

Персонализация электрофизиологических моделей в вычислительной платформе CarNum

А.А. Данилов, А.А.Лёгкий, Ф.А.Сёмин, А.Ю.Чернышенко

ИВМ РАН, Сеченовский университет, Университет Сириус, МФТИ, НИИ Механики МГУ

XV конференция “Математические модели и численные методы в биологии и медицине”

Прямое моделирование ЭКГ

Сегментация КТ снимков

File Edit Segmentation Workspace Tools Help

ITK-SNAP Toolbox **SEGMENT 75% 0.00s Cardiac 0.5 CE SEGMENT CTA 75%**

Main Toolbar

Cursor Inspector

Cursor position (x,y,z):
257 257 258

Intensity under cursor:
Layer Intensity
SEGMENT 75% 0... 703

Label under cursor:
5 Label5

Segmentation Labels

Active label:
Label 10

Paint over:
Clear Label

Overall label opacity:
0

3D Toolbar

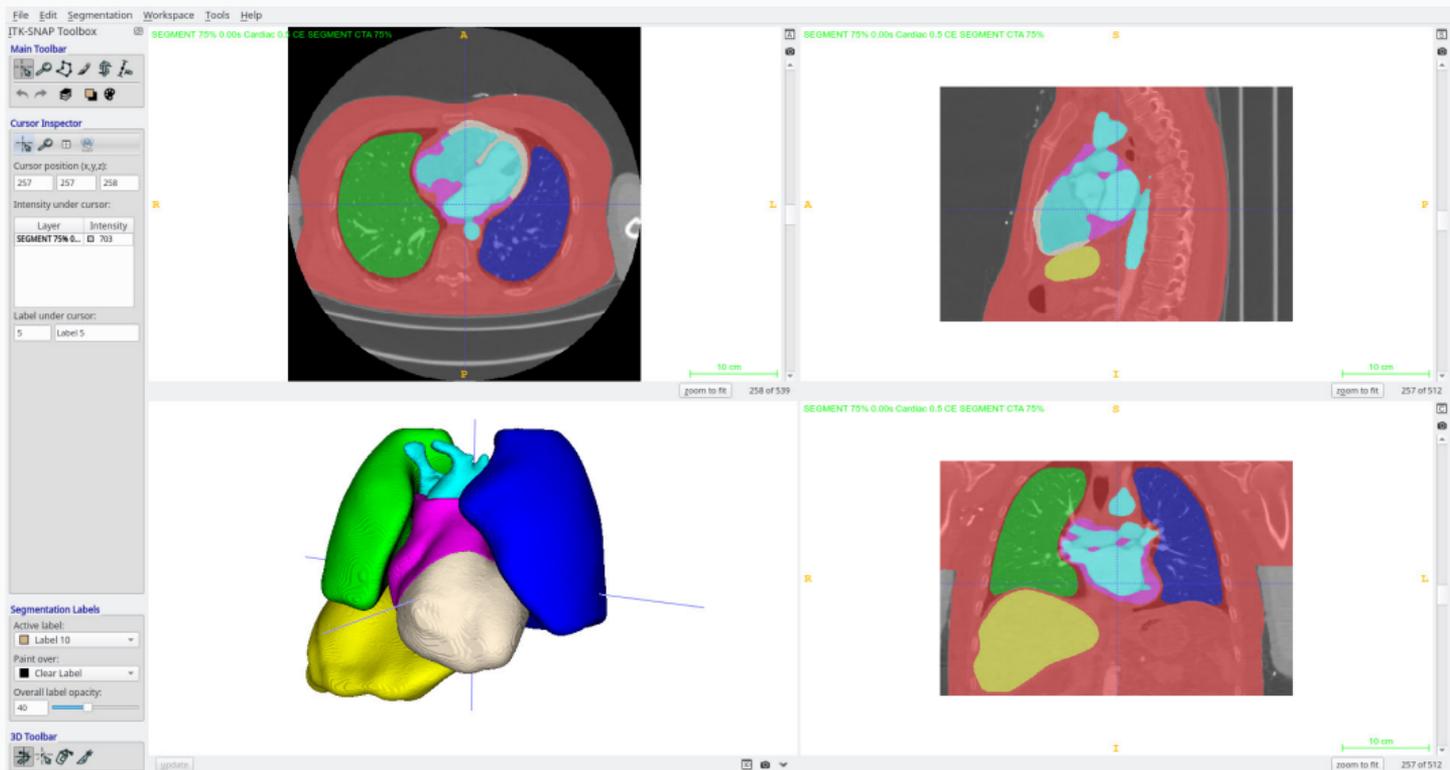
update

10 cm zoom to fit 258 of 539

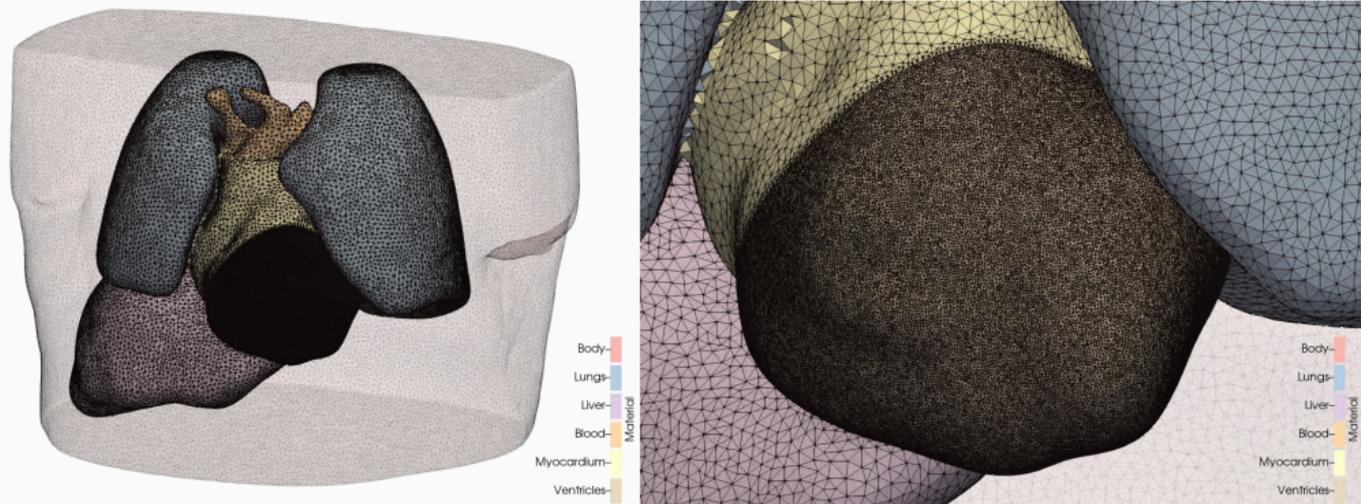
10 cm zoom to fit 257 of 512

10 cm zoom to fit 257 of 512

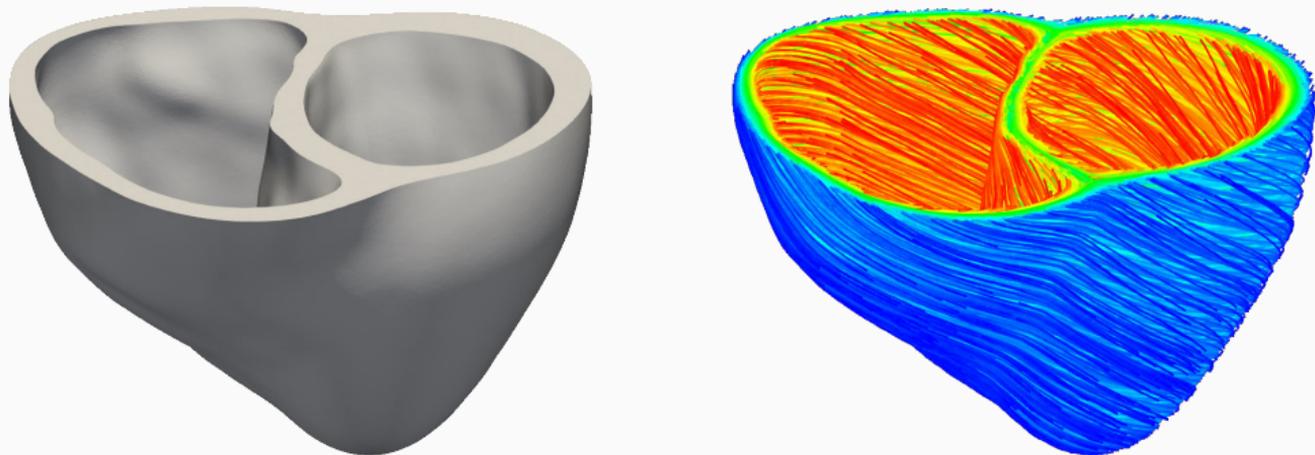
Сегментация КТ снимков



Модель торса и сердца для вычислительной электрофизиологии

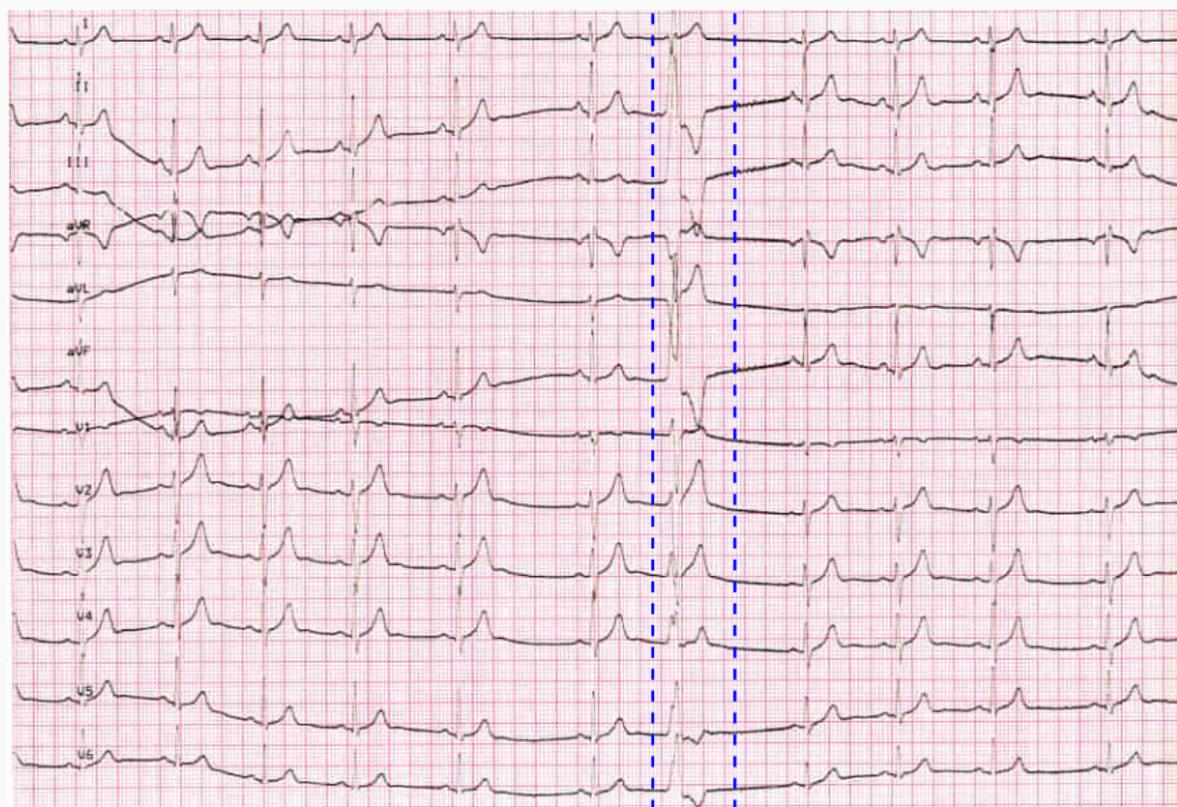


Расчетная сетка для торса: 5.97M ячеек, 981K вершин

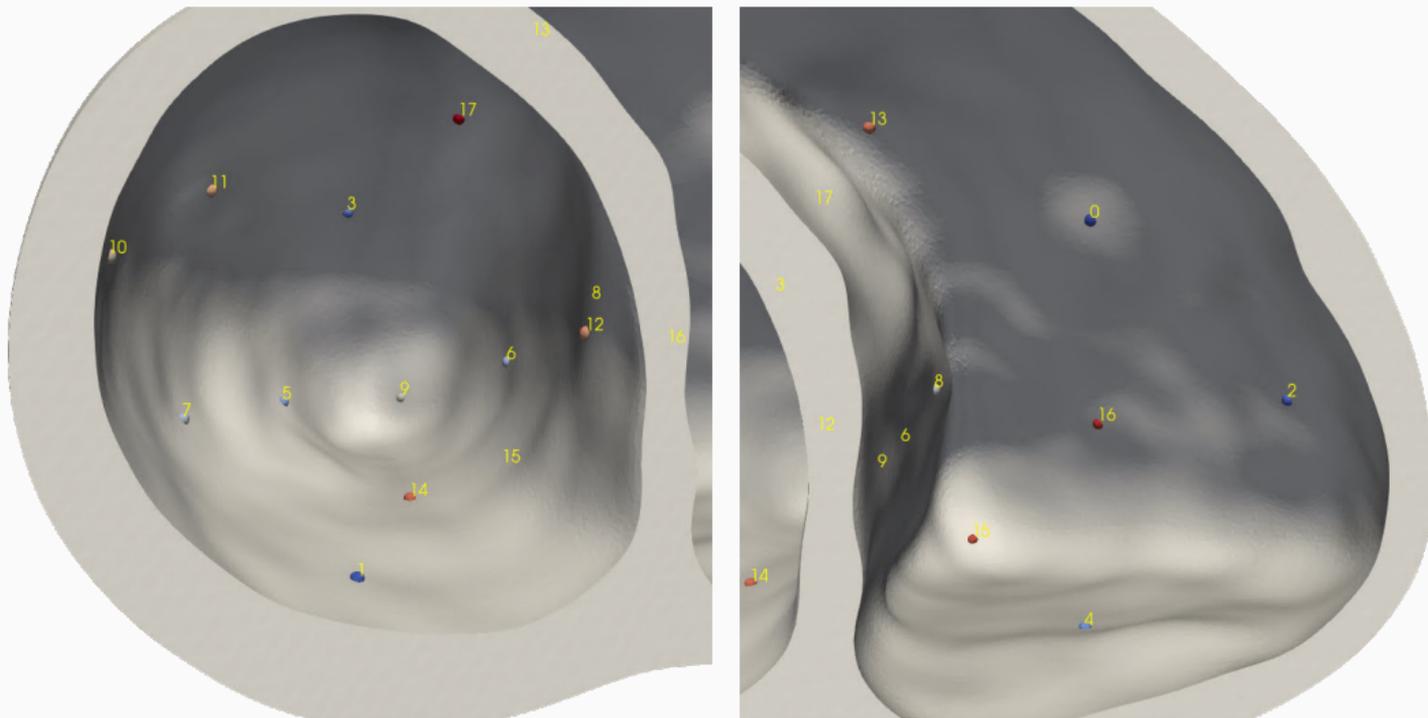


Расчетная сетка для желудочков сердца: 2.47М ячеек, 440К вершин

12-канальная ЭКГ: клинические данные

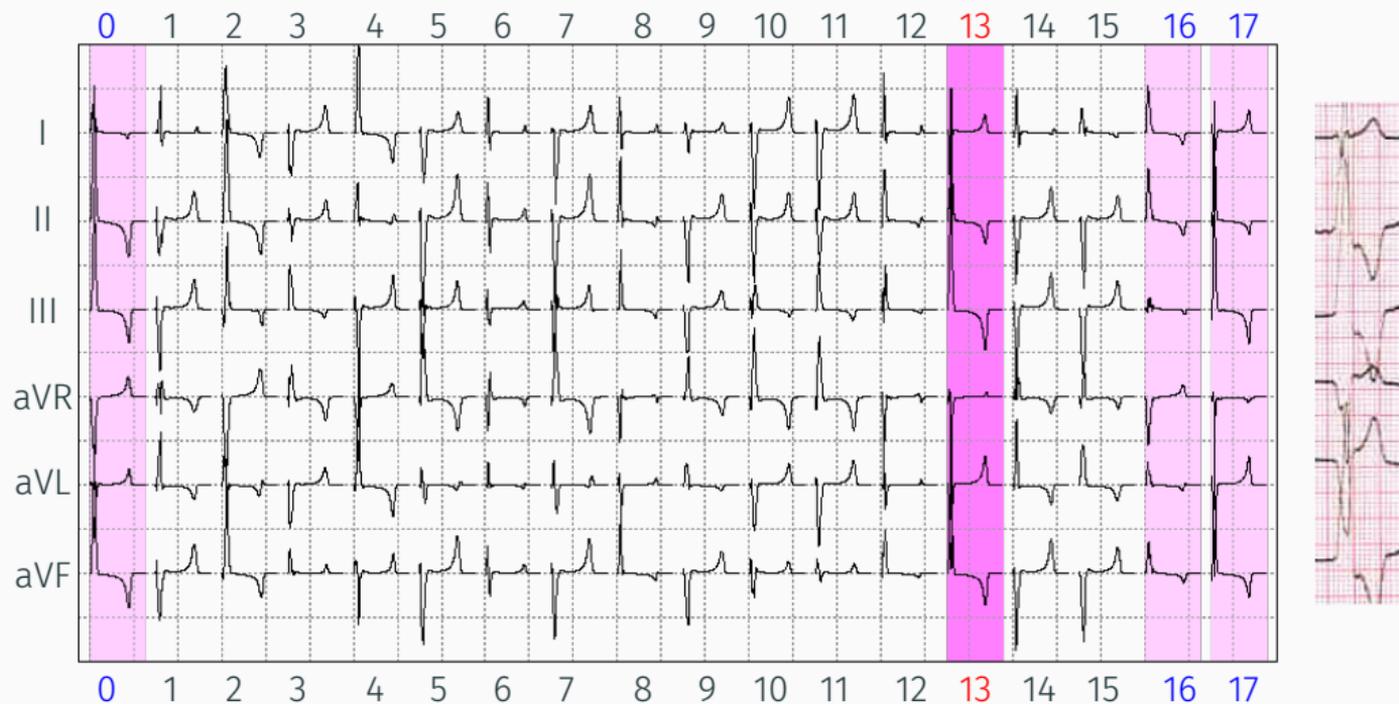


Положение возможных источников



18 положений виртуальных электродов в ЛЖ и ПЖ

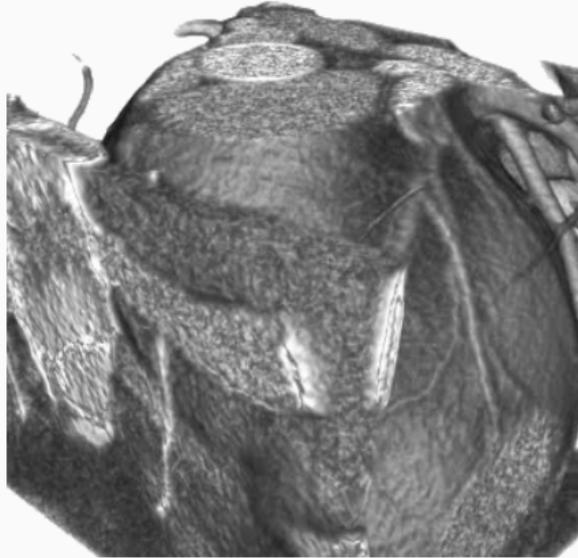
12-канальная ЭКГ: виртуальные данные



12-канальная ЭКГ: виртуальные данные

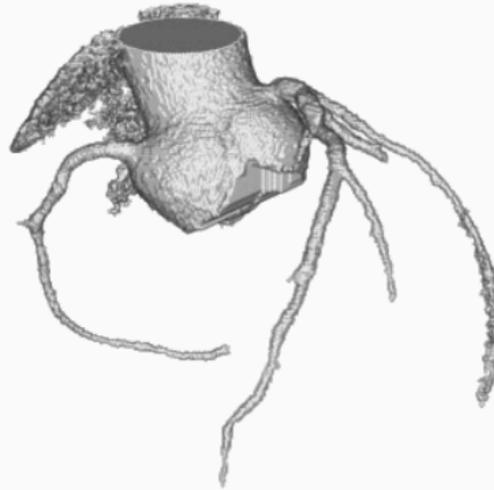


Сегментация изображений



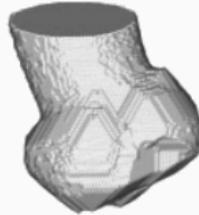
Yu. Vassilevski, T. Gamilov, A. Danilov, G. Kopytov, S. Simakov.

A Web-Based Non-invasive Estimation of Fractional Flow Reserve (FFR): Models, Algorithms, and Application in Diagnostics. 2023, doi.org/10.1007/978-3-031-33050-6_18



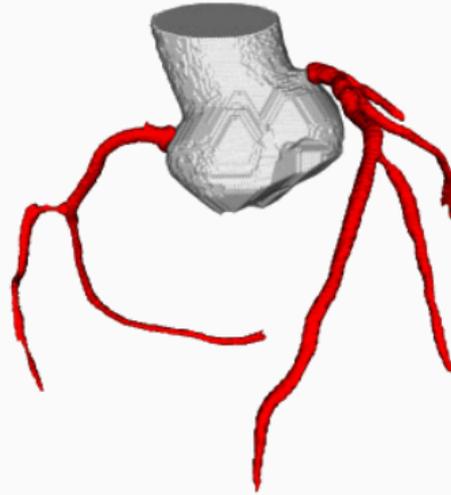
Yu. Vassilevski, T. Gamilov, A. Danilov, G. Kopytov, S. Simakov.

A Web-Based Non-invasive Estimation of Fractional Flow Reserve (FFR): Models, Algorithms, and Application in Diagnostics. 2023, doi.org/10.1007/978-3-031-33050-6_18



Yu. Vassilevski, T. Gamilov, A. Danilov, G. Kopytov, S. Simakov.

A Web-Based Non-invasive Estimation of Fractional Flow Reserve (FFR): Models, Algorithms, and Application in Diagnostics. 2023, doi.org/10.1007/978-3-031-33050-6_18



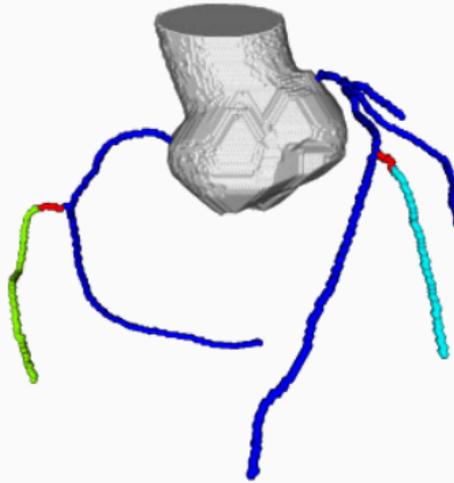
Yu. Vassilevski, T. Gamilov, A. Danilov, G. Kopytov, S. Simakov.

A Web-Based Non-invasive Estimation of Fractional Flow Reserve (FFR): Models, Algorithms, and Application in Diagnostics. 2023, doi.org/10.1007/978-3-031-33050-6_18



Yu. Vassilevski, T. Gamilov, A. Danilov, G. Kopytov, S. Simakov.

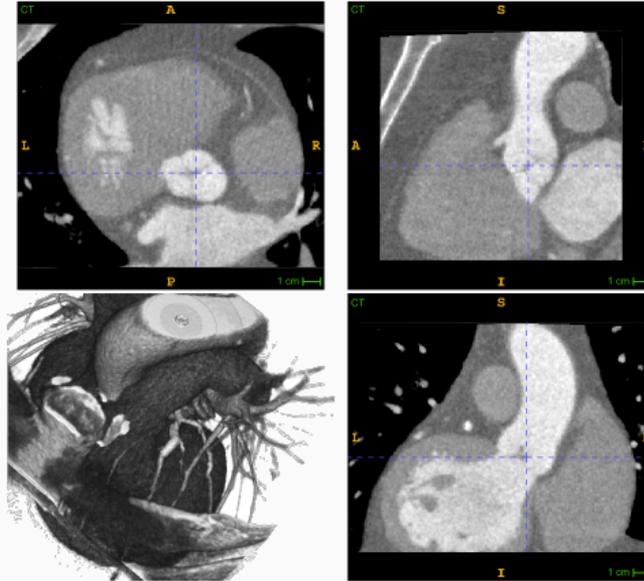
A Web-Based Non-invasive Estimation of Fractional Flow Reserve (FFR): Models, Algorithms, and Application in Diagnostics. 2023, doi.org/10.1007/978-3-031-33050-6_18



Yu. Vassilevski, T. Gamilov, A. Danilov, G. Kopytov, S. Simakov.

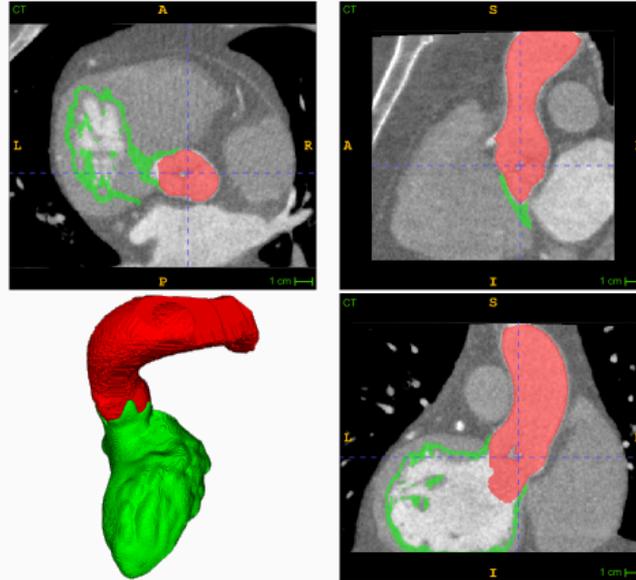
A Web-Based Non-invasive Estimation of Fractional Flow Reserve (FFR): Models, Algorithms, and Application in Diagnostics. 2023, doi.org/10.1007/978-3-031-33050-6_18

Автоматизированная сегментация и разбиение левого желудочка

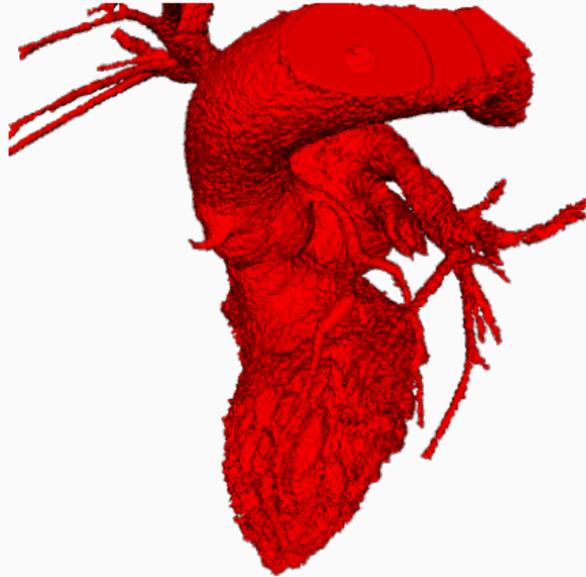


A.A. Danilov, T.M. Gamilov, F. Liang, A.A. Rebrova, P.Sh. Chomakhidze, Ph.Yu. Kopylov, Y.R. Bravyi, S.S. Simakov. Myocardial perfusion segmentation and partitioning methods in personalized models of coronary blood flow. *RJNMM*, 2023, 38(5):293–302

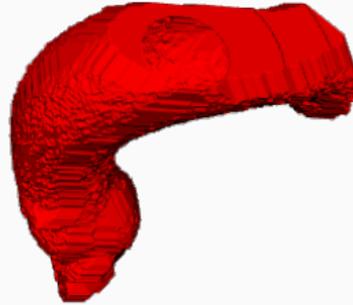
Автоматизированная сегментация и разбиение левого желудочка



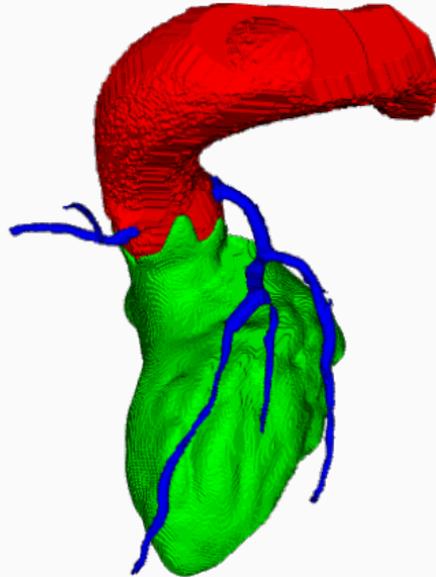
A.A. Danilov, T.M. Gamilov, F. Liang, A.A. Rebrova, P.Sh. Chomakhidze, Ph.Yu. Kopylov, Y.R. Bravyi, S.S. Simakov. Myocardial perfusion segmentation and partitioning methods in personalized models of coronary blood flow. *RJNMM*, 2023, 38(5):293–302



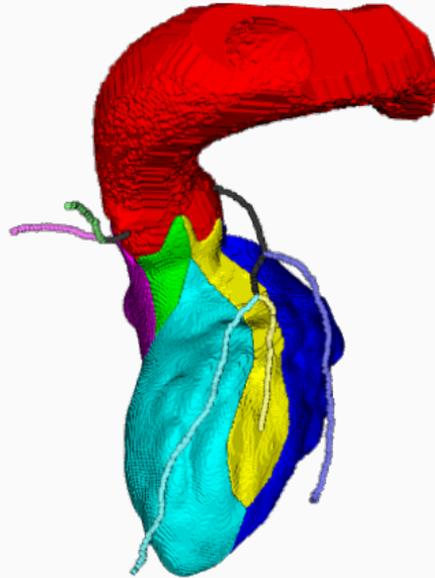
A.A. Danilov, T.M. Gamilov, F. Liang, A.A. Rebrova, P.Sh. Chomakhidze, Ph.Yu. Kopylov, Y.R. Bravyi, S.S. Simakov. Myocardial perfusion segmentation and partitioning methods in personalized models of coronary blood flow. RJNAMM, 2023, 38(5):293–302



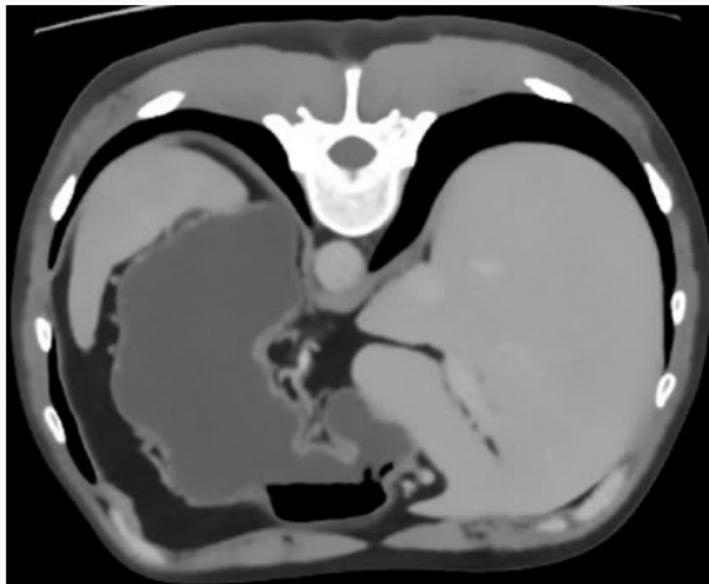
A.A. Danilov, T.M. Gamilov, F. Liang, A.A. Rebrova, P.Sh. Chomakhidze, Ph.Yu. Kopylov, Y.R. Bravyi, S.S. Simakov. Myocardial perfusion segmentation and partitioning methods in personalized models of coronary blood flow. *RJNAMM*, 2023, 38(5):293–302



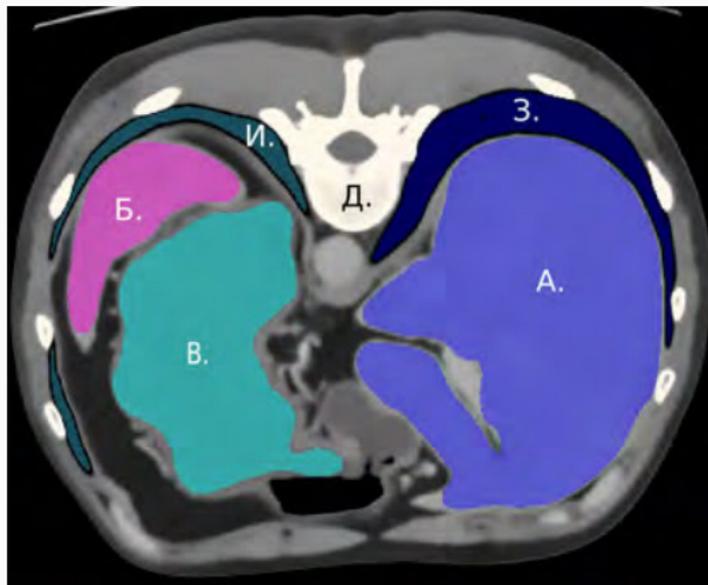
A.A. Danilov, T.M. Gamilov, F. Liang, A.A. Rebrova, P.Sh. Chomakhidze, Ph.Yu. Kopylov, Y.R. Bravyi, S.S. Simakov. Myocardial perfusion segmentation and partitioning methods in personalized models of coronary blood flow. RJNAMM, 2023, 38(5):293–302



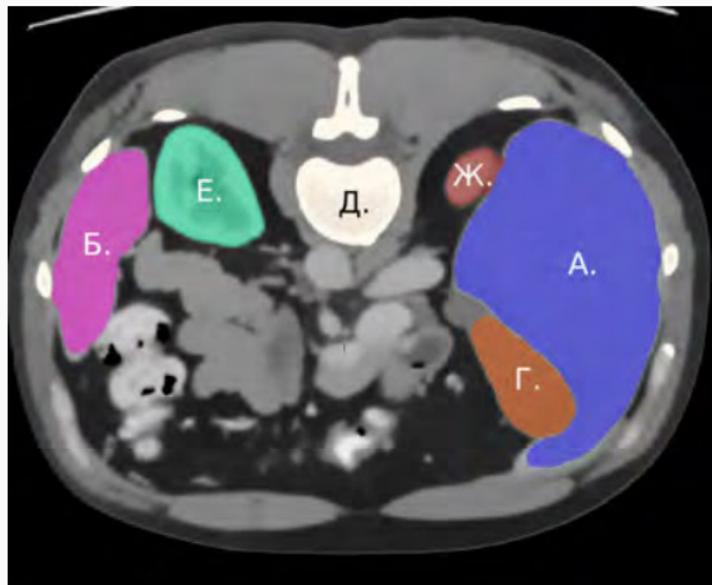
A.A. Danilov, T.M. Gamilov, F. Liang, A.A. Rebrova, P.Sh. Chomakhidze, Ph.Yu. Kopylov, Y.R. Bravyi, S.S. Simakov. Myocardial perfusion segmentation and partitioning methods in personalized models of coronary blood flow. RJNAMM, 2023, 38(5):293–302



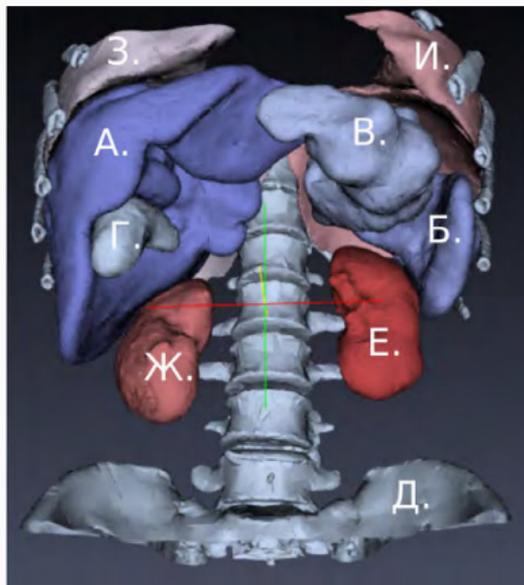
А.С. Юрова. Методы автоматизированной сегментации КТ-изображений брюшной полости.
Дисс. к.ф.-м.н., ИВМ РАН, 2018



А.С. Юрова. Методы автоматизированной сегментации КТ-изображений брюшной полости.
Дисс. к.ф.-м.н., ИВМ РАН, 2018



А.С. Юрова. Методы автоматизированной сегментации КТ-изображений брюшной полости.
Дисс. к.ф.-м.н., ИВМ РАН, 2018



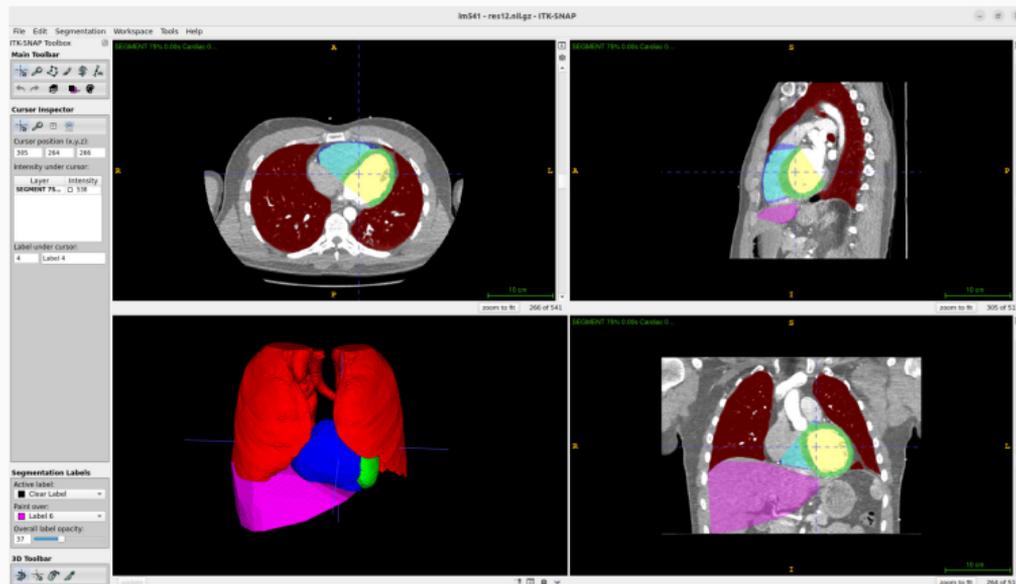
А.С. Юрова. Методы автоматизированной сегментации КТ-изображений брюшной полости.
Дисс. к.ф.-м.н., ИВМ РАН, 2018

Методы сегментации остальных органов и тканей



П.А. Селина. Персонализированное моделирование ЭКГ у пациентов с желудочковой экстрасистолией. Дипломная работа, МФТИ, 2023

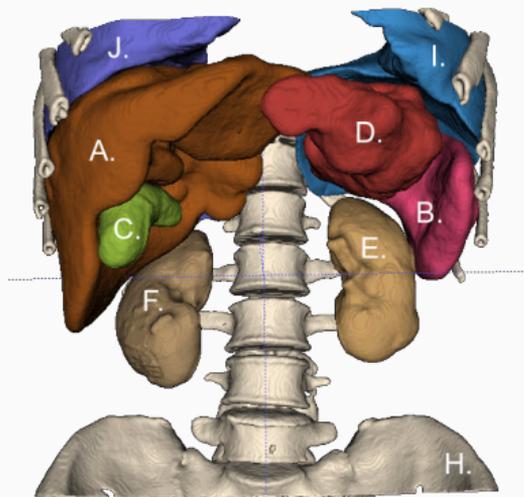
Методы сегментации остальных органов и тканей



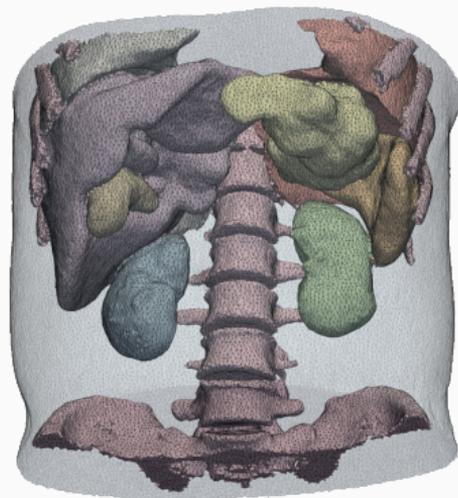
П.А. Селина. Персонализированное моделирование ЭКГ у пациентов с желудочковой экстрасистолией. Дипломная работа, МФТИ, 2023

Построение расчетных сеток

Сегментированная модель

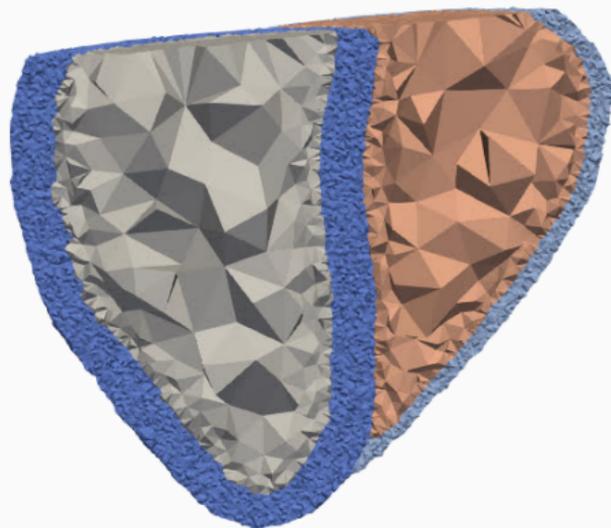


Неструктурированная сетка



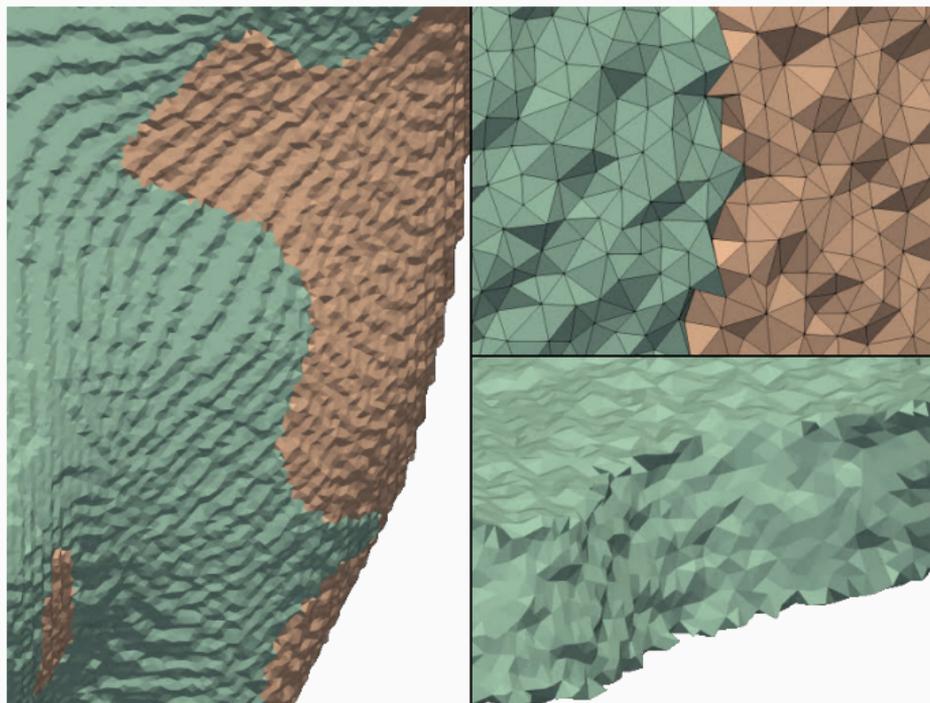
165 тыс. вершин, 876 тыс. тетраэдров

A.A. Danilov, A.S. Yurova. Segmentation of abdominal computed tomography scans using analysis of texture features and its application to personalized forward electrocardiography modeling. 2019, doi.org/10.1007/978-3-030-23436-2_17

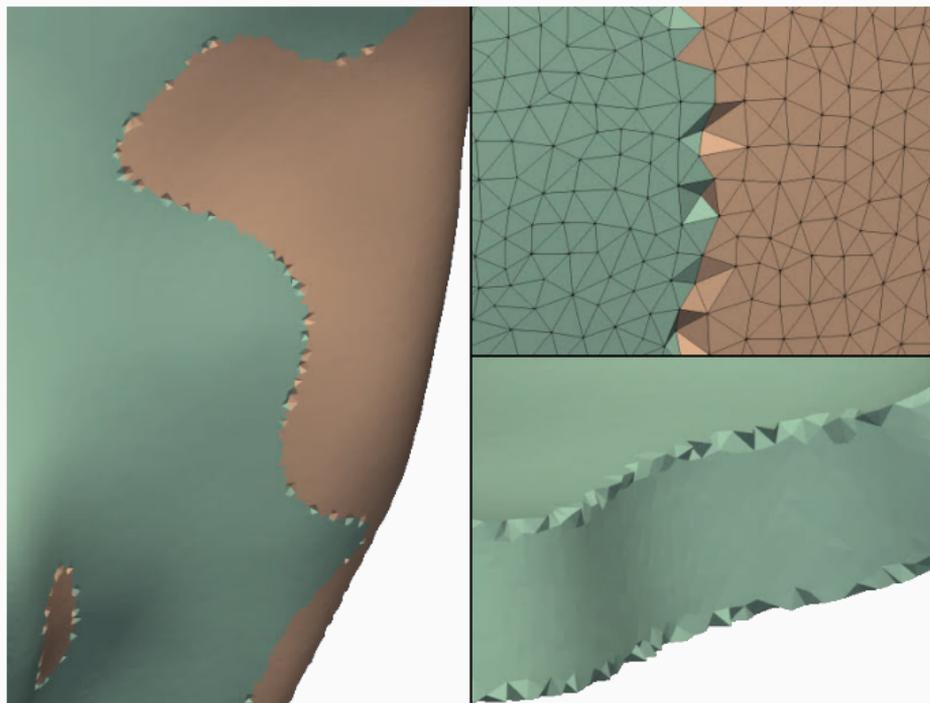


П.А. Селина. Персонализированное моделирование ЭКГ у пациентов с желудочковой экстрасистолией. Дипломная работа, МФТИ, 2023

Сглаживание поверхности сетки для стенок желудочков и предсердий

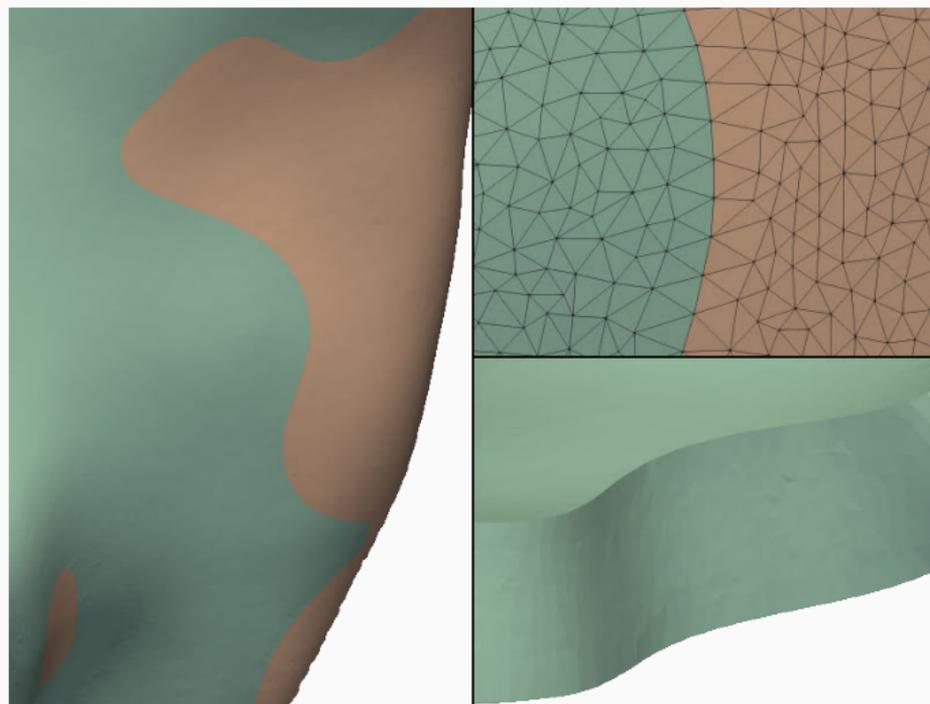


CGAL Mesh: наивный подход



CGAL Mesh: сглаживание характеристической функции

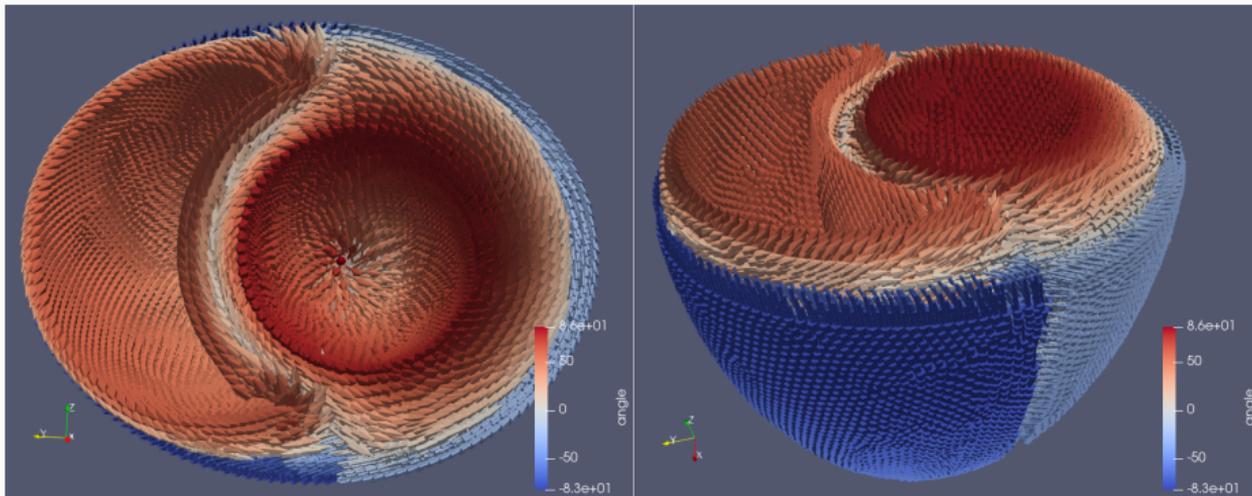
Сглаживание поверхности сетки для стенок желудочков и предсердий



CGAL Mesh: сглаживание функции и добавление криволинейных особенностей

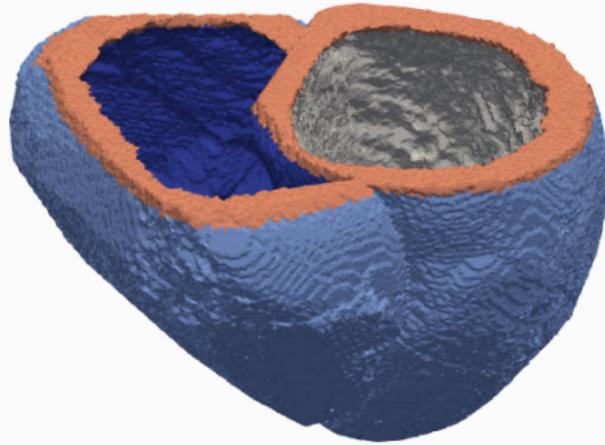
Накрутка волокон миокарда

Накрутка волокон в желудочках

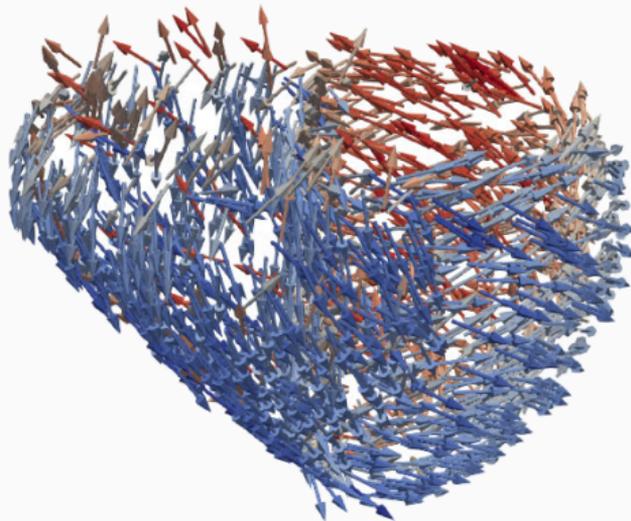


Пакет ldrb: <https://github.com/finsberg/ldrb>

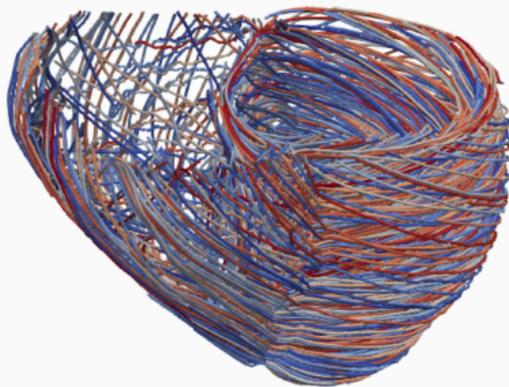
J.D. Bayer, R.C. Blake, G. Plank, N.A. Trayanova. A novel rule-based algorithm for assigning myocardial fiber orientation to computational heart models. *Annals of biomedical engineering*, 2012, 40(10):2243–2254



П.А. Селина. Персонализированное моделирование ЭКГ у пациентов с желудочковой экстрасистолией. Дипломная работа, МФТИ, 2023

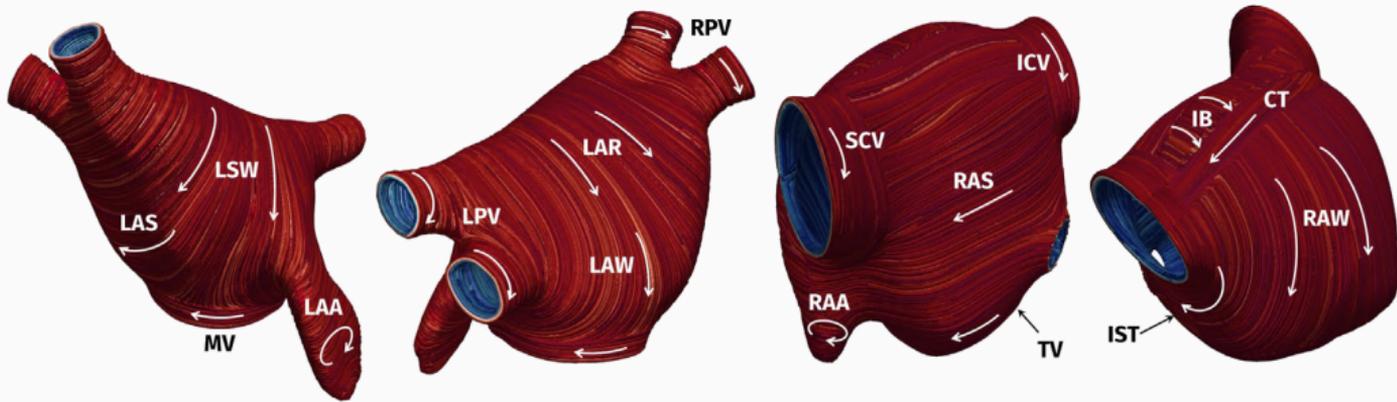


П.А. Селина. Персонализированное моделирование ЭКГ у пациентов с желудочковой экстрасистолией. Дипломная работа, МФТИ, 2023

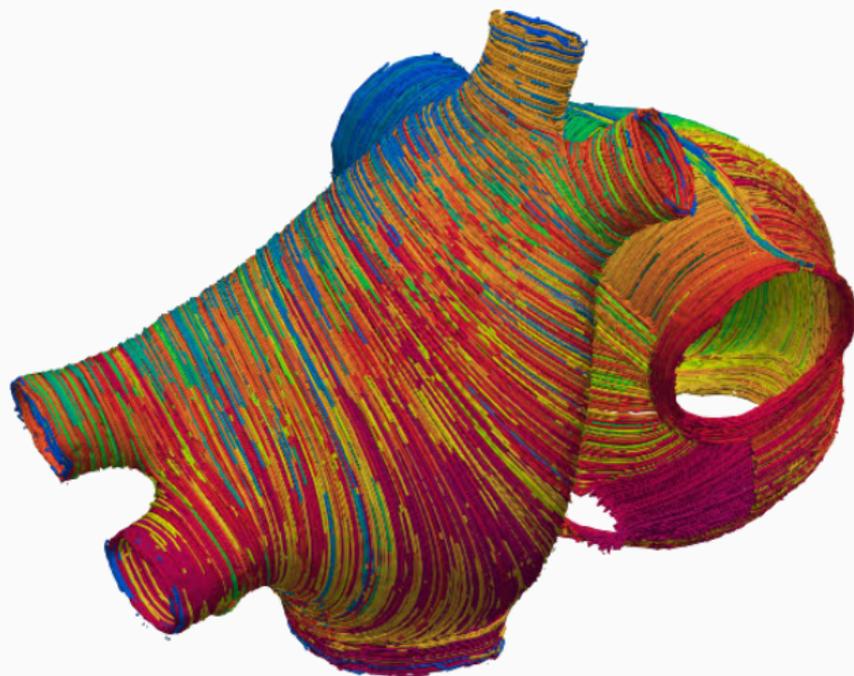


П.А. Селина. Персонализированное моделирование ЭКГ у пациентов с желудочковой экстрасистолией. Дипломная работа, МФТИ, 2023

Накрутка волокон в предсердиях

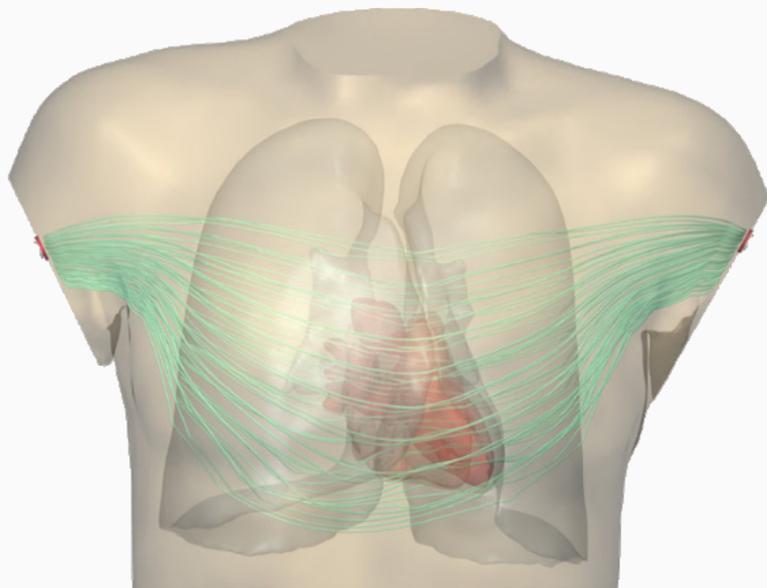


R. Piersanti, P.C. Africa, M. Fedele, C. Vergara, L. Dedè, A.F. Corno, A. Quarteroni. Modeling cardiac muscle fibers in ventricular and atrial electrophysiology simulations. *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.* 2021, 373:113468.

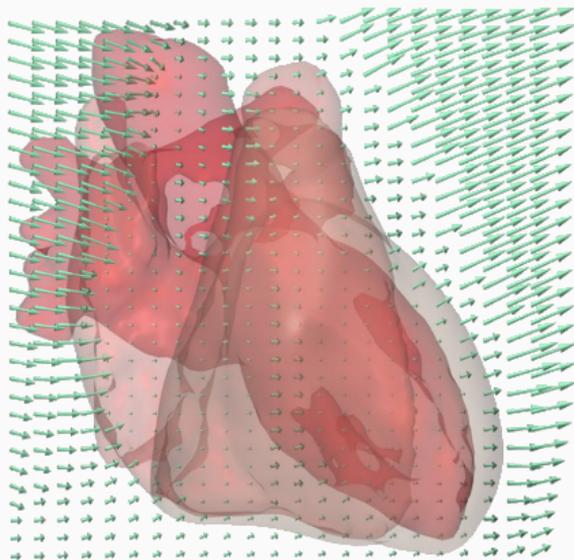


Результат накрутки волокон в предсердиях с использованием этого подхода

Решение задачи ЭКГ

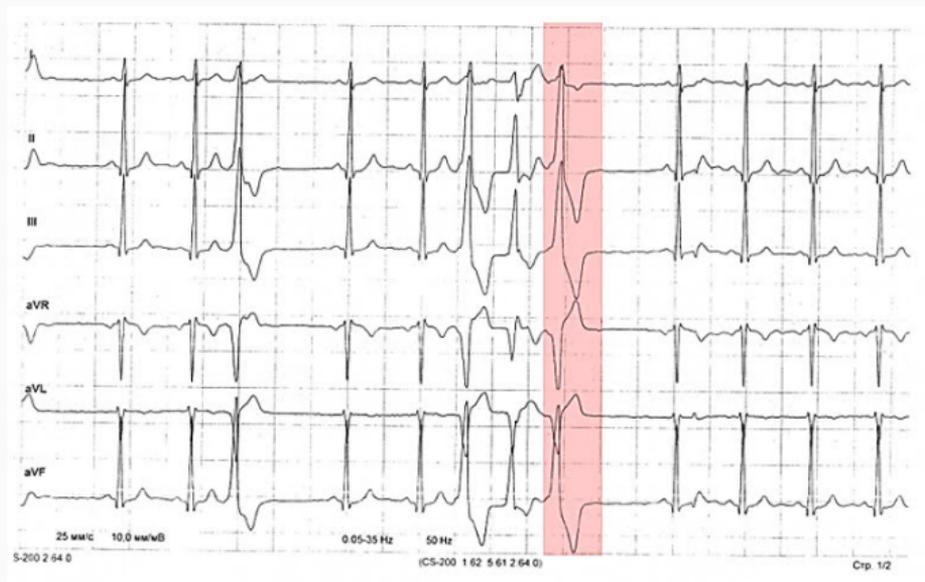


M. Potse. Scalable and accurate ECG simulation for reaction-diffusion models of the human heart. *Frontiers in Physiology*, 2018, 9:370



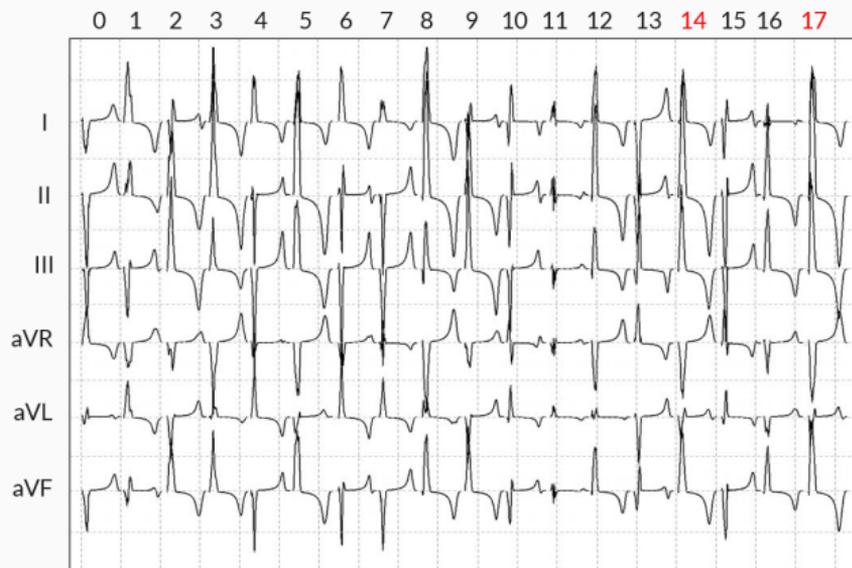
M. Potse. Scalable and accurate ECG simulation for reaction-diffusion models of the human heart. *Frontiers in Physiology*, 2018, 9:370

Векторное поле для быстрого вычисления ЭКГ

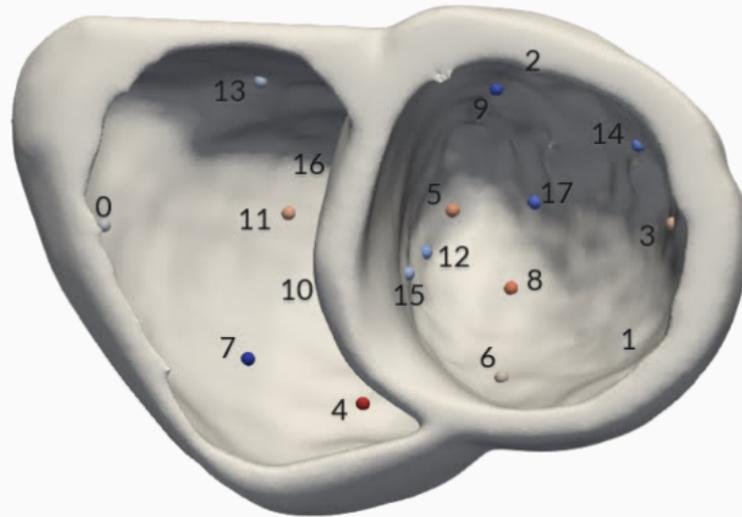


П.А. Селина. Персонализированное моделирование ЭКГ у пациентов с желудочковой экстрасистолией. Дипломная работа, МФТИ, 2023

Векторное поле для быстрого вычисления ЭКГ



П.А. Селина. Персонализированное моделирование ЭКГ у пациентов с желудочковой экстрасистолией. Дипломная работа, МФТИ, 2023



П.А. Селина. Персонализированное моделирование ЭКГ у пациентов с желудочковой экстрасистолией. Дипломная работа, МФТИ, 2023

Используемые пакеты на текущий момент

- Сегментация аорты, коронаров и левого желудочка – отдельный код
- Полуавтоматическая сегментация тканей и органов – itksnap
- Построение расчетных сеток – CGAL и в отдельных случаях – GMSH
- Накрутка волокон – отдельный код на Ani3D или ldrb (для желудочков)
- Быстрое вычисление ЭКГ – отдельный код на Ani3D

Спасибо за внимание!

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 22-71-10007