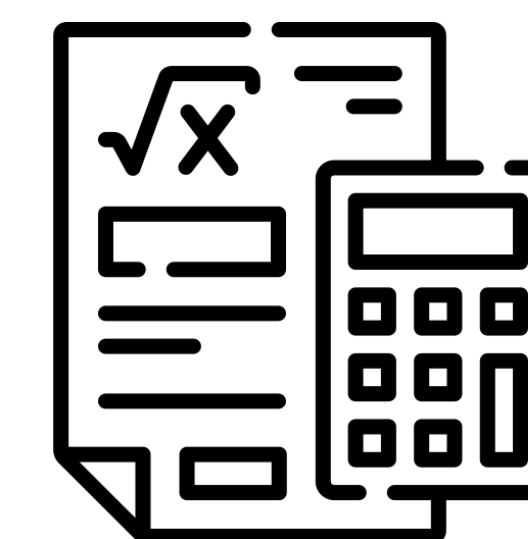
Построение
сетки



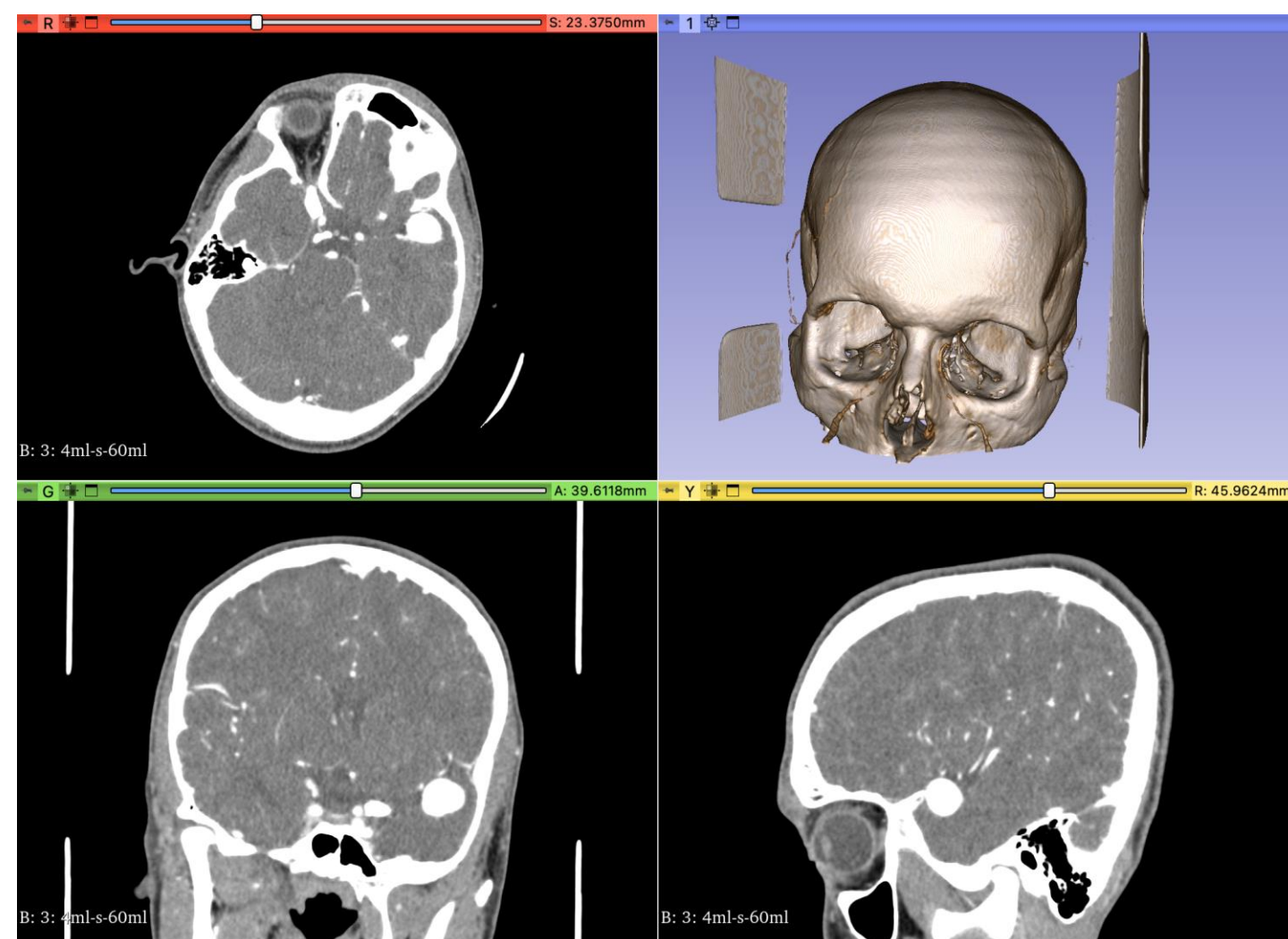
Граничные
условия



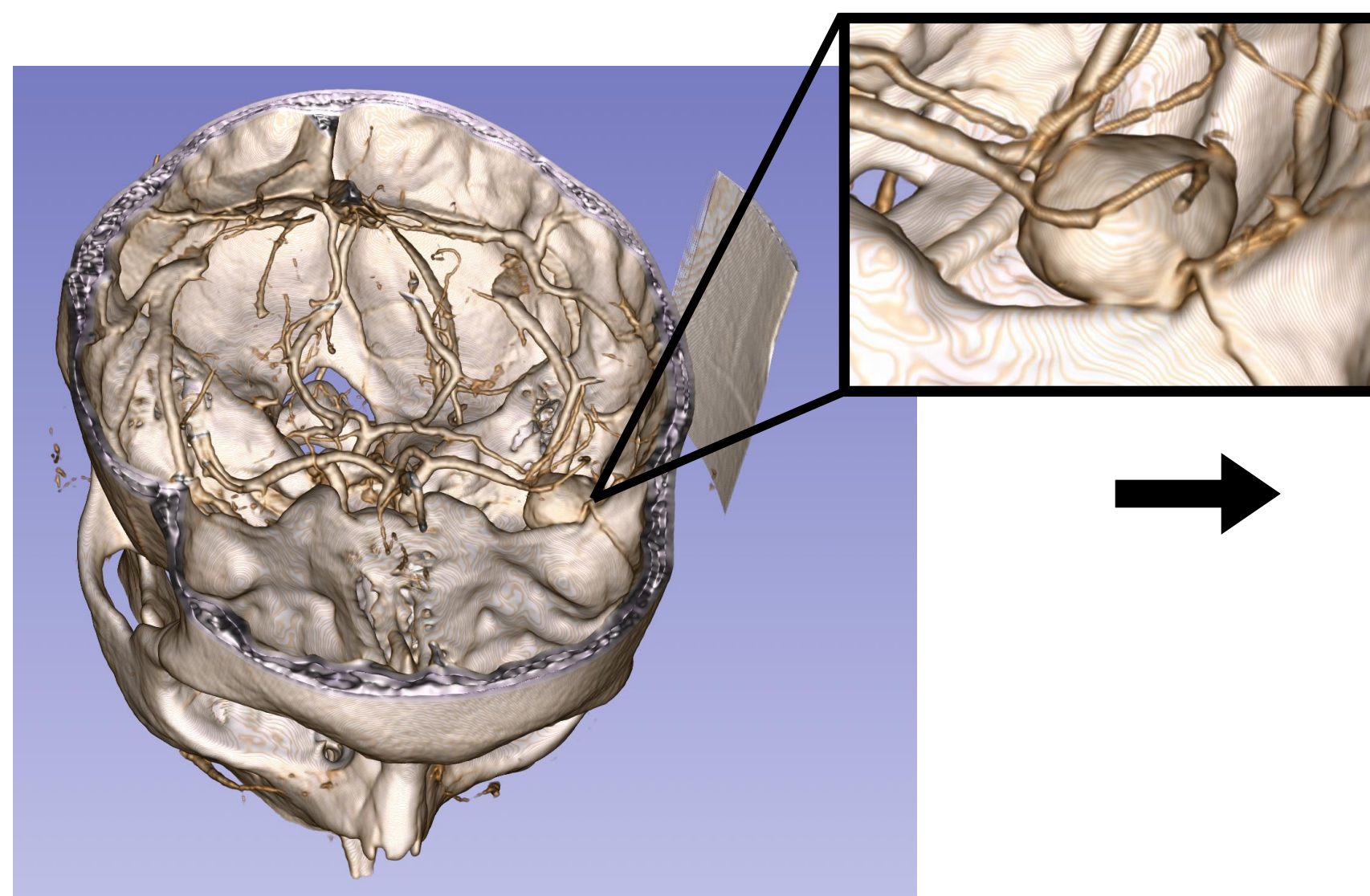
Результаты



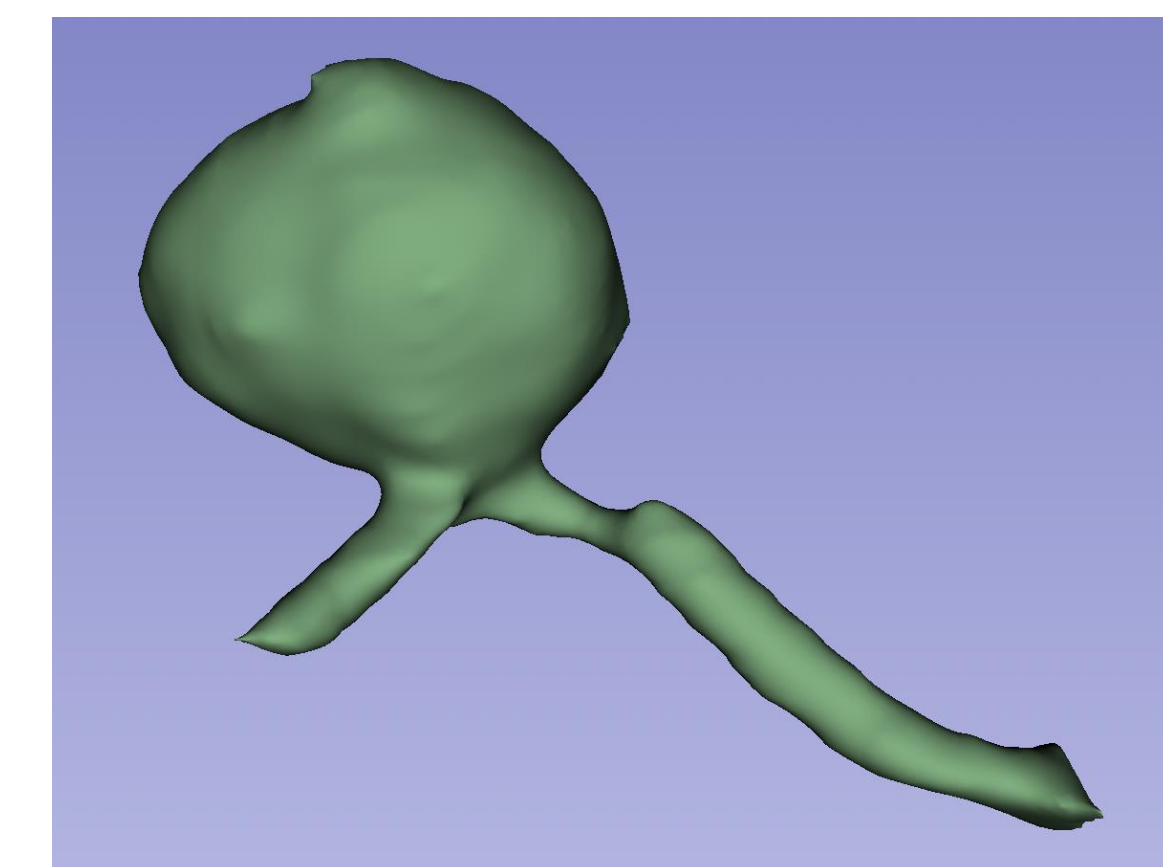
Обработка
данных



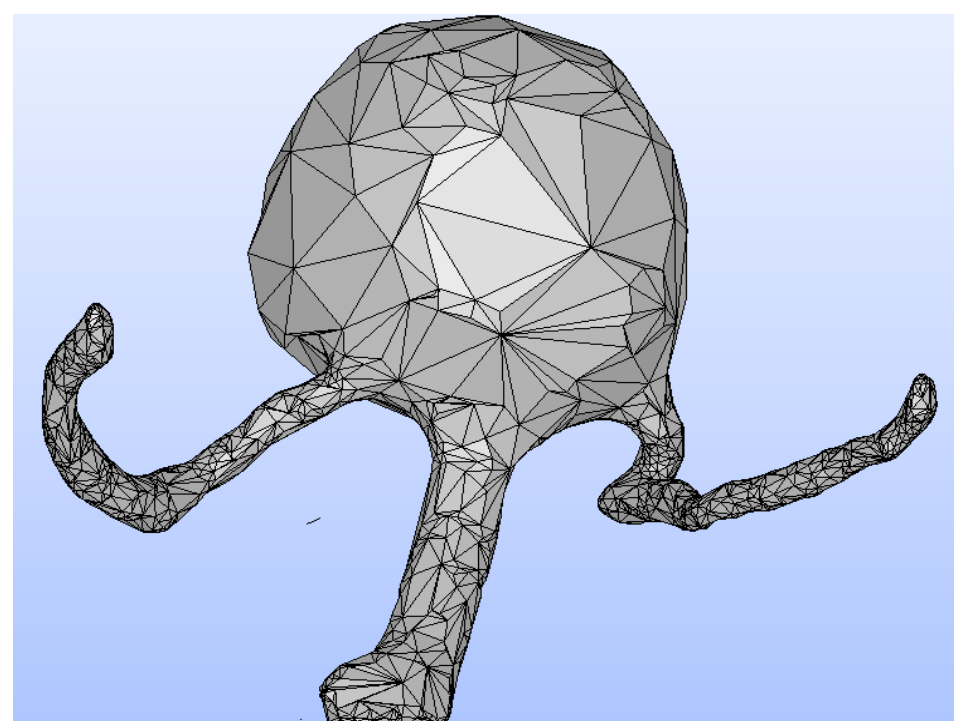
Результаты ангиографии



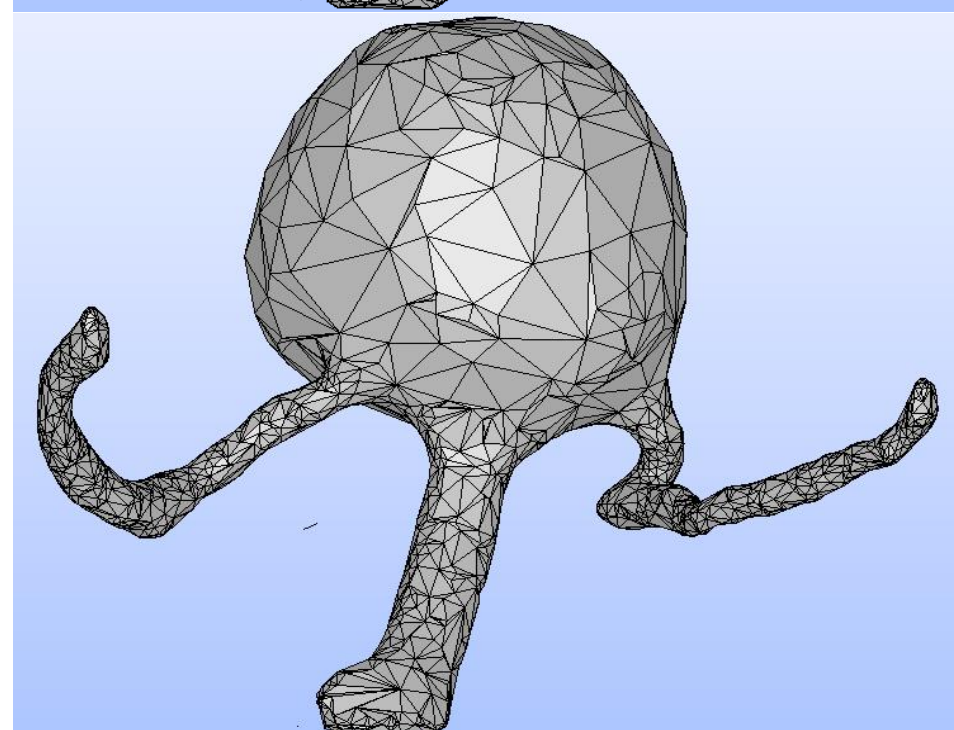
Построение 3D модели



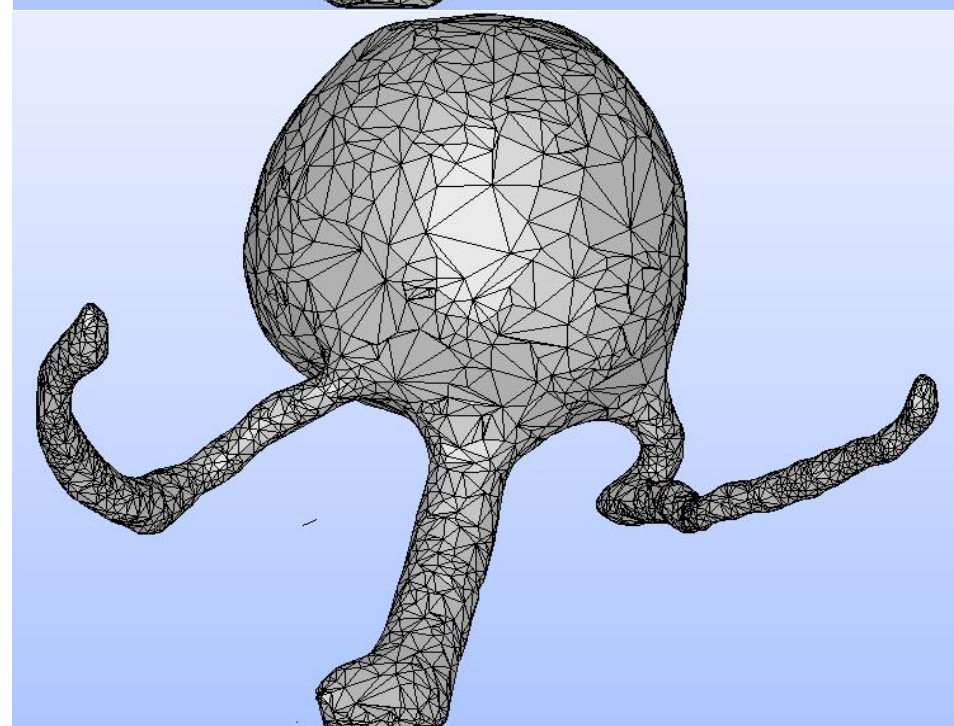
Сегментация
необходимого участка



70%

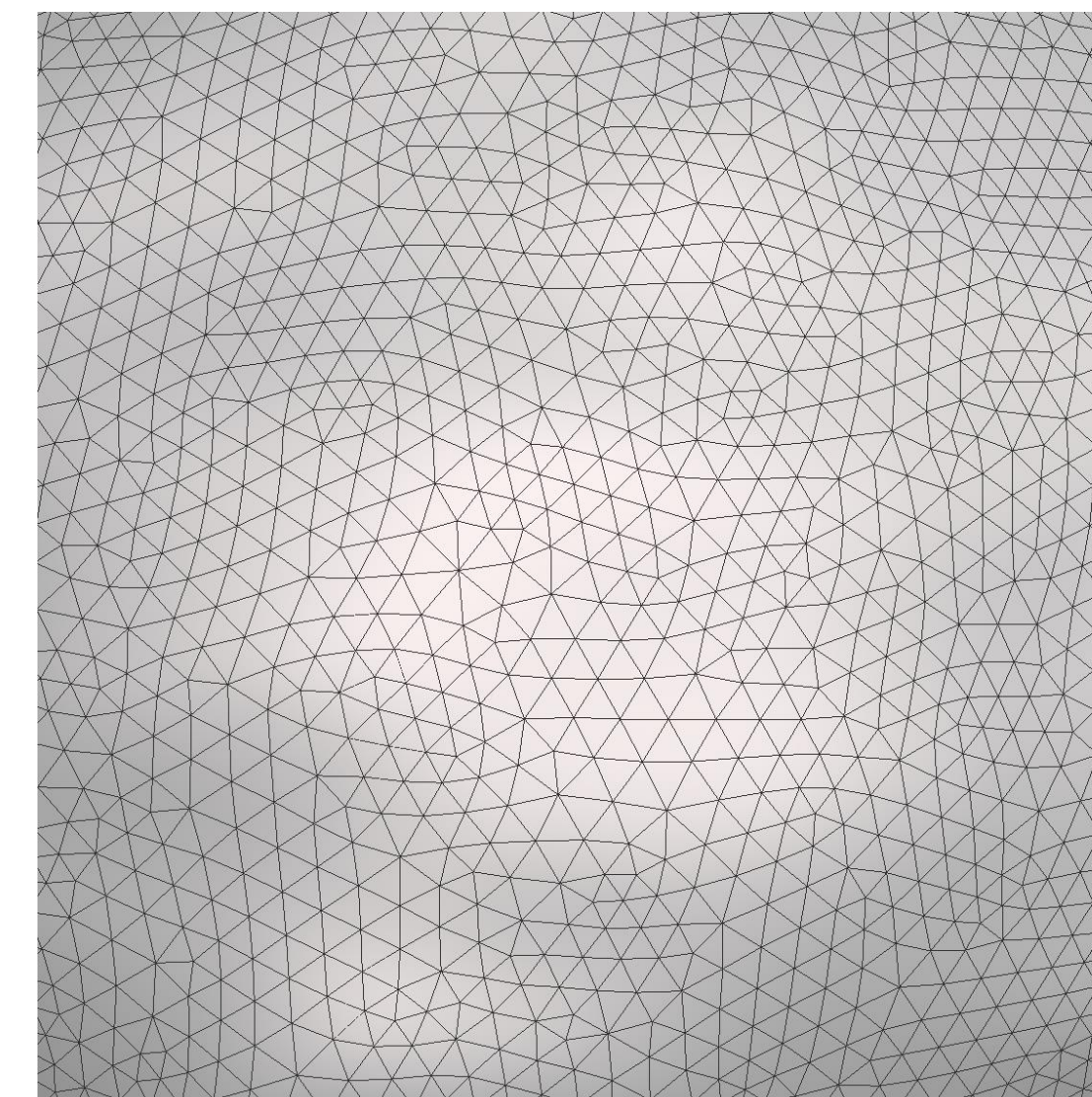
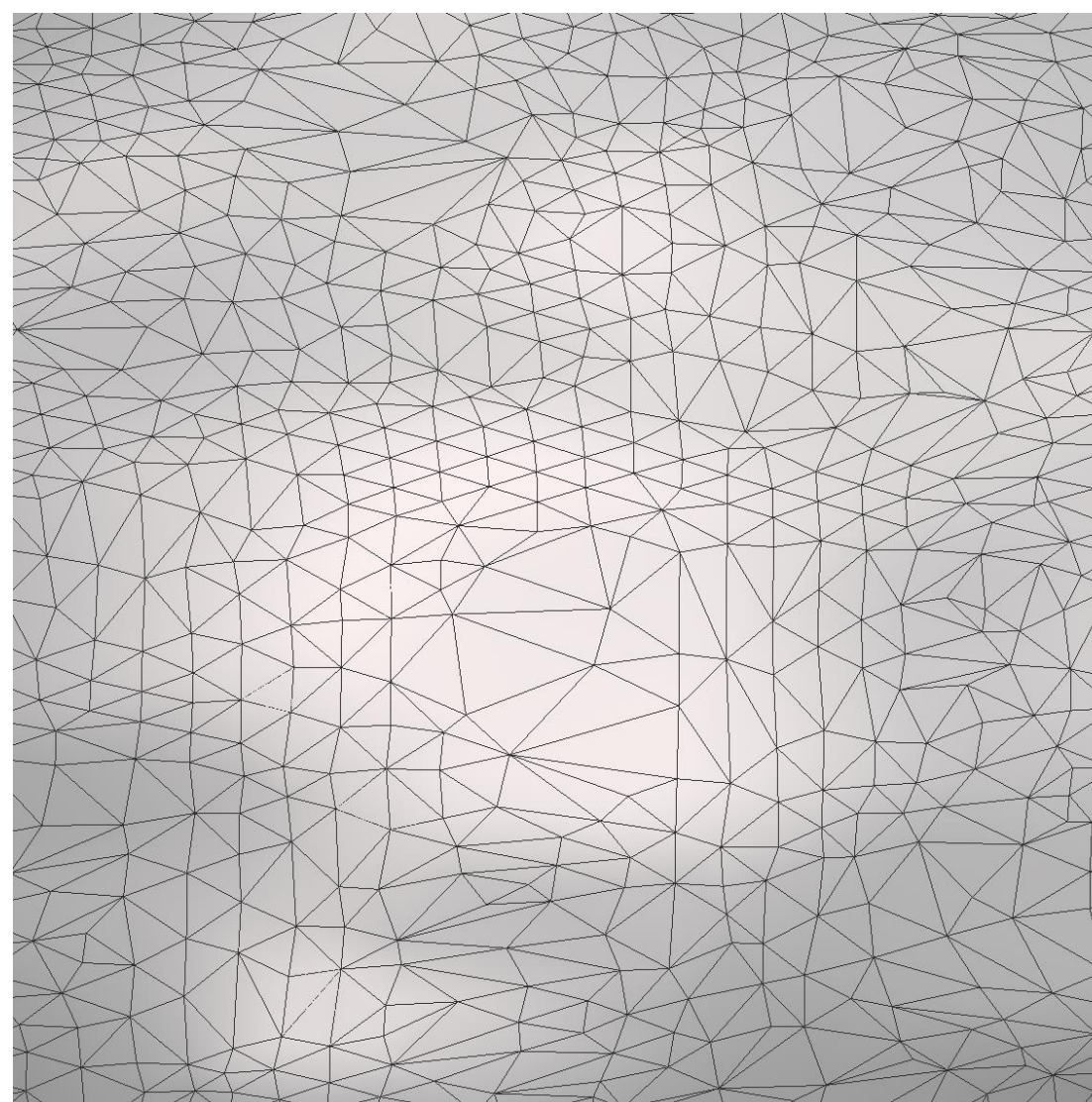


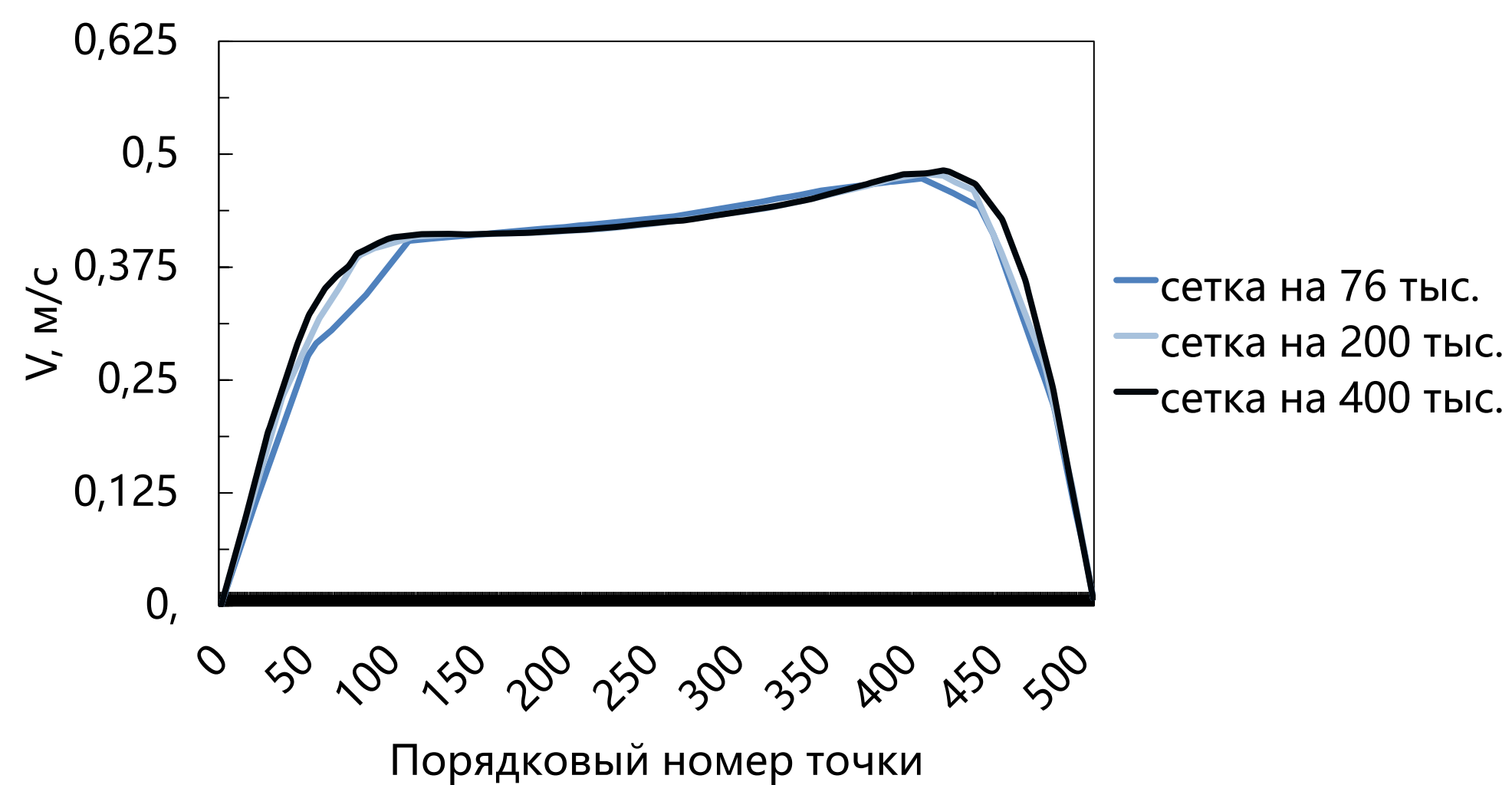
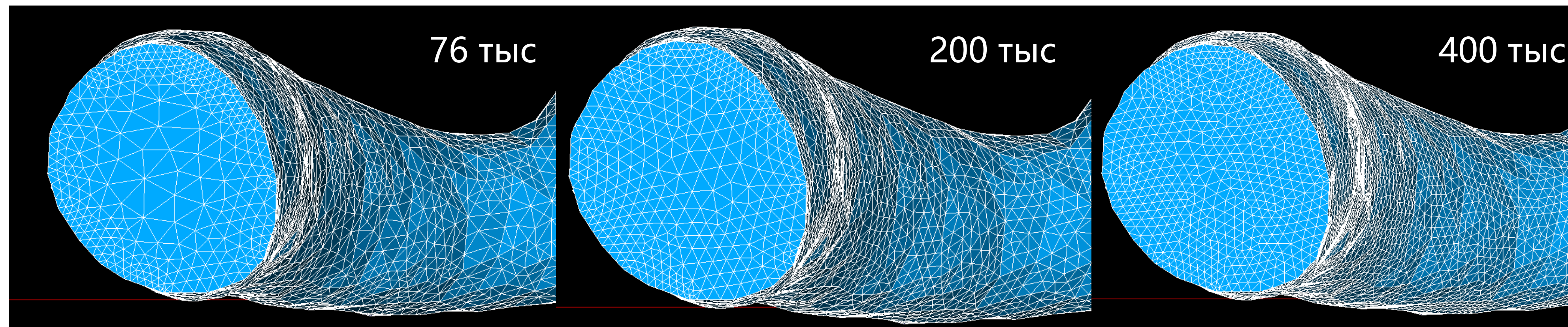
80%



90%

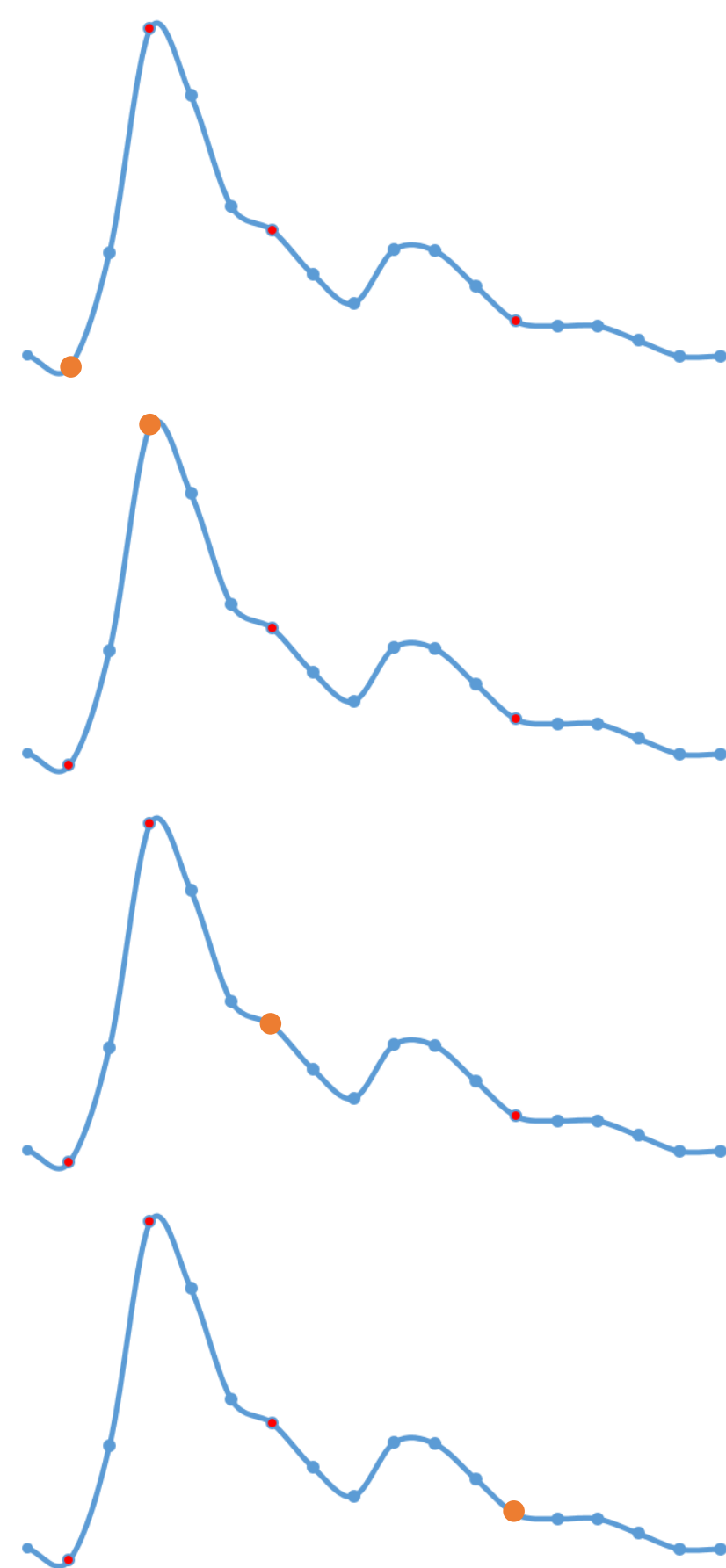
Функция Remesh



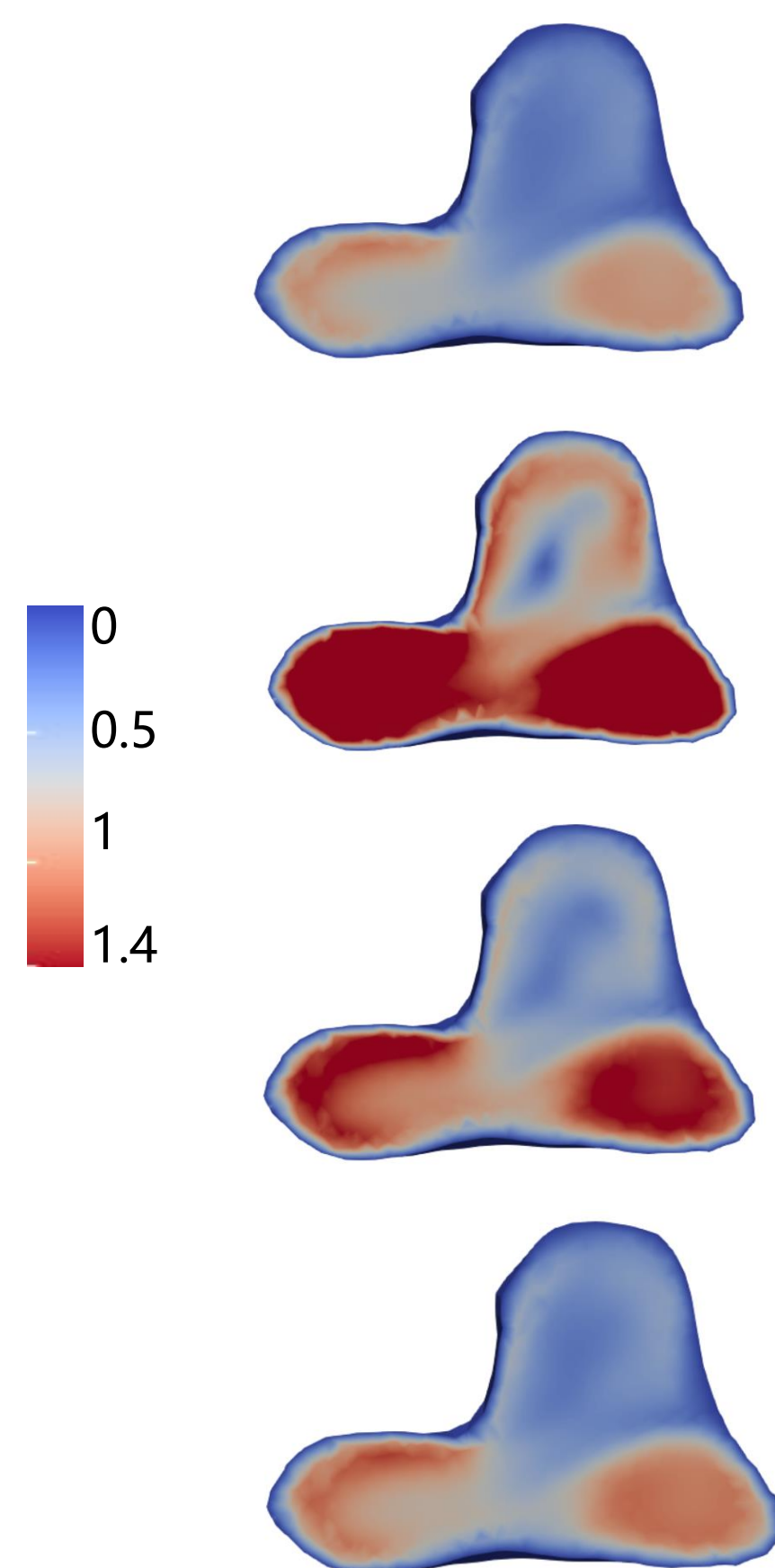


Кол-вол элементов сетки, тыс	Время расчета одного сердечного цикла, ч
76	8,5
200	13,5
400	64

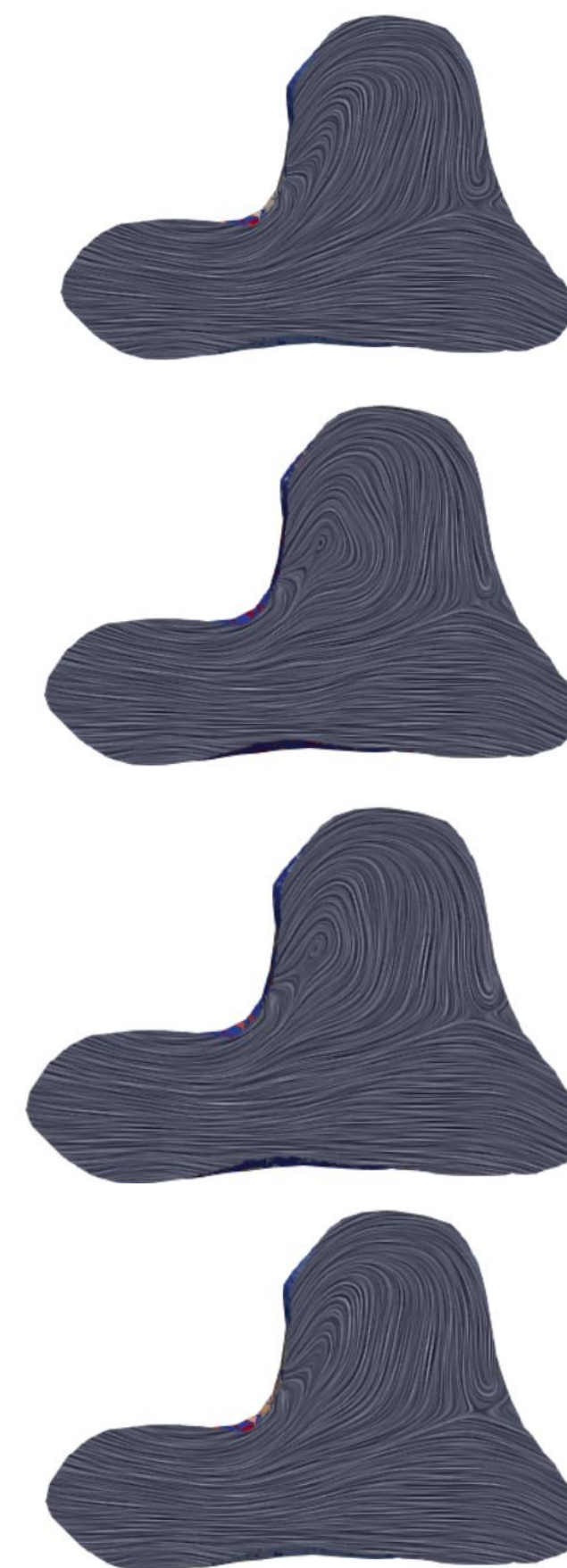
Момент времени



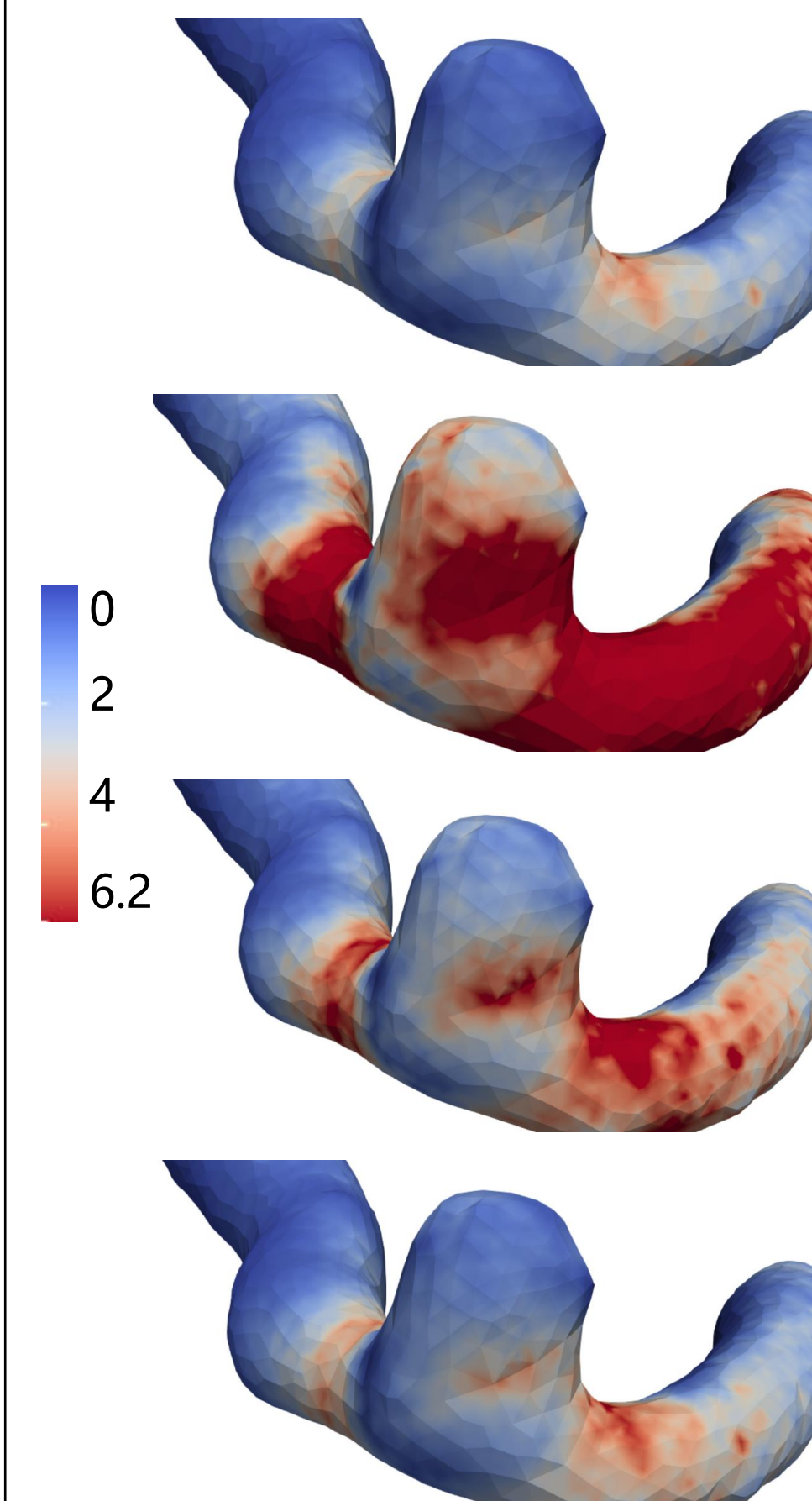
Поле скорости, м/с



Вихревые потоки



Сдвиговое напряжение, Па



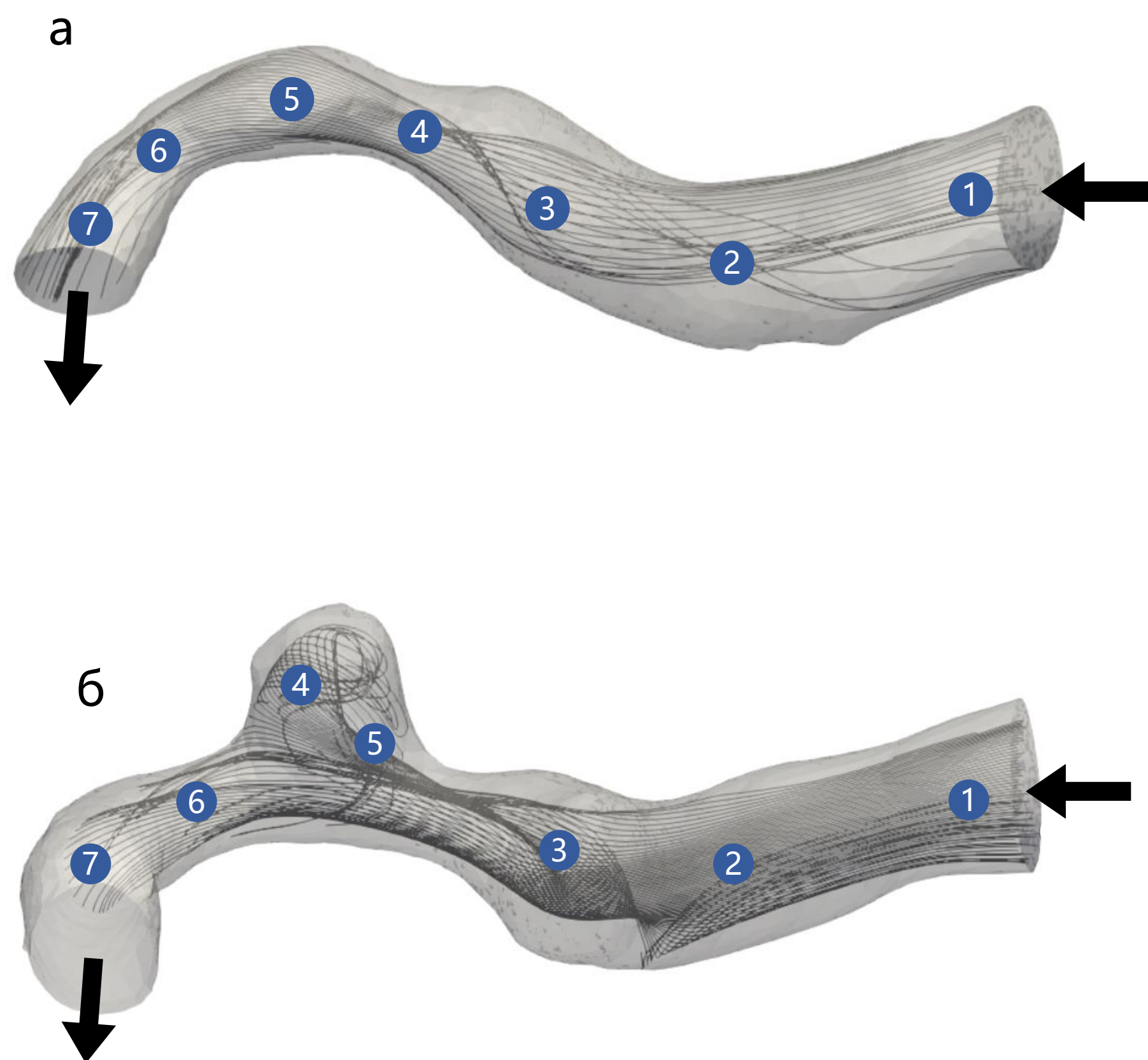


Рисунок 1 - Точки для анализа значений скорости в моделях
(а - без аневризмы, б - с аневризмой)

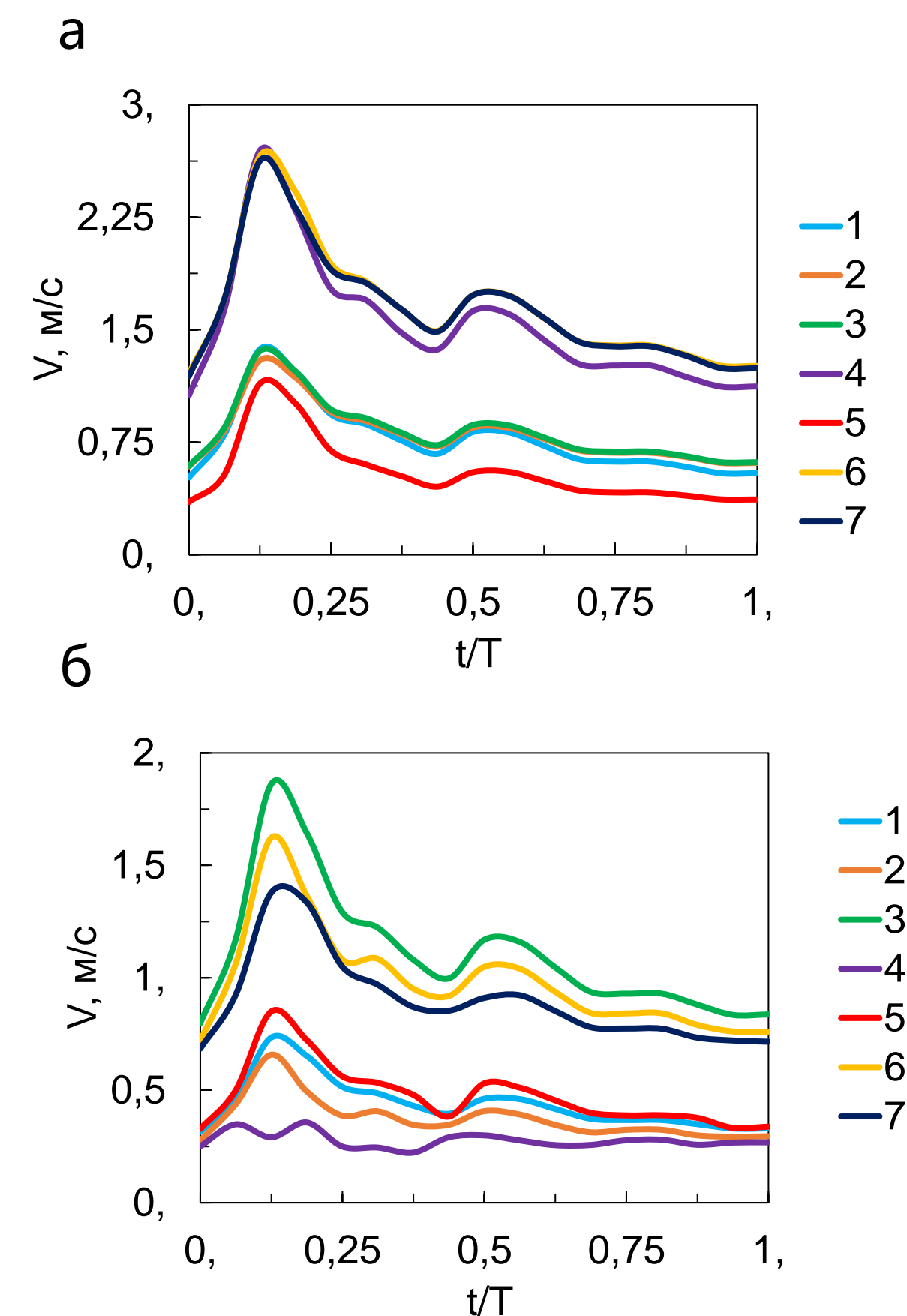


Рисунок 2 - Значения скоростей в заданных точках
(а - без аневризмы, б - с аневризмой)

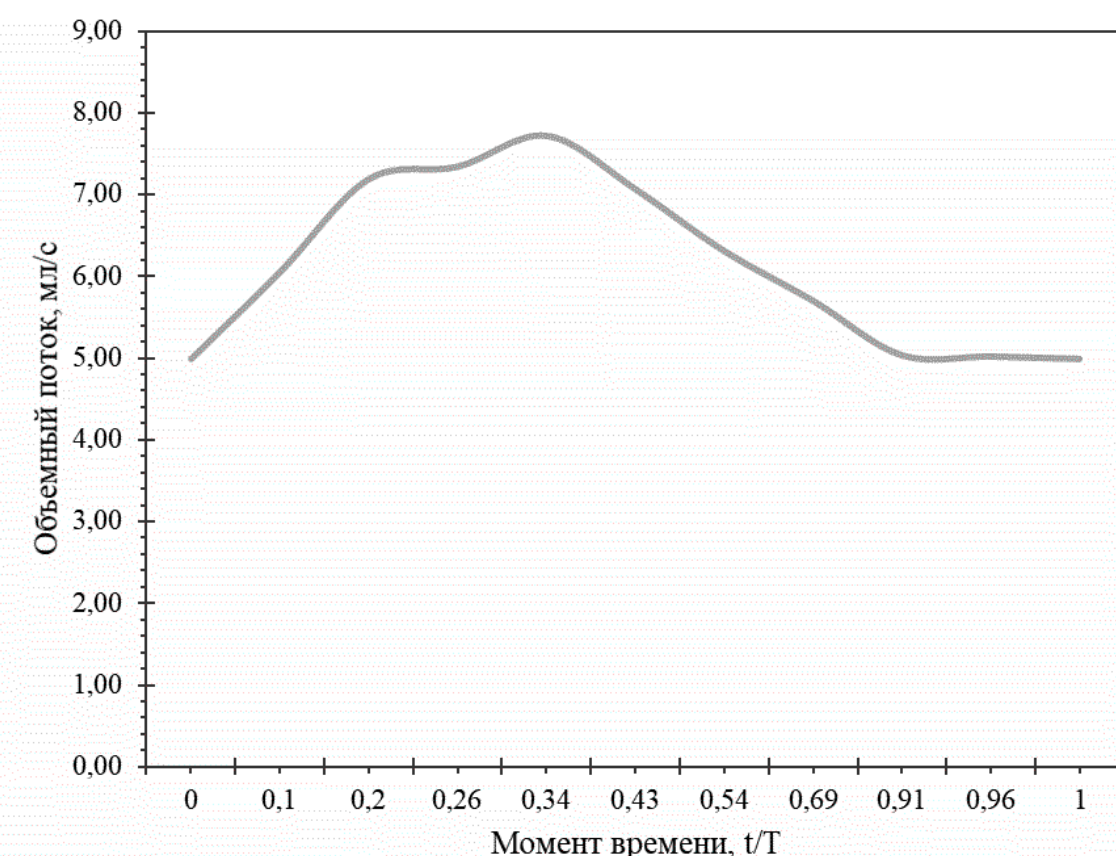


Рисунок 1 – Зависимость объемного потока от времени на входе в афферентный сосуд

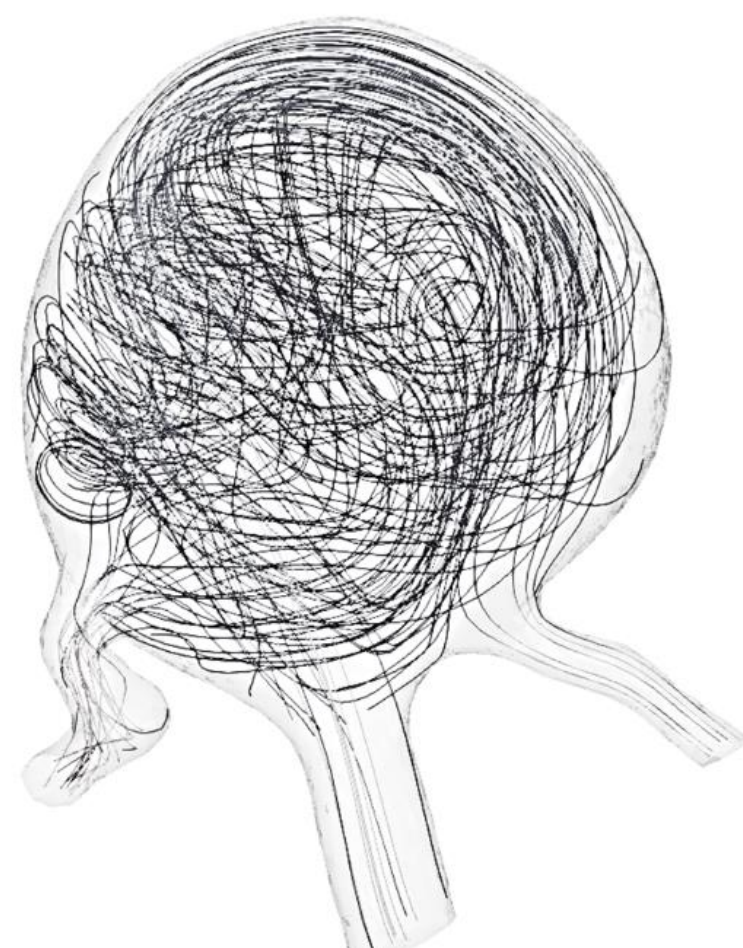


Рисунок 2 – Линии тока внутри купола аневризмы при максимальном значении скорости

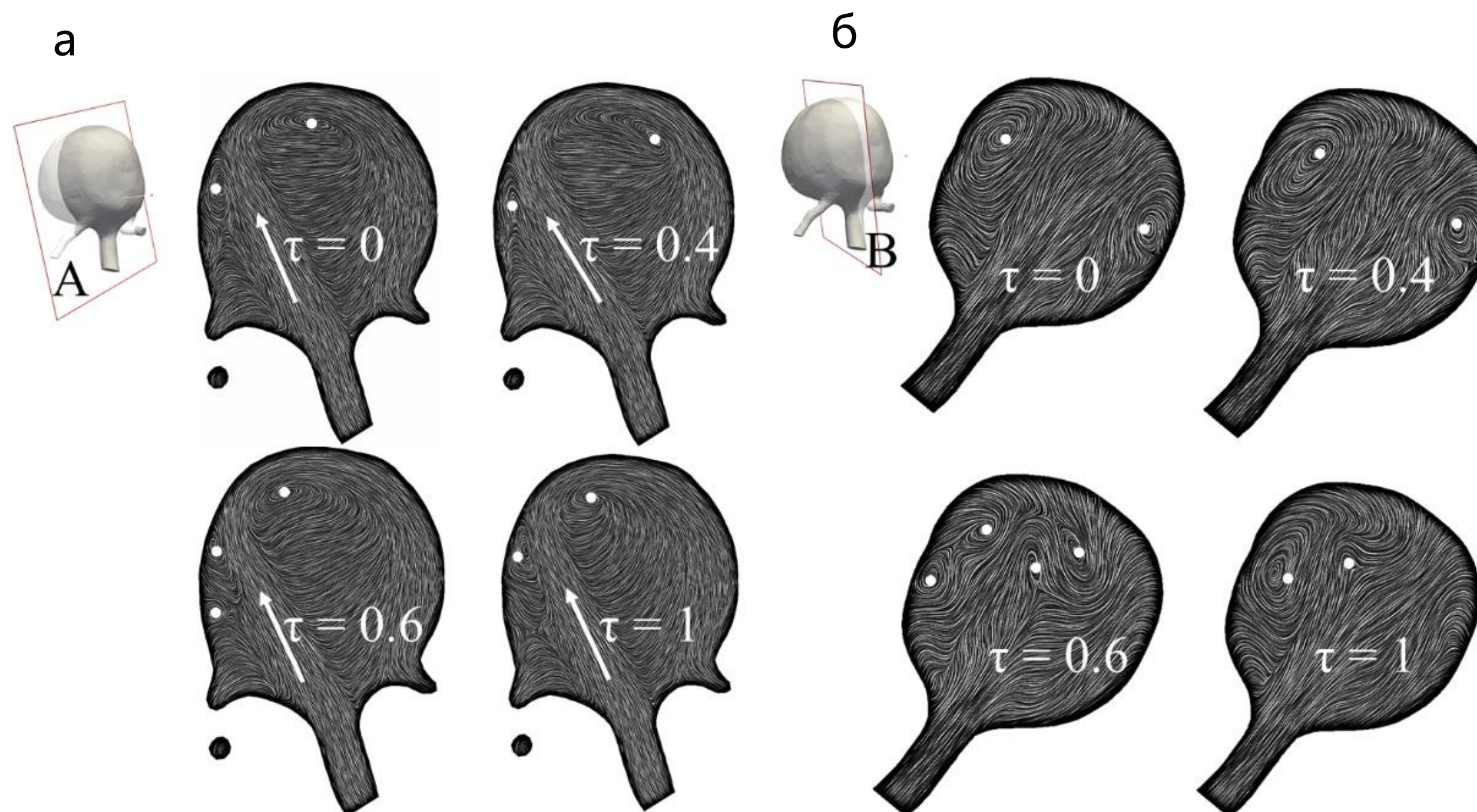


Рисунок 3 – Визуализация структуры течения в сечениях А (а) и В (б) для моментов времени $\tau = 0; 0,2; 0,4; 0,6$ и 1

Исследование гигантских аневризм ($SR = 8,85$)

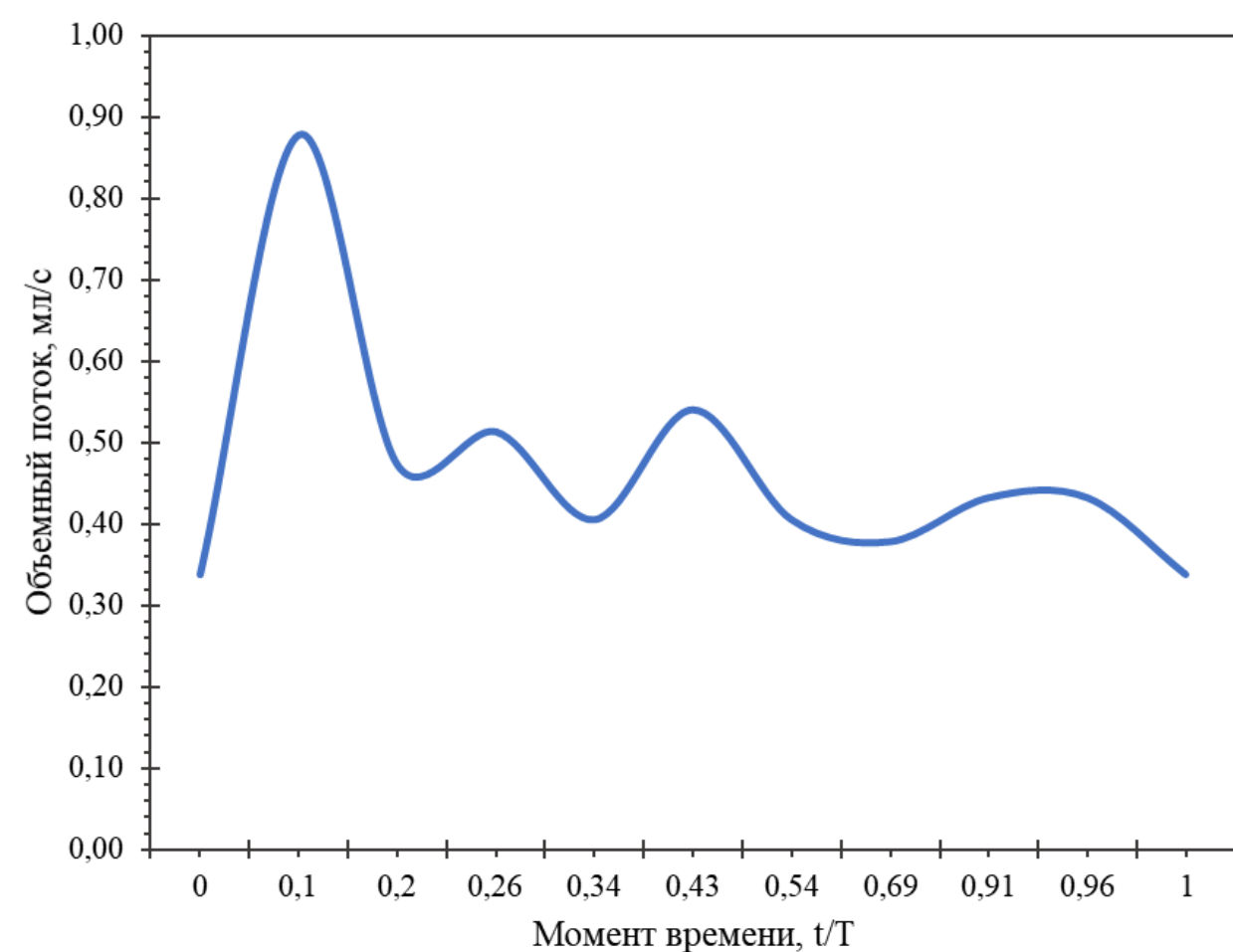


Рисунок 1 – Зависимость объемного потока от времени на входе в афферентный сосуд

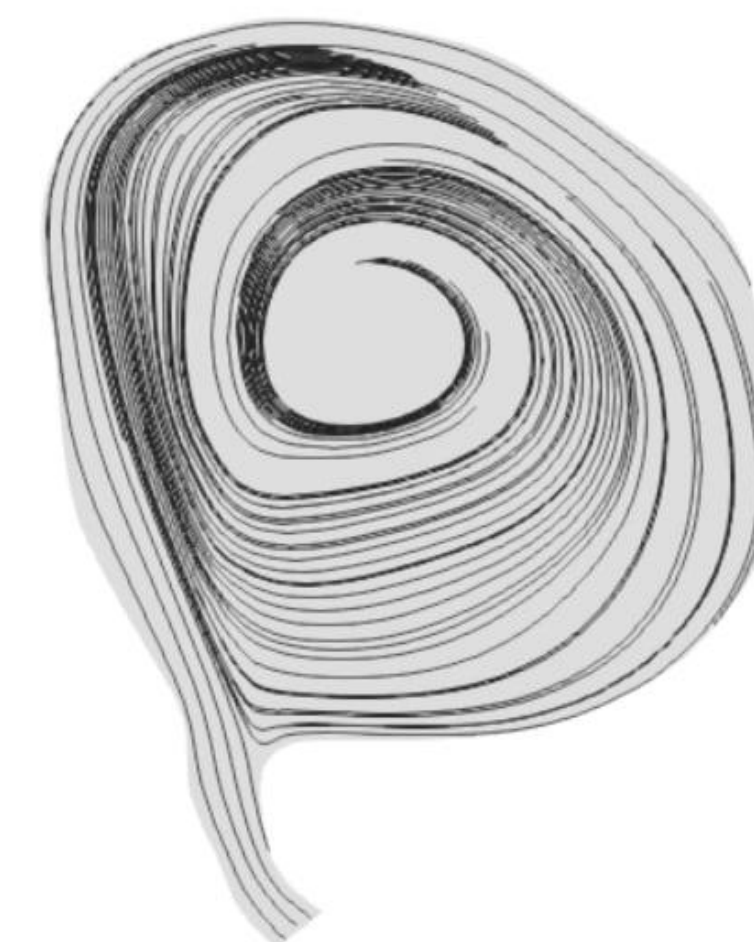


Рисунок 3 – Линии тока внутри купола аневризмы при максимальном значении скорости

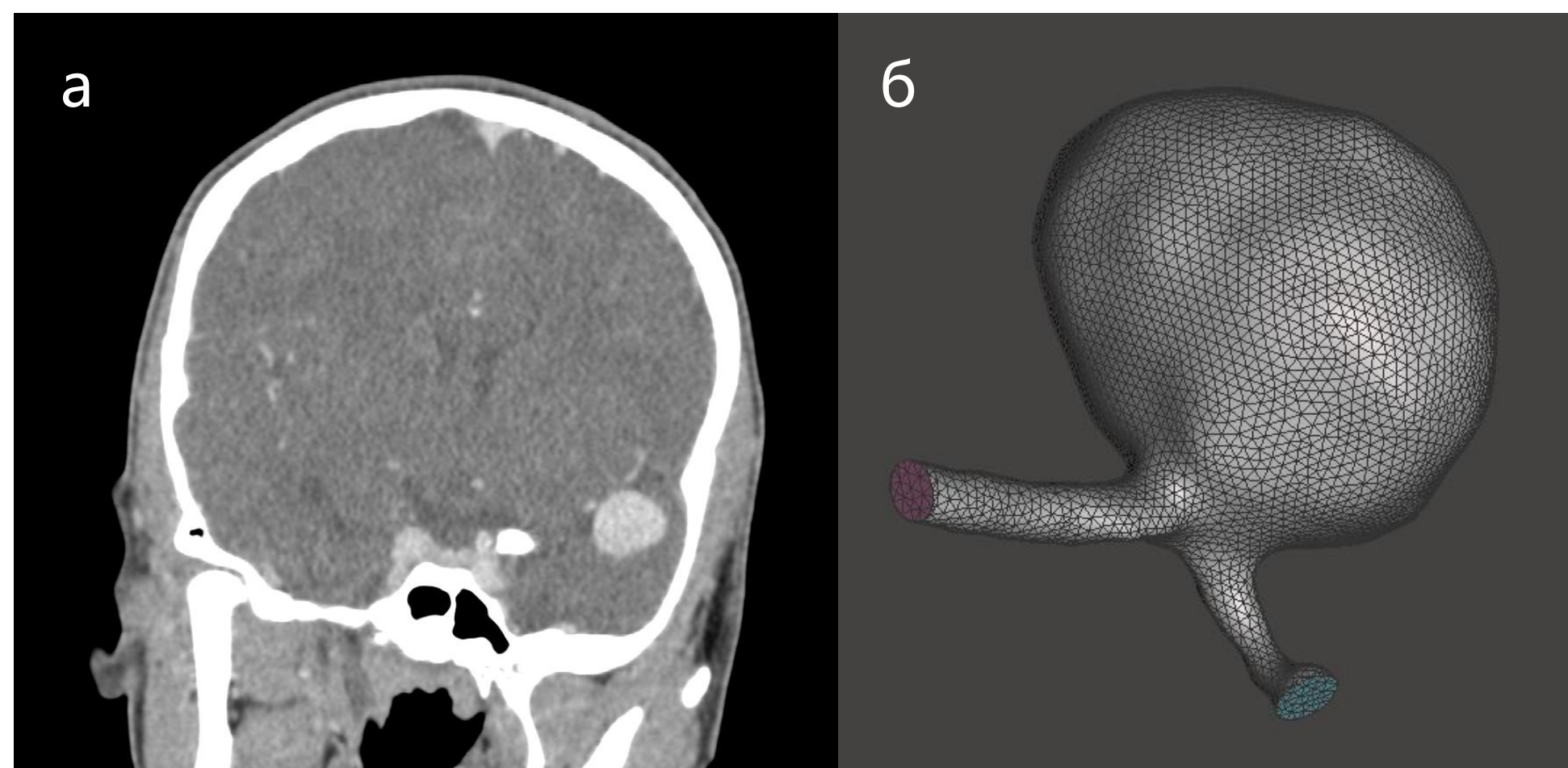


Рисунок 2 – Фронтальный срез КТ-ангиографии (а) и построенная 3D модель сосуда

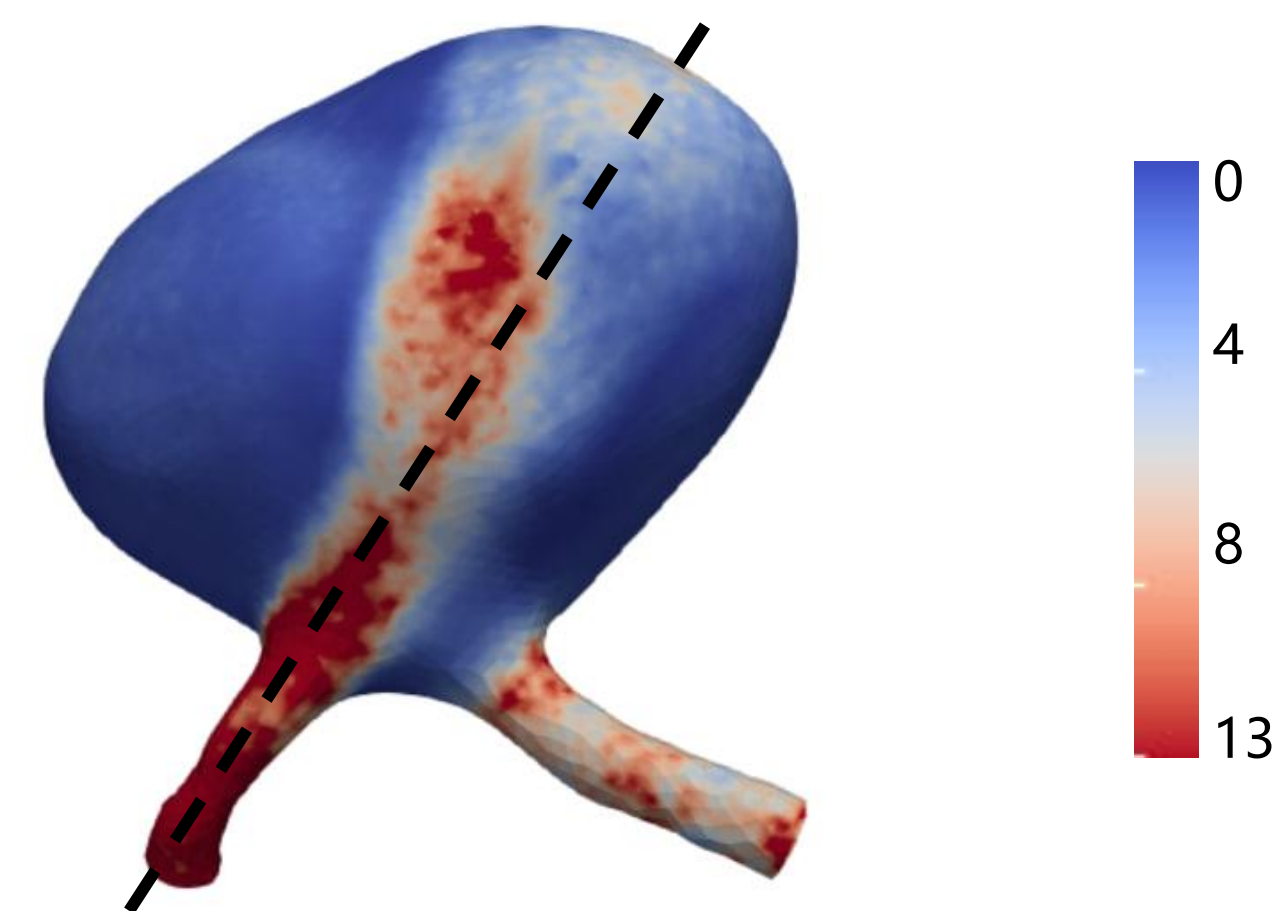
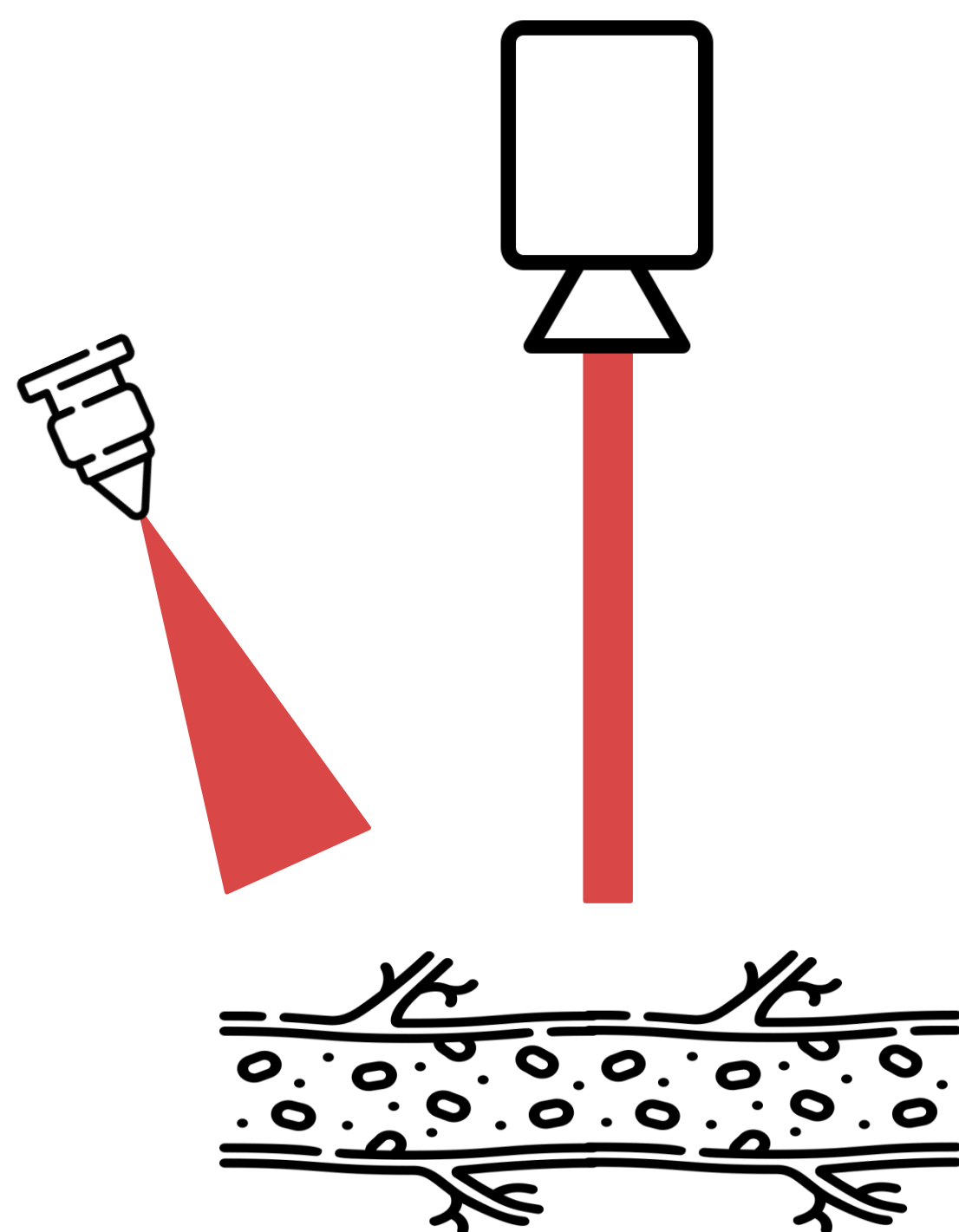


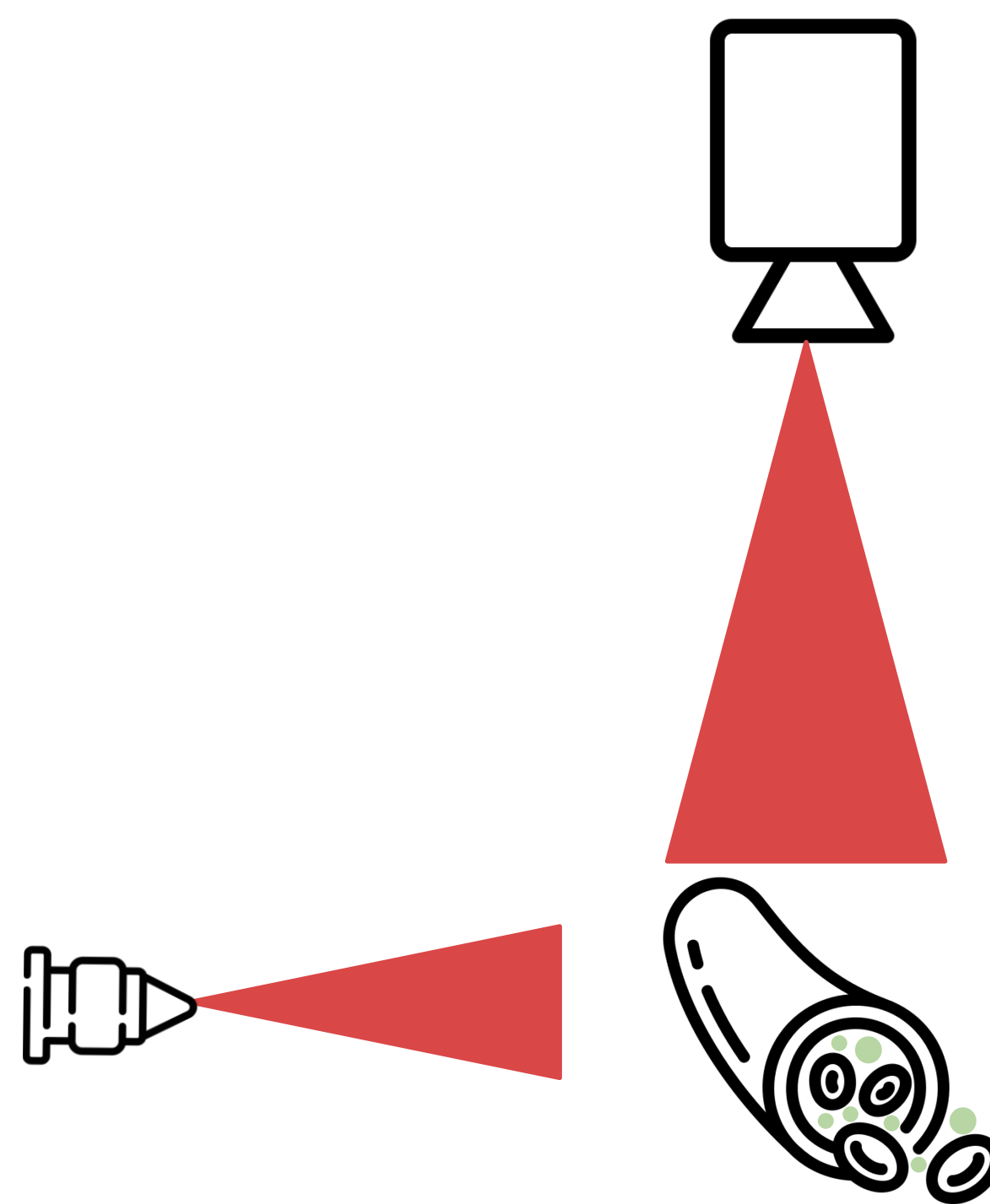
Рисунок 4 – Сдвиговые напряжения на стенках сосуда

Валидация CFD-модели

Лазерная спекл-контрастная визуализация (ЛСКВ) Laser speckle contrast imaging (LSCI)



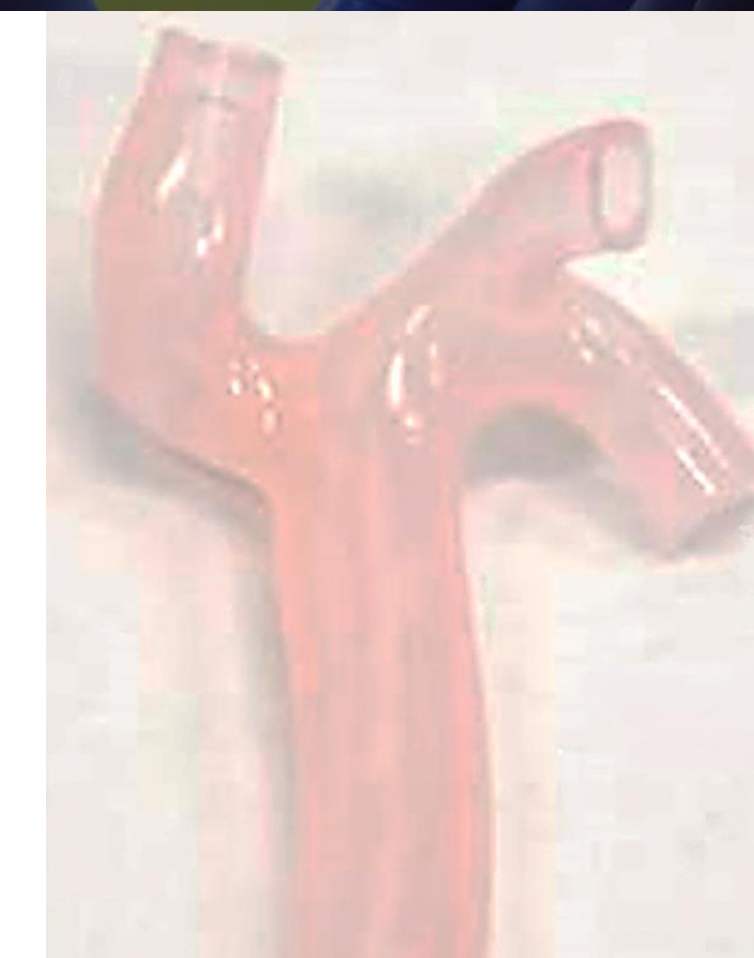
Цифровая трассерная велосиметрия Particle Image Velocimetry (PIV)



Технологии изготовления физических моделей сосудов



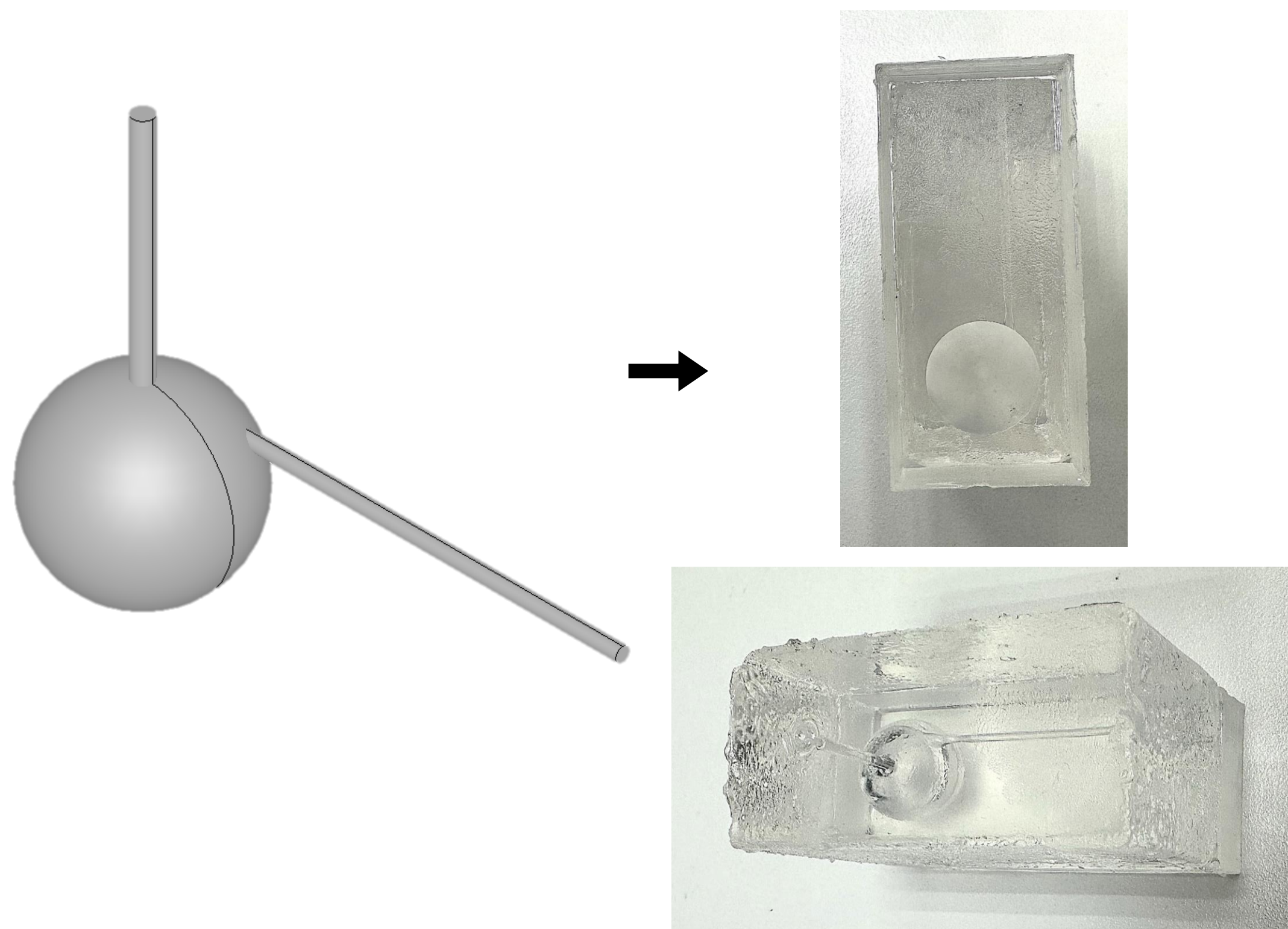
(1)



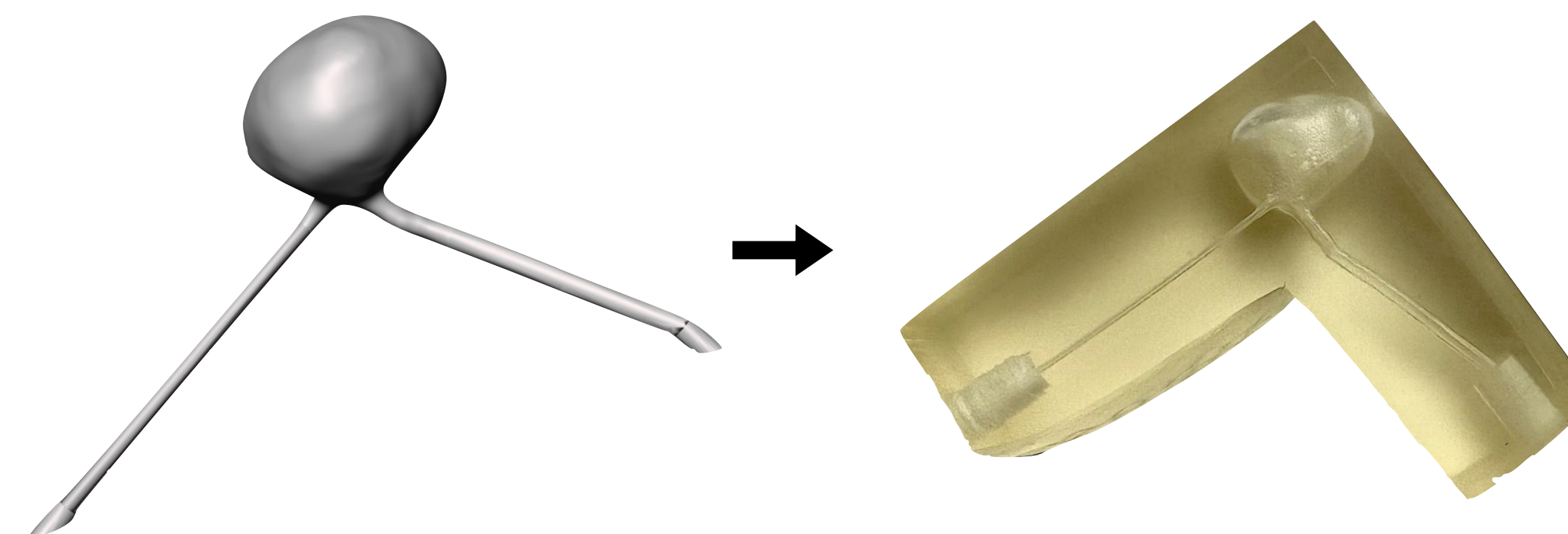
(2)

1. Takeshi Hayakawa, Hisataka Maruyama, Takafumi Watanabe, Fumihito Arai Three-Dimensional Blood Vessel Model with Temperature-Indicating Function for Evaluation of Thermal Damage during Surgery // Sensors - 2018 - №18 - P 345.
2. Daniel P.G. Nilsson, Madelene Holmgren, Petter Holmlund, Anders Wåhlin, Anders Eklund, Tobias Dahlberg, Krister Wiklund, Magnus Andersson Patient-specific brain arteries molded as a flexible phantom model using 3D printed water-soluble resin // Scientific Reports. - 2022. - №12

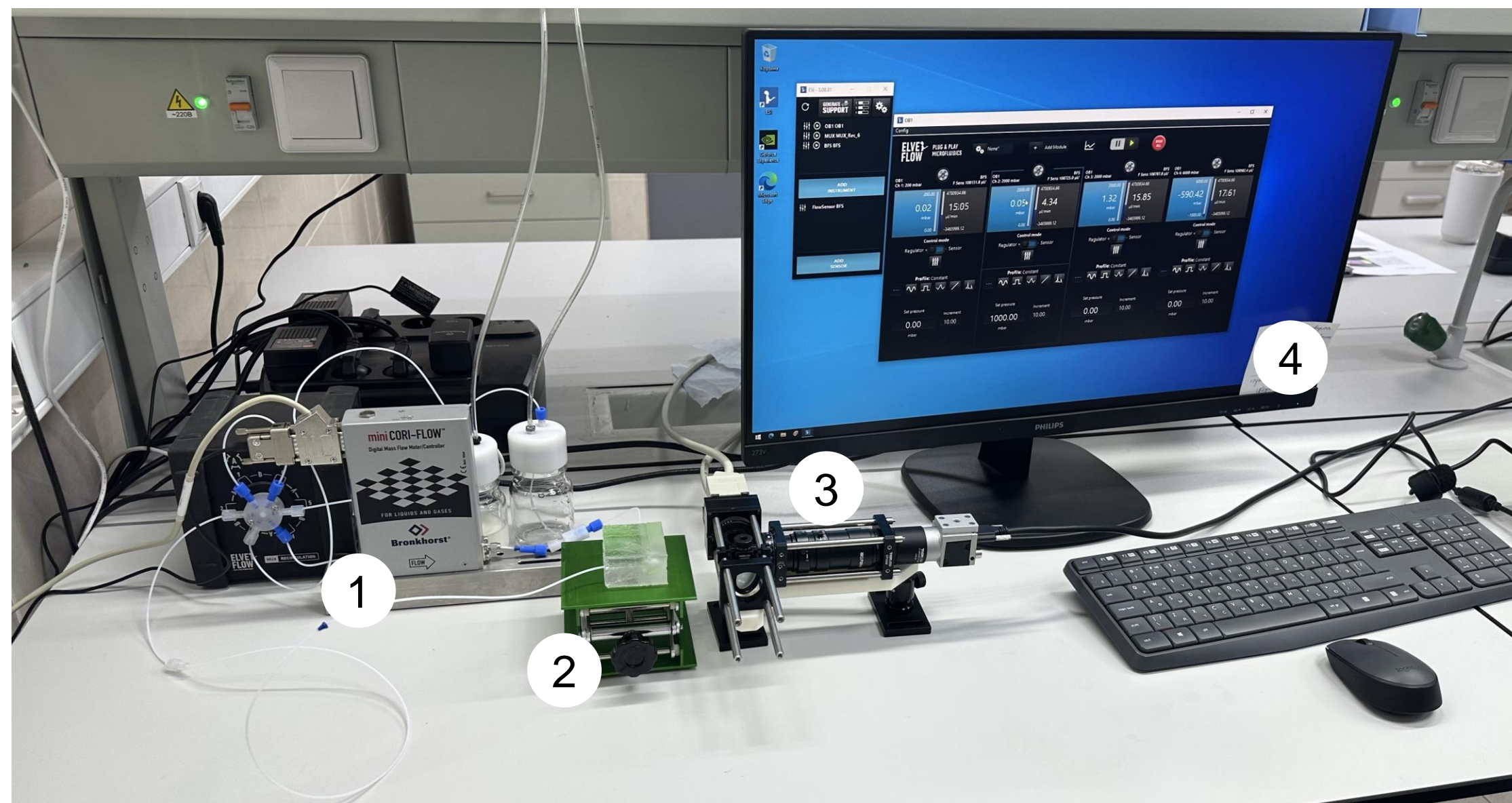
Фантом упрощенной модели



Фантом модели с реальной геометрией

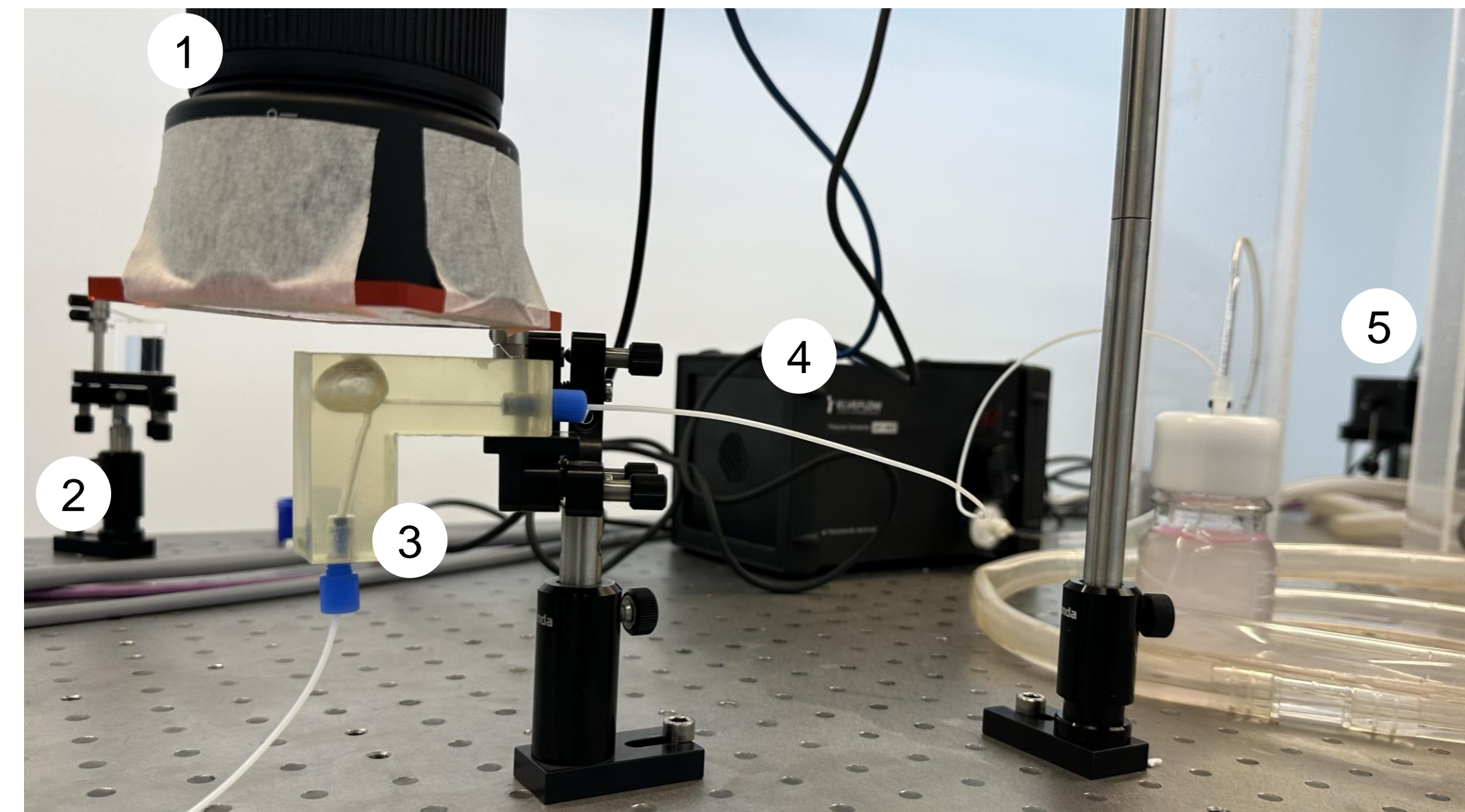


Стенд LSCI



1. Микрофлюидная система
2. Исследуемый образец
3. Лазерная установка
4. Компьютер с ПО для управления микрофлюидной системой

Стенд PIV



1. Камера
2. Система линз и зеркал
3. Исследуемый образец
4. Насос
5. Лазерная установка

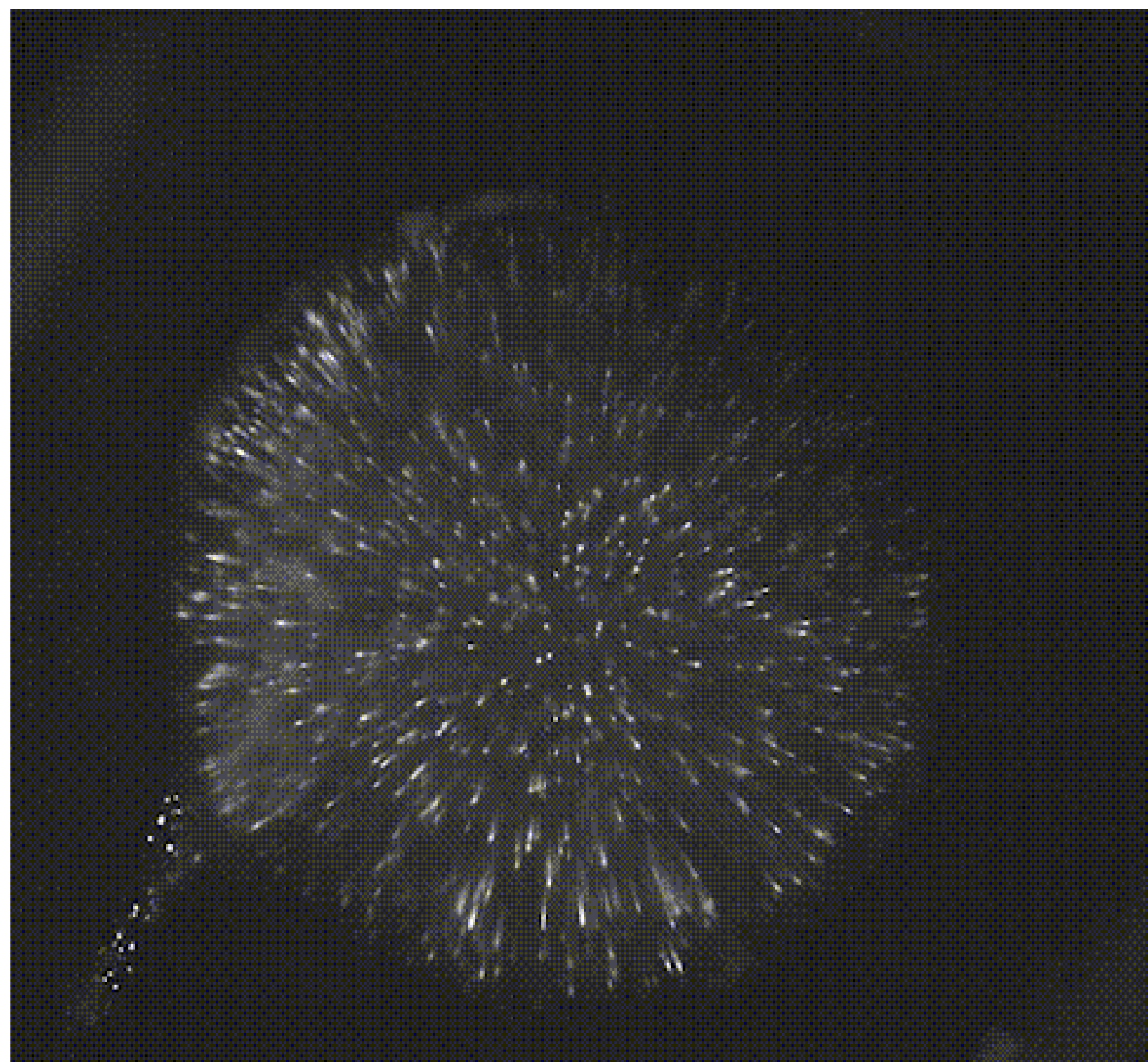


Рисунок 1 – Визуализация методом PIV

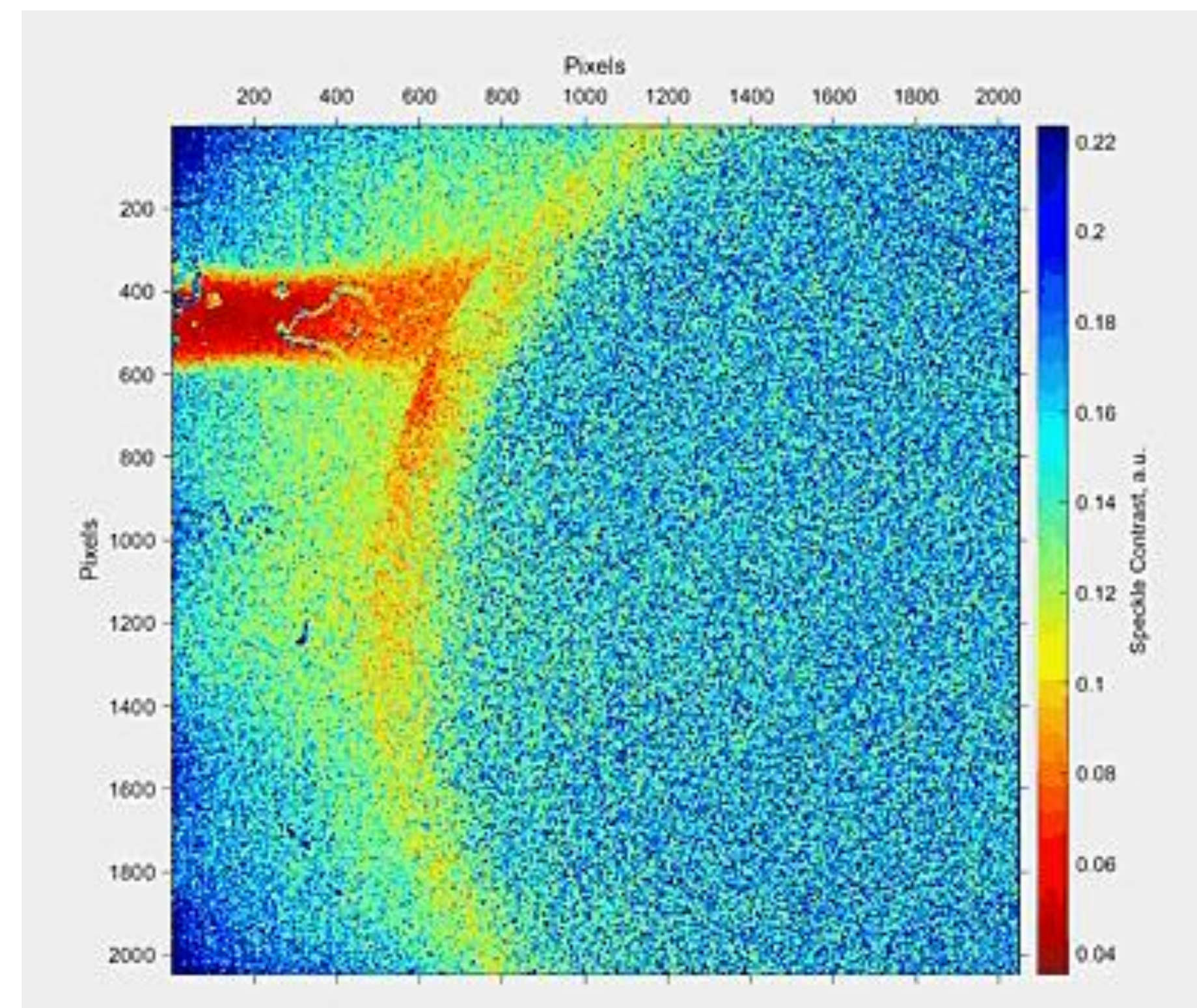
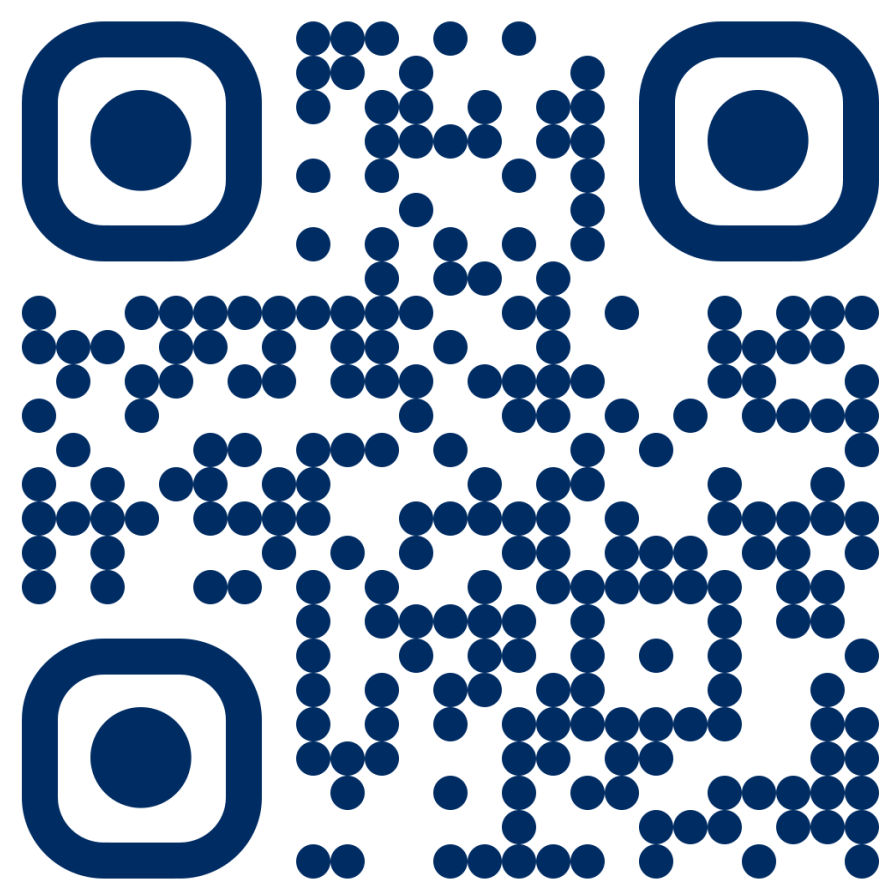
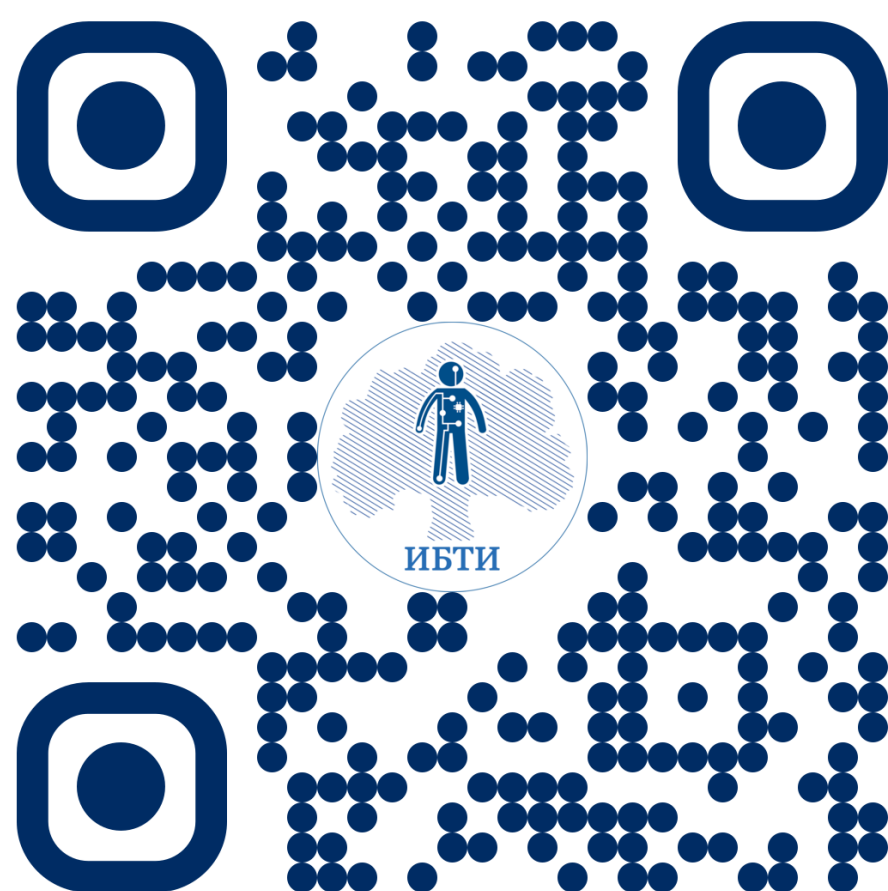


Рисунок 2 – Визуализация методом LSCI



Моделирование сосудов головного
мозга при церебральной анеризме

Горина Анастасия



Институт бионических
технологий и инжиниринга



Российский
научный фонд

Работа выполнена при финансовой поддержке

Российского Научного Фонда (проект № 22-65-00096).