

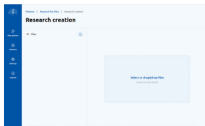
Восстановление сосудистых 3D-поверхностей для гемодинамического моделирования

Мустакимова Сальма Рушановна

Samsung Innovation Campus
Трек «Искусственный интеллект»

2026

1



Загрузка снимков

Врач загружает снимки с 4-мя контрастными фазами пациента

2



Выделение зоны интереса

Врач выбирает зону интереса для разметки

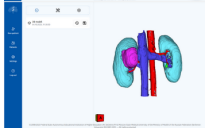
3



Отправка на сервер

Сервис выделяет анатомические структуры в течение нескольких минут

4



Работа с 3D моделью

Врач может работать с 3D моделью для изучения анатомических особенностей пациента

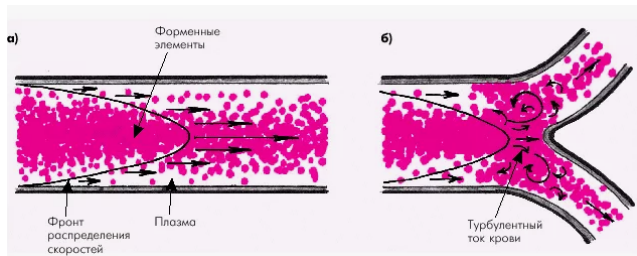
В январе 2026 года в России был одобрен первый цифровой ассистент для хирургических операций по удалению опухолей почек. Система, разработанная в Сеченовском университете, прошла регистрационную процедуру в Росздравнадзоре, благодаря чему фактически вышла на рынок. Эта платформа на основе искусственного интеллекта создает трехмерную модель органа пациента, что позволяет врачам детально планировать хирургическое вмешательство.

Гемодинамическое моделирование сосудистой системы

Гемодинамическое моделирование представляет собой численное исследование движения крови в сосудистой системе с использованием математических моделей.

Основные рассчитываемые параметры:

- скорость кровотока;
- давление;
- расход крови;
- напряжение сдвига на стенке сосуда;
- перфузионные характеристики органов.



Построение вычислительной модели

Для проведения гемодинамического моделирования необходимо получить геометрическую модель сосудистой системы.

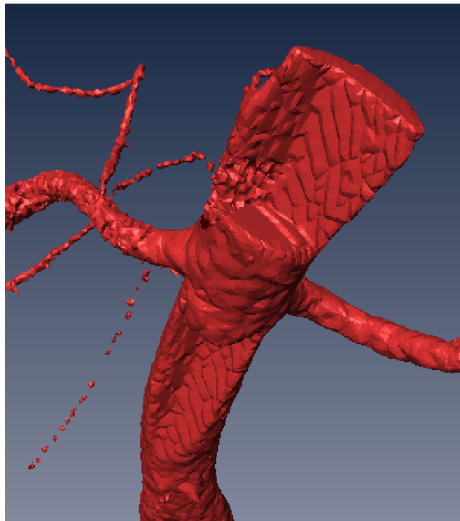


Проблемы сосудистых поверхностей

Несмотря на развитие алгоритмов сегментации, сосудистые поверхности часто содержат дефекты.

Наиболее распространённые проблемы:

- шум поверхности;
- неровные границы;
- локальные отверстия;
- разрывы поверхности;
- артефакты сегментации;
- лишние фрагменты;
- топологические ошибки.



Влияние дефектов на моделирование

Наличие дефектов геометрии может приводить к следующим последствиям:

- ошибки построения центральных линий;
- нестабильная генерация вычислительной сетки;
- ухудшение качества расчётов;
- необходимость ручной коррекции модели;
- увеличение времени подготовки пациента.

Проблема

Даже при наличии сосудистой поверхности её качество может быть недостаточным для дальнейшего моделирования.

Цель работы

Разработка метода восстановления сосудистых 3D-поверхностей на основе алгоритма SeMIGCN для повышения качества геометрии и подготовки её к последующему гемодинамическому моделированию.

Ожидаемый результат

- уменьшение количества артефактов;
- сохранение сосудистой структуры;
- повышение пригодности для вычислительного моделирования.

Существующие подходы к восстановлению сеток

Для обработки трёхмерных поверхностей используются различные группы методов.

- **Классическое восстановление сеток:** удаление вырожденных граней, исправление нормалей, закрытие отверстий.
- **Сглаживание сеток:** сглаживание поверхности и подавление локального шума.
- **Восстановление фрагментов:** восстановление отсутствующих участков поверхности.
- **Методы на основе обучения:** использование нейронных сетей для восстановления и улучшения геометрии.

Ограничение классических методов

Существующие методы требуют использования специализированного ПО и/или навыков, которыми врачи не владеют. Каждый случай нужно анализировать отдельно: понимать, что за дефект, и решать, что с этой сеткой делать.

SeMIGCN — это метод восстановления повреждённых трёхмерных поверхностей на основе графовой нейронной сети.

Название можно разложить на три части:

- **Self-supervised** — метод не требует заранее размеченного набора пар “плохая поверхность — хорошая поверхность”;
- **Mesh Inpainting** — восстановление отсутствующих или повреждённых участков 3D-поверхности;
- **Graph Convolutional Network** — работа с mesh как с графом, где вершины связаны рёбрами.

Идея метода

На поверхности искусственно создаются дефекты, после чего сеть обучается восстанавливать исходную геометрию.

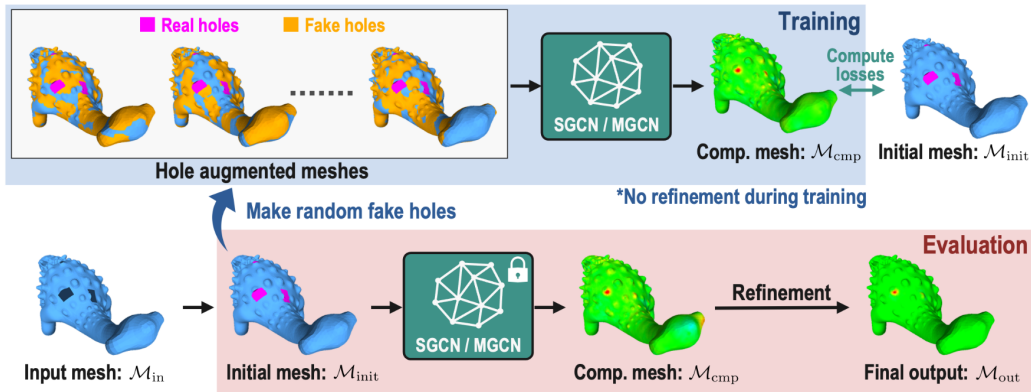


Рис.: Схема работы SeMIGCN

Почему выбран SeMIGCN

SeMIGCN — самообучаемое восстановление фрагментов поверхности, предназначенное для восстановления дефектных трёхмерных поверхностей.

Причины выбора метода:

- не требует большого датасета эталонных поверхностей;
- может обучаться на одной неполной поверхности;
- подходит для восстановления локальных дефектов mesh;
- использует структуру сетки при обработке поверхности;
- может быть адаптирован к медицинским сосудистым моделям.

Главное преимущество

Метод позволяет работать в условиях отсутствия идеального ground truth для каждой сосудистой модели.

Постановка задачи

Входные данные:

- сосудистая 3D-поверхность (OBJ, STL, PLY);

Источник данных: Институт урологии и репродуктивного здоровья человека Сеченовского университета

Требуется получить:

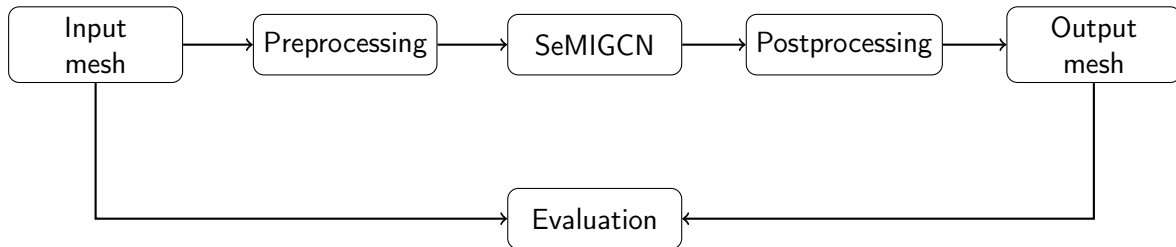
- улучшенную поверхность;
- меньшее количество локальных дефектов;
- сохранённую сосудистую структуру;
- данные, пригодные для дальнейшего анализа.

Важно

Метод не восстанавливает клинически истинную анатомию, а улучшает качество уже построенной геометрической модели.

Архитектура решения

Разработанный пайплайн состоит из нескольких этапов.



Каждый этап сохраняет промежуточные результаты и отчёты для последующего анализа.

Критерии оценки качества

Основная цель проекта — подготовить сосудистую поверхность для построения центральных линий и гемодинамического моделирования.

Оцениваем следующие характеристики:

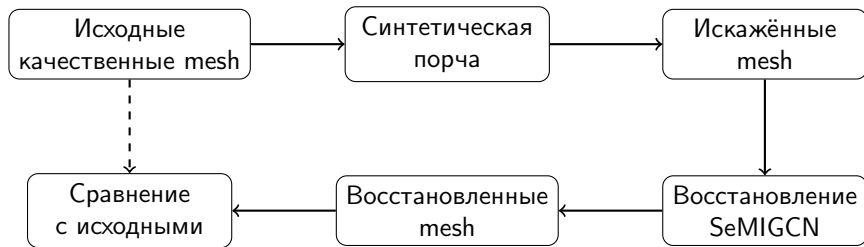
- **Связность поверхности**
 - количество отдельных фрагментов модели.
- **Топологическая корректность**
 - наличие отверстий и дефектов поверхности.
- **Гладкость поверхности**
 - уменьшение шумов и артефактов сегментации.

Главный критерий

Наиболее важным результатом является возможность корректного построения центральных линий после восстановления поверхности.

Схема валидации метода

Для оценки качества восстановления используются сосудистые модели, на которых исходно корректно строятся центральные линии и выполняется моделирование.



Идея эксперимента

Исходные качественные сосудистые поверхности рассматриваются как условный эталон. После искусственного внесения дефектов метод должен восстановить поверхность, максимально близкую к первоначальной.

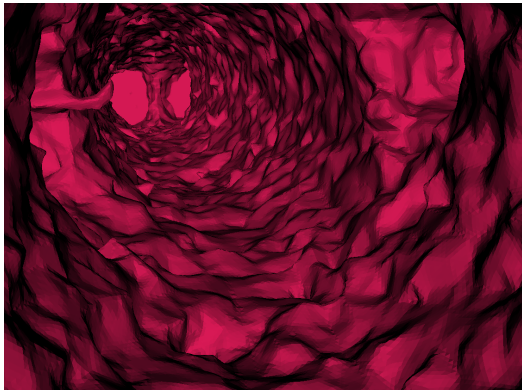


Рис.: Исходная поверхность

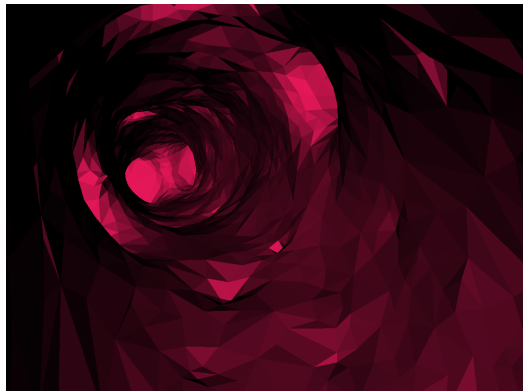
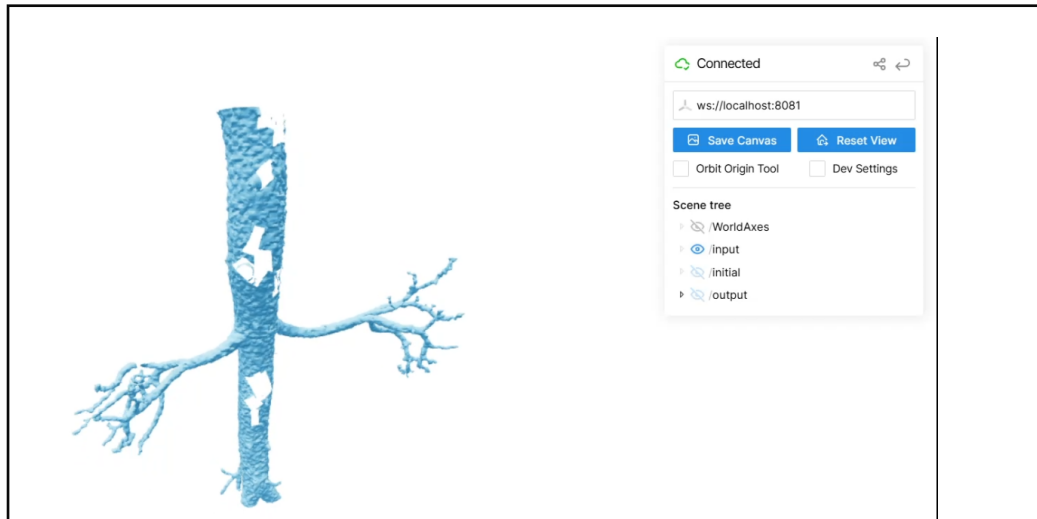


Рис.: После восстановления



Основные достоинства решения:

- не требуется большой обучающий датасет;
- отсутствует необходимость повторной сегментации КТ;
- используется уже построенная сосудистая геометрия;
- автоматизирован процесс восстановления поверхности;
- возможно пакетное применение к группе пациентов;
- результаты сопровождаются системой количественной оценки качества.

Несмотря на преимущества, метод имеет ряд ограничений.

- отсутствует гарантированная клиническая достоверность восстановленной геометрии;
- результат зависит от качества исходного mesh;
- возможно ухудшение отдельных характеристик поверхности;
- визуальное улучшение не всегда означает улучшение для моделирования;
- требуется дополнительная валидация результатов специалистом.

Важно

Метод рассматривается как инструмент повышения качества геометрии, а не как замена медицинской сегментации.

1. Текущий этап: восстановление сосудистой поверхности

2. Валидация

3. Проверка построения центральных линий

4. Гемодинамическое моделирование

5. Интеграция в клинический пайплайн

6. End-to-end: КТ → модель → расчёт

Конечная цель

Переход от ручной подготовки сосудистых моделей к автоматическому конвейеру для гемодинамического анализа.

Заключение

В работе предлагается подход к восстановлению сосудистых 3D-поверхностей на основе метода SeMIGCN.

Основные особенности проекта:

- использование существующих сосудистых mesh;
- отказ от повторной обработки КТ-изображений;
- автоматическое улучшение качества поверхности;
- комплексная система оценки результата;
- ориентация на последующее гемодинамическое моделирование.

Главная идея

Повышение качества сосудистой геометрии позволяет упростить подготовку данных для дальнейших вычислительных исследований кровотока.