

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ТРЕХМЕРНОГО
МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ УПРУГОЙ
ДЕФОРМАЦИИ АРТЕРИЙ ПОСРЕДСТВОМ СРАВНЕНИЯ
ИСХОДНОЙ ГЕОМЕТРИИ С ОБЛАКОМ ТОЧЕК
АБСОЛЮТНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

В.А. Мансуров

УО «Белорусский государственный медицинский университет»,

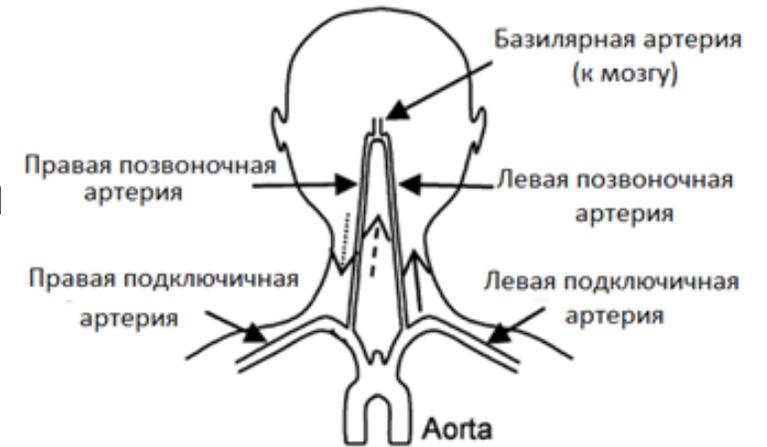
Кафедра медицинской и биологической физики

г. Минск, Республика Беларусь

Mansurov@tut.by, viber +375 33 633 11 57

Введение

- В последние годы интерес к исследованиям в области математического моделирования кровотока постоянно растет, вероятно, это можно связать с постоянным ростом сердечно-сосудистых заболеваний.
- Большая часть артерий головного мозга разветвляется на дочерние сосуды. Однако на нижней поверхности головного мозга имеется участок сосудов, где две артерии (позвоночные) соединяются в одну (базилярную). Само по себе слияние сосудов существенно меняет тип движения крови в сосудистом сегменте и усложняет форму течения крови в этом сегменте, особенно в связи с атеросклеротическими поражениями артерий и может привести к возникновению аневризм.



Актуальность.

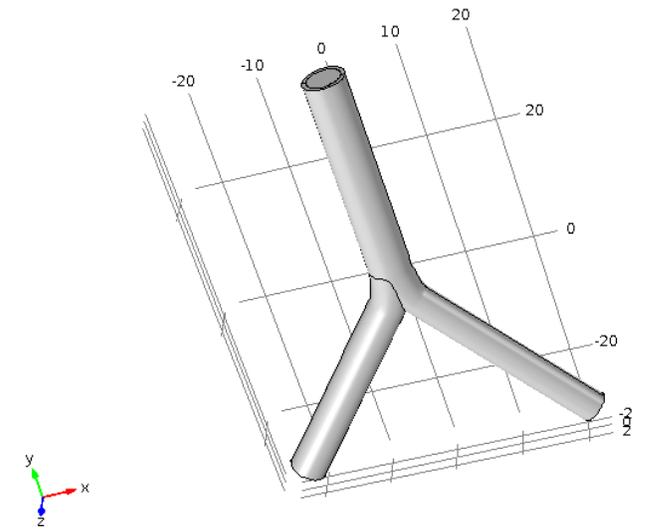
- Актуальность исследования особенностей кровотока в сосудах головного мозга обусловлена стенотическими поражениями внутричерепной части позвоночных и базилярной артерий, которые встречаются в 21,1% случаев, при этом чаще у людей пожилого возраста (старше 60 лет), а также образованием аневризм базилярной артерий, обнаруживающихся в 1,8 - до 10% случаев.

Цель.

- Посредством численного моделирования взаимодействия упругой стенки сосуда с потоком вязкой жидкости выяснить возникновение напряжено-деформированного состояния стенки сосуда и картины течения для установления морфологических предпосылок развития цереброваскулярной патологии (аневризм, атеросклеротических бляшек).
- Визуализировать полученные результаты посредством сравнения деформации стенки сосуда при действии внутреннего давления для дальнейшего анализа.

Материалы и методы.

- Макроскопически изучены морфометрические показатели на 30 препаратах головного мозга взрослых людей обоего пола с разной формой черепа, полученных из УЗ «Патологоанатомическое бюро г. Минска.
- По этим данным построены численные трехмерные геометрические модели соединения сосудов, состоящие из отрезков одинаковой длины (35 мм) с симметричным расположением отрезков дочерних сосудов относительно центральной линии отрезка основного сосуда



численная трехмерная
геометрическая модель

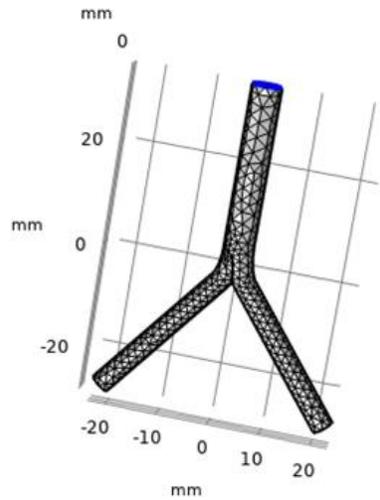
Численное моделирование течения и деформации.

- Поток жидкости может деформировать стенку, поэтому чтобы численно смоделировать профиль течения в непрерывно деформируемой геометрии необходимо использовать метод Лагранжа-Эйлера (*ALE – arbitrary Lagrange Euler*). Метод ALE использует динамику деформирующей геометрии и движущихся границ с помощью движущейся сетки (*moving mesh*).
- Уравнения Навье-Стокса, описывающие вязкое течение, сформулированы для этих движущихся координат. Стенка канала является деформируемым материалом, который может упруго деформироваться под воздействием нагрузки. Следовательно, поток жидкости также следует новому пути, поэтому течение в исходной геометрии будет отличаться от течения деформируемой геометрии.

Визуализация

- В результате численного моделирования получаются скалярные поля модуля вектора скорости течения и модуля вектора смещения упругодеформированной стенки сосуда в виде облака точек. Визуализация и анализ этих полей затруднительны, поскольку объем этих полей может достигать 100 тысяч элементов. Для этого необходимо использовать специализированное программное обеспечение.
- **CloudCompare**. Это программное обеспечение для обработки трехмерных облаков точек и треугольной сетки. Цель этого приложения - провести сравнение двух плотных трехмерных облаков точек. Кроме того, оно также предназначен для сравнения облака точек и треугольной сетки.
- Программа выпущена под лицензией GNU General Public License (GPL),

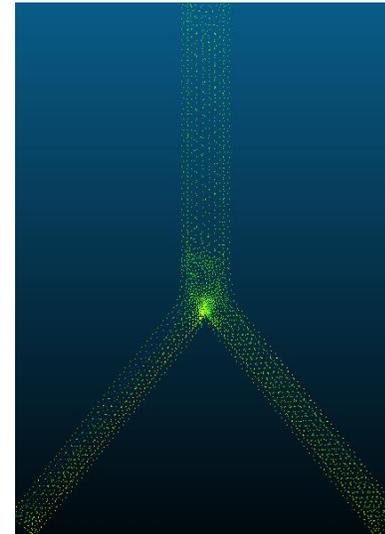
Сравнение исходной и деформированной геометрий



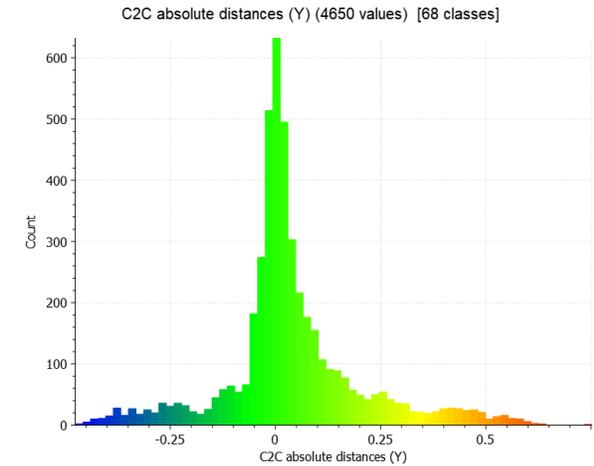
Исходная геометрия
(сетка)



Облако точек
деформированной
геометрии



Разностное облако
точек



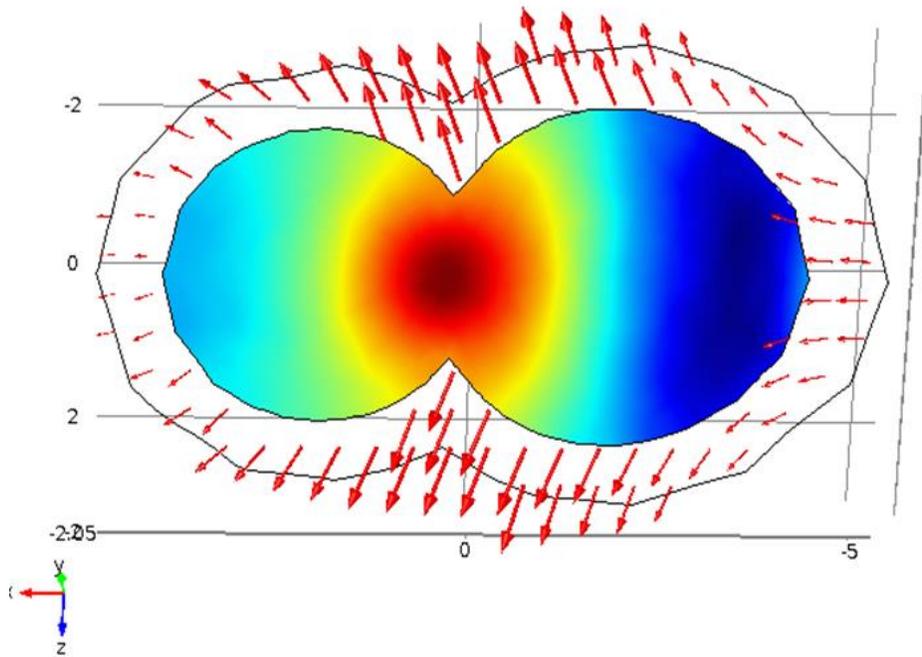
Гистограмма
распределения
разностей смещения

Из гистограммы видно, что большая часть исходной геометрии не подвержена деформации

есть два места, где деформации имеют разный знак (растяжение и сжатие)

Эти места находятся в области соединения дочерних сосудов с материнским

Результаты.



Поле деформаций Давление (цвет),
величина и направление
абсолютной деформации (стрелки) в
сечении точки максимальной
деформации.

Объяснить выпячивание стенки
можно суммированием
динамического давления

Заключение.

- Визуальное представление результатов расчета обеспечивает пользователю возможность анализа и адекватной трактовки результатов.
- Одновременно с этим визуализация позволяет верифицировать полученные результаты и при необходимости вносить коррективы в математическую модель и метод расчета
- Визуализация результатов математического моделирования бифуркации, в которых сливаются два потока, посредством сравнения исходной и деформируемой геометрий показывает, что в месте соединения двух потоков возникает дополнительное динамическое давление, которое приводит к деформации стенки сосуда или выпячиванию стенки сосуда. Это явление может спровоцировать рост аневризмы в этом месте.

Спасибо за внимание.