



Введение

В настоящее время заболеваемость патологиями печени составляет 2,6 млн человек в год. Изменение гемодинамики в сосудах печени приводит к нарушению её функционирования. Соответственно, нарушение кровообращения печени может привести к фатальным последствиям, вплоть до летального исхода.

Таким образом, для установления изменений в портальной системе кровообращения, возникает необходимо знать её нормальное состояние – состояние без патологий. В рамках исследования произведен литературно-аналитический обзор, в результате которого был выбран компилятивный прототип, проведена его критика и предложены пути доработки сводной модели; выбраны инструменты для реализации; создан прототип модели кровотока в печени, результаты работы которого представлены в виде графической информации.

Методы и материалы

Первый этап - литературно-аналитический обзор Анатомических и физических моделей. Для этого был выставлен ряд критериев, по которым и проводилась оценка. Результаты анализа представлены в таблице.

Table with 7 columns: Criteria, Anatomical models (A1, A2, A3), Physical models (Ф1, Ф2, Ф3). Rows include: Degree of automation, Accuracy of construction, Stability to noise, Parameter limitation, Simplicity, Computational power.

- A1 - Построение 3D модели кровеносных сосудов по серии КТ изображений печени [1]
A2 - Виртуальное моделирование операции на печени на основе данных компьютерной томографии
A3 - Modeling Blood Flow in the Blood Vessels of the Cardiovascular System Using Fractals
Ф1 - Математические модели квази-одномерной гемодинамики
Ф2 - Моделирование нелинейного деформирования композитных конструкций с приложением к кровеносным сосудам
Ф3 - Modeling a 3-D multiscale blood-flow and heat-transfer framework for realistic vascular systems [2]

Второй этап - выбор компилятивного прототипа и его критика

На основе анализа, Был выбран компилятивный прототип, состоящий из анатомической [1] и физической моделей [2]. Критика прототипа:

Table with 2 columns: Prototypes, Critique. Rows: 3D model construction, Multiscale framework.

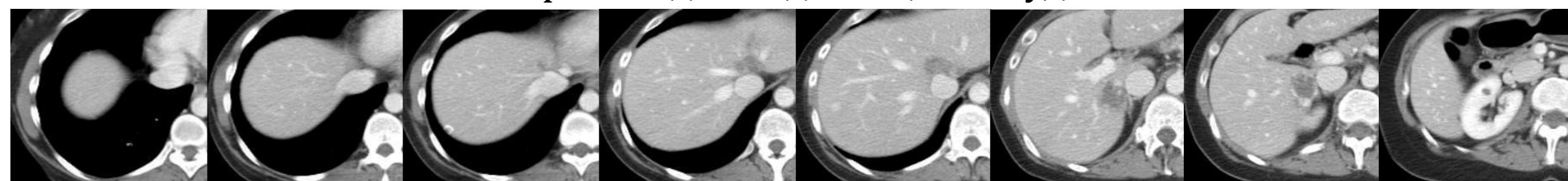
Изучение инструментов для реализации и выбор подходящих

Обсуждение

Так как такая оценка ранее не выполнялась, то для сравнения с реальным объектом необходимы медицинские данные. Таким образом, по данным от врачей, точность оценки перераспределения венозного кровотока составила 87,5%, а для артериального – 93,1%, что показывает хорошую статистику

Результаты и обсуждения

Был взят набор КТ-снимков с контрастным усилением, на основе которого производится детекция сосудов



Был построен граф кровеносной системы печени; разделены артериальная и венозная системы



Граф кровеносной системы

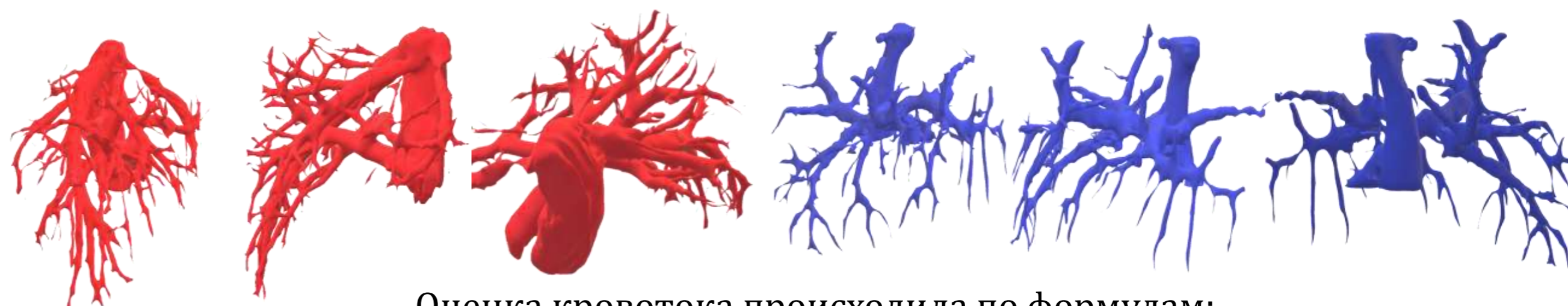


Граф артериальной системы



Граф венозной системы

Далее была произведена 3D реконструкция вен и артерий отдельно (для наглядности вены представлены синим цветом, артерии - красным)



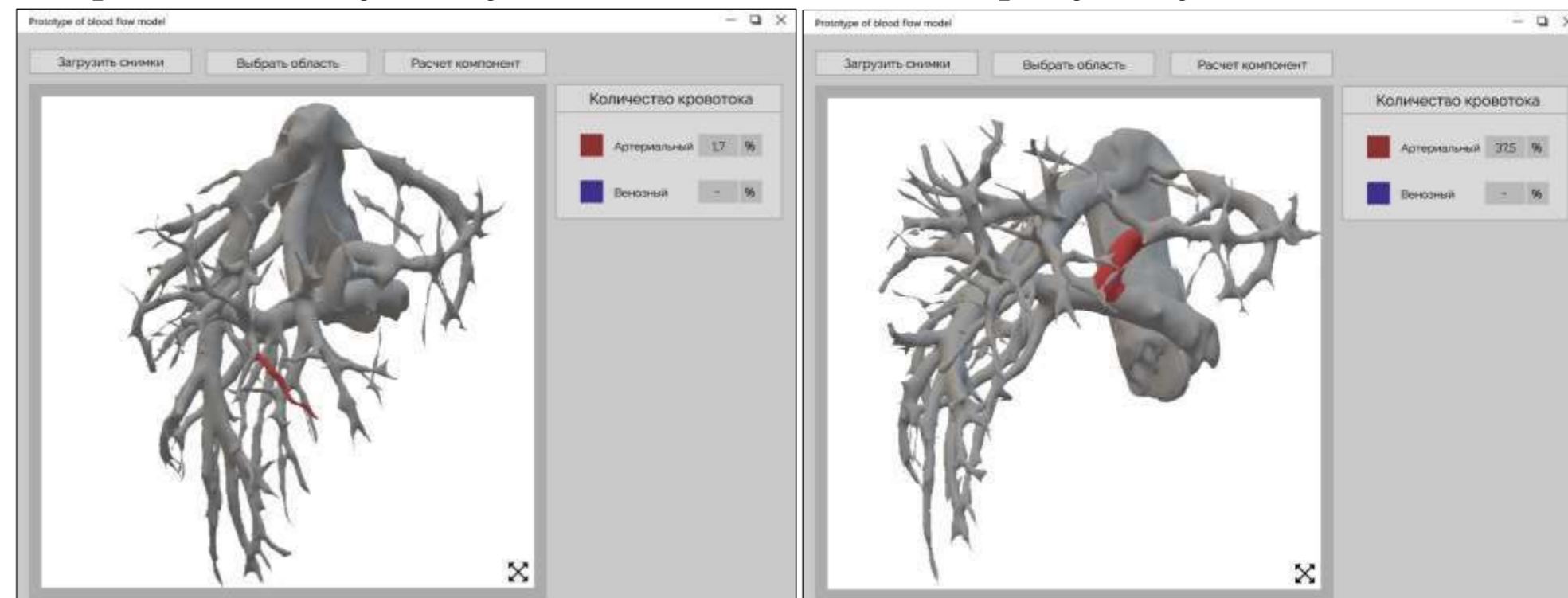
Оценка кровотока происходила по формулам:

q_ji = k_ji * delta p_ji; k_ji = R_ji^-1 = (pi * r_ji^4) / (8 * mu * L_ji); q_beta,k = (gamma * beta / mu) * (p_beta - sum_j (eta_beta,k^epsilon * (x_j - x_k) * P_beta,j * V_j)); beta = { a - артерии, v - вены

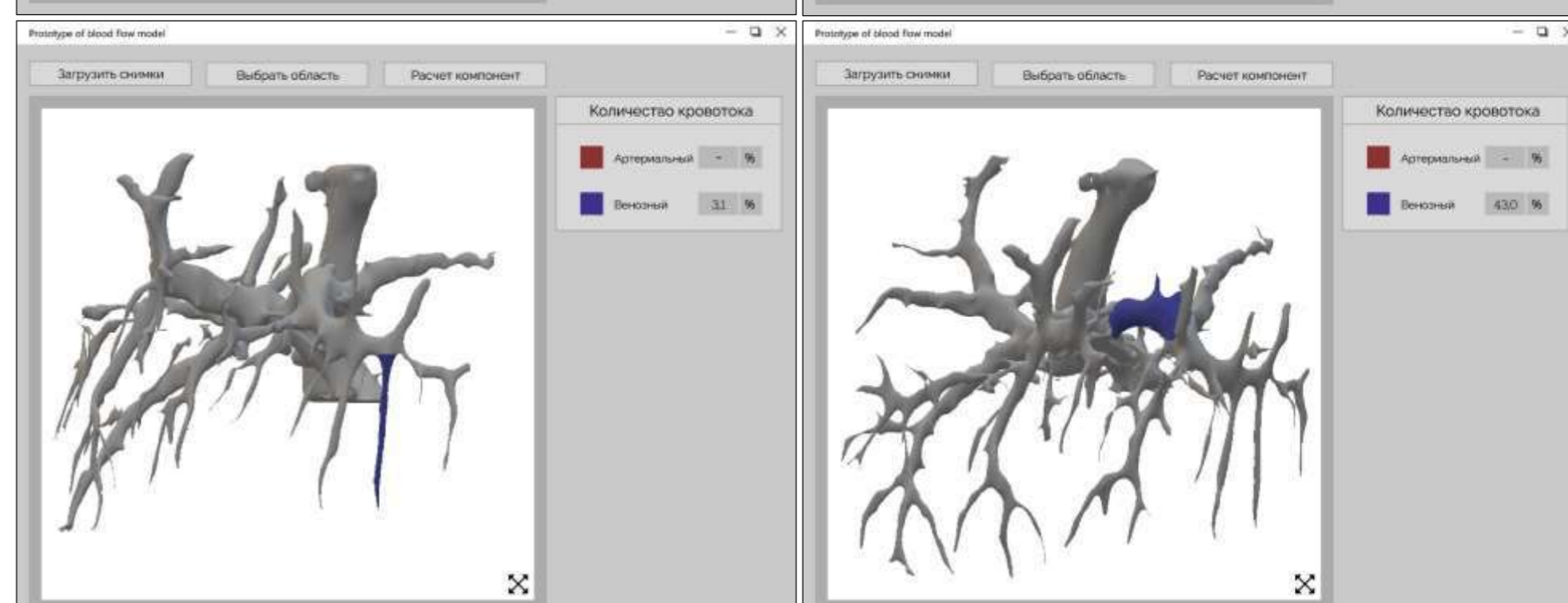
Для расчета необходимы дополнительные параметры - давление P и объемная скорость потока V

В данной модели реализована демонстрация рассчитанных значений количества кровотока для конкретного сосуда, путем нажатия на интересующую область

Пример 1. Расчет артериального кровотока двух разных сосудов



Пример 2. Расчет венозного кровотока двух разных сосудов



Заключение

В рамках данной работы был разработан прототип модели кровотока в печени, а именно построения точной анатомической модели и подсчета перераспределения кровотока по сосудам. Результатами работы являются графические представления работы программы, основанной на компилятивном прототипе. Была проведена апробация модели, которая показала положительные результаты. Дальнейшая работа направлена на создание прочностной модели - оценки разрыва сосуда, а также на создание общего алгоритма

Библиографический список

1. Ятченко А.М., Крылов А.С., Гаврилов А.В., Архипов И.В. Построение 3D модели кровеносных сосудов по серии КТ изображений печени, 2009
2. Amare R., Hodneland E., Roberts J.A., Bahadori A.A., Eckels S. Modeling a 3-D multiscale blood-flow and heat-transfer framework for realistic vascular systems. Sci Rep. 2022. vol. 12(1):14610. doi: 10.1038/s41598-022-18831-3.