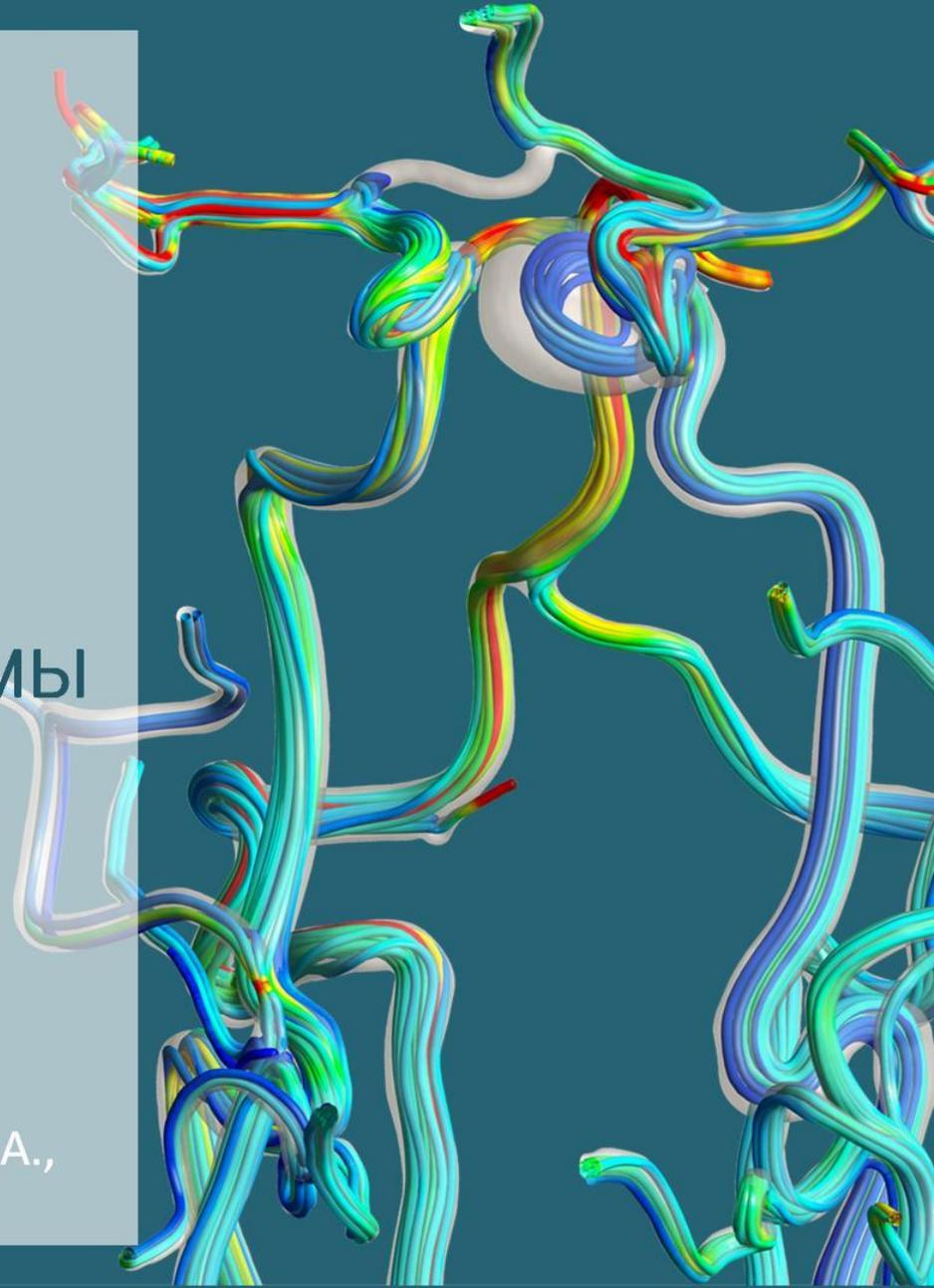


Математическое
моделирование
гемодинамики
интракраниальных
аневризм:
возможности, проблемы
и пути их решения

Благосклонова Е.Р., Долотова Д.Д.,
Архипов И.В., Гаврилов А.В., Полунина Н.А.,
Григорьева Е.В., Крылов В.В.



Эпидемиология

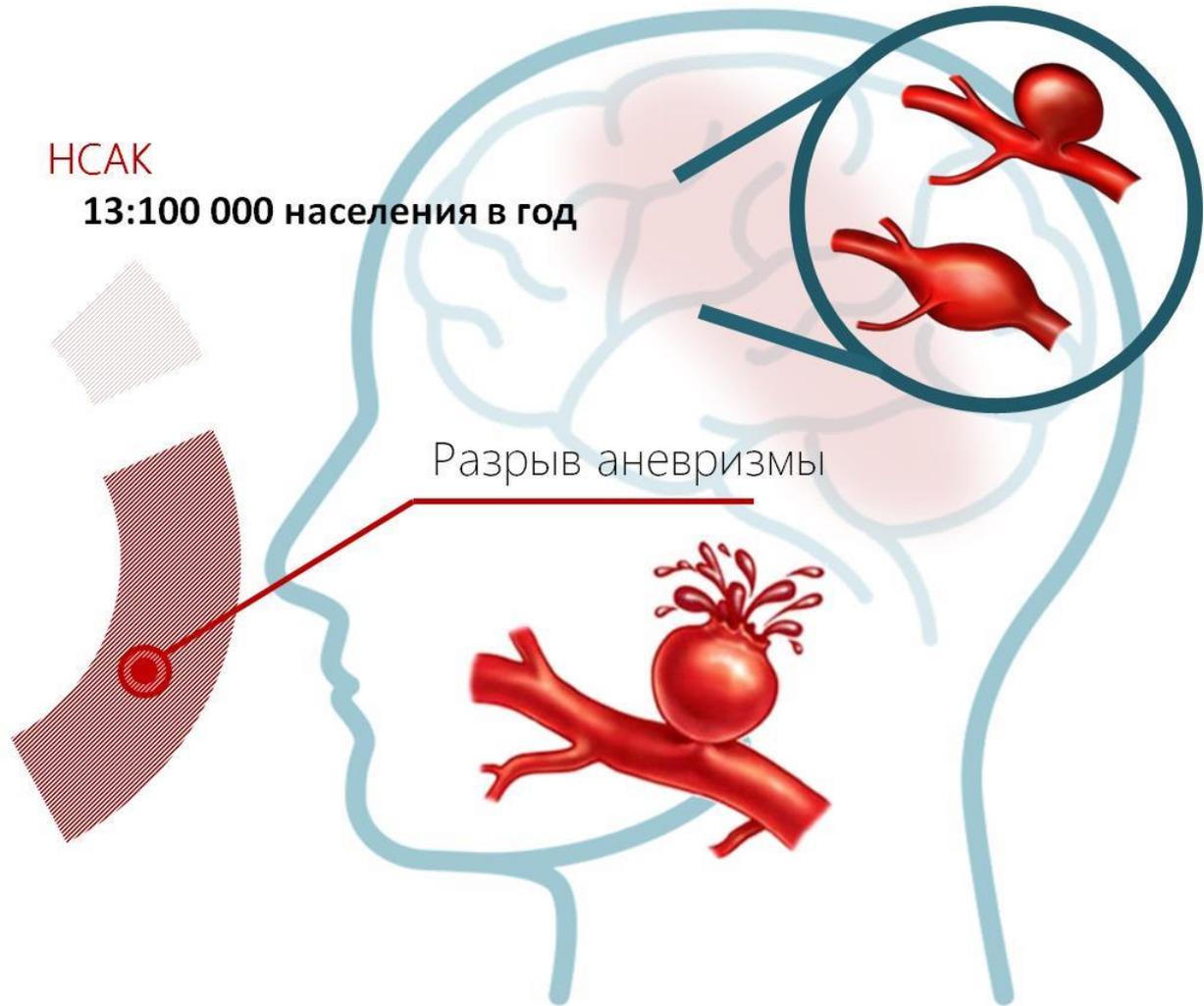
ГЕМОМРАГИЧЕСКИЙ ИНСУЛЬТ

Внутричерепное
кровоизлияние

ИСАК

13:100 000 населения в год

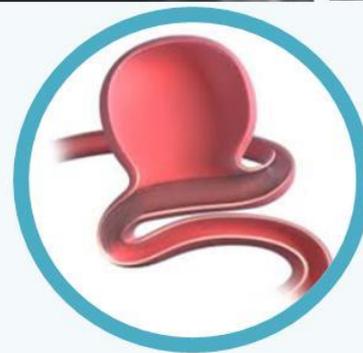
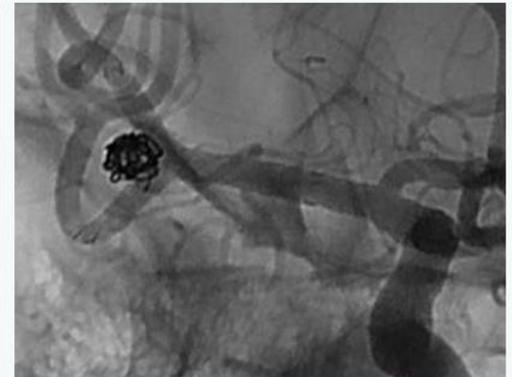
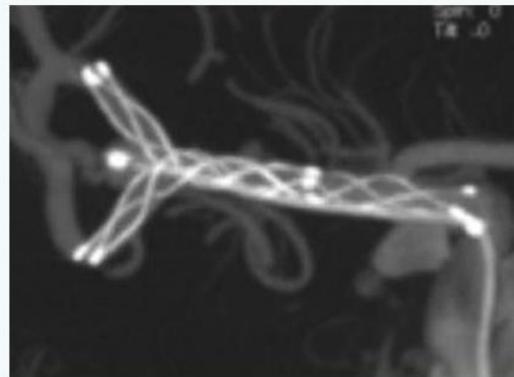
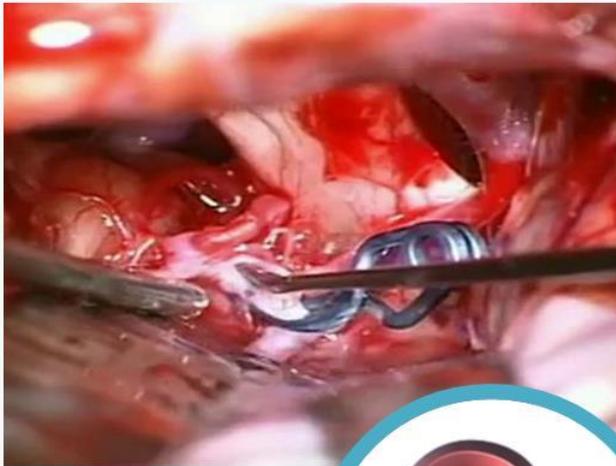
Разрыв аневризмы



Оперативное лечение неразорвавшихся аневризм

Клипирование

Эндоваскулярное вмешательство



Интраоперационные осложнения – 2,6%

Риск разрыва аневризмы – 1-2% в год

Исследование параметров гемодинамики

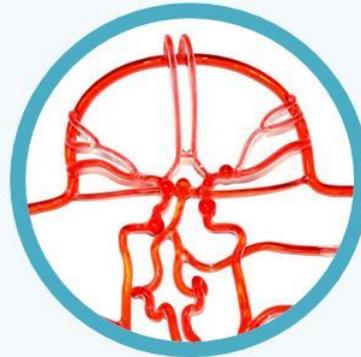
Инвазивное измерение

- Интраоперационные измерения
- Лабораторные животные
- Макро- и микропрепараты



<http://vivariy.com/>

Физические модели



Математическое моделирование

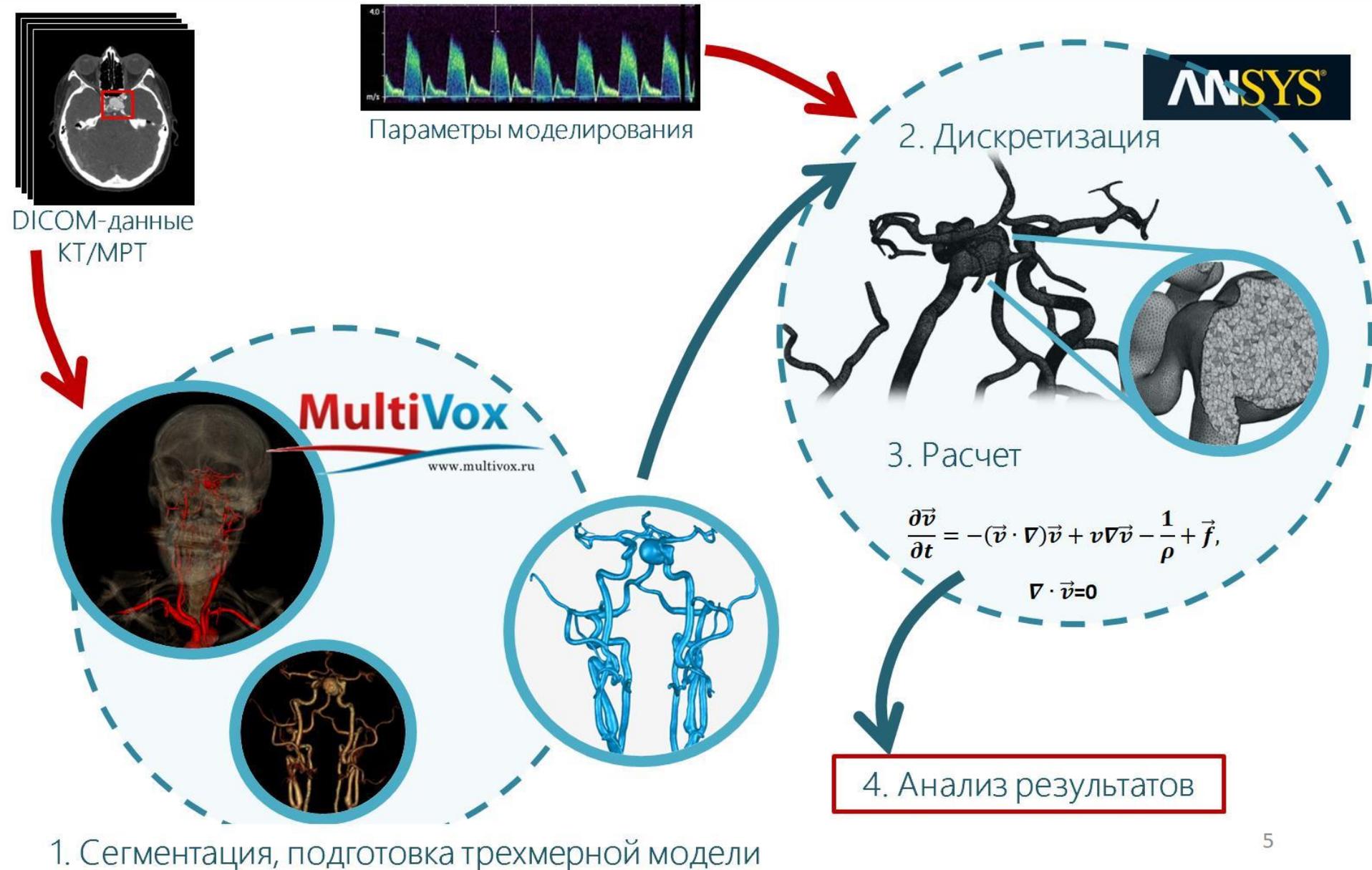
CFD

– *Computational Fluid Dynamics*



- Небольшие финансовые затраты
- Количественная оценка параметров
- Не требуют инвазивных вмешательств
- Минимум временных затрат
- ПЕРСОНАЛИЗАЦИЯ

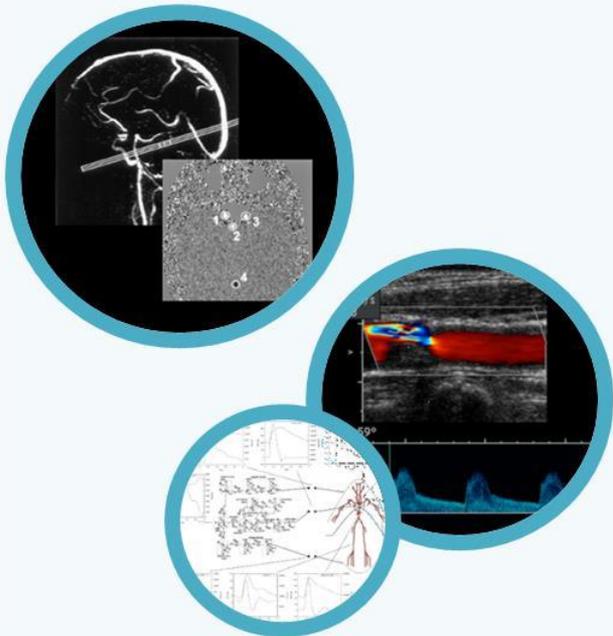
Этапы CFD-моделирования



Параметры моделирования

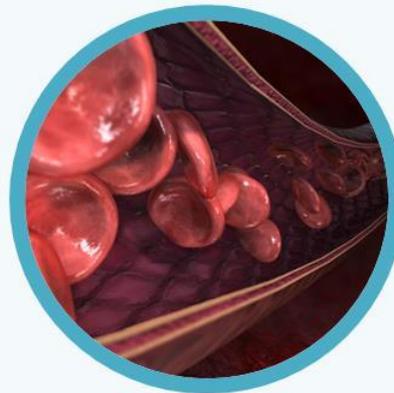
Скорость потока, давление

- Данные исследований пациента (УЗДГ, ФК-МРТ)
- Параметры, вычисленные с помощью 0,1-мерных моделей



Свойства крови

- Ньютоновская жидкость
- Неньютоновская жидкость

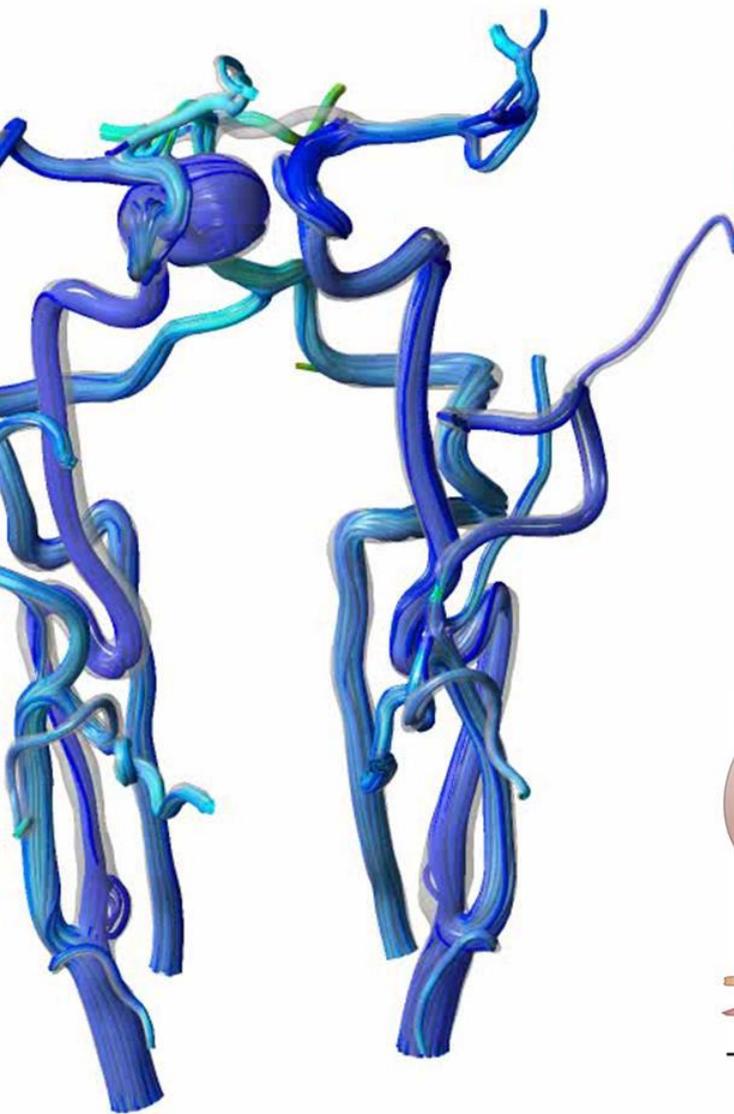


Механические свойства стенки сосуда

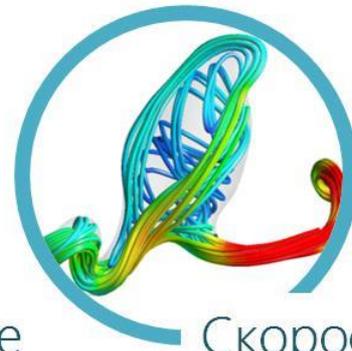
- Жесткая стенка/эластичная
- Многослойность, участки с патологическими свойствами
- Пульсация
- Сопротивление потоку



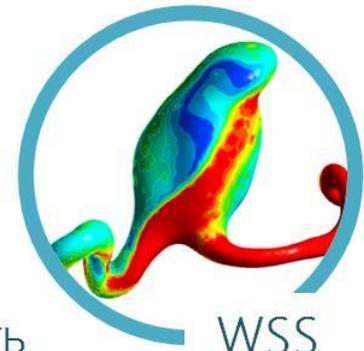
Результаты моделирования



Давление

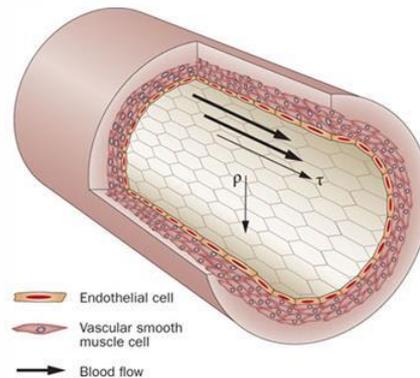


Скорость



WSS

WSS (Wall Shear Stress)



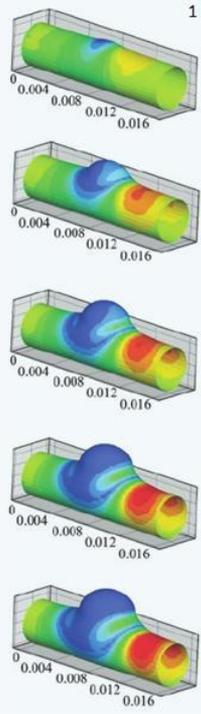
- Площадь max/min значений относительно сосуда
- Интенсивность изменения направления вектора
- Концентрация параметра на определенной площади и др.

Применение. Поиск предикторов разрыва

Факторы влияющие на образование и рост аневризм

Влияние на параметры кровотока особенностей анатомии

Симуляции «До-После»



1

Размер купола



Появление аневризмы

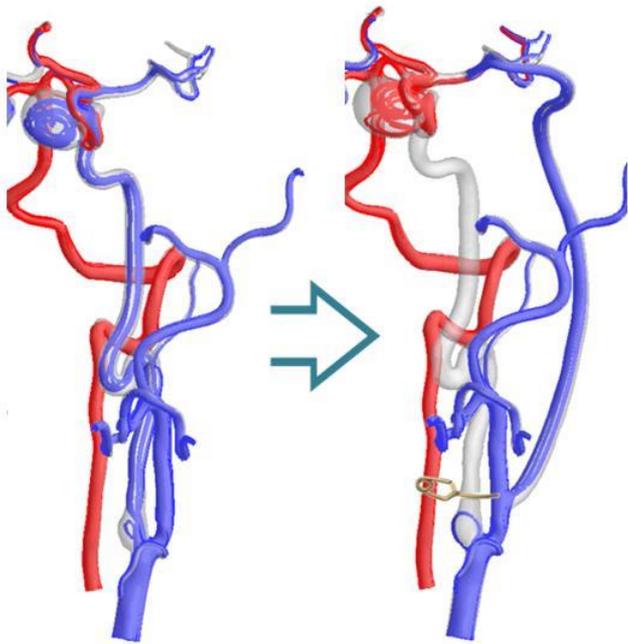


¹Computational modelling for cerebral aneurysms: risk evaluation and interventional planning, Y. Ventikos (2009)

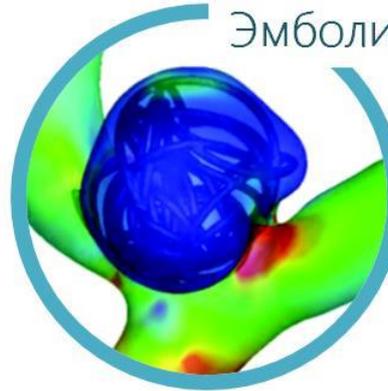
²Effect of calcification on the mechanical stability of plaque based on a three-dimensional carotid bifurcation model, K. Wong (2012)

Применение. Предоперационное планирование

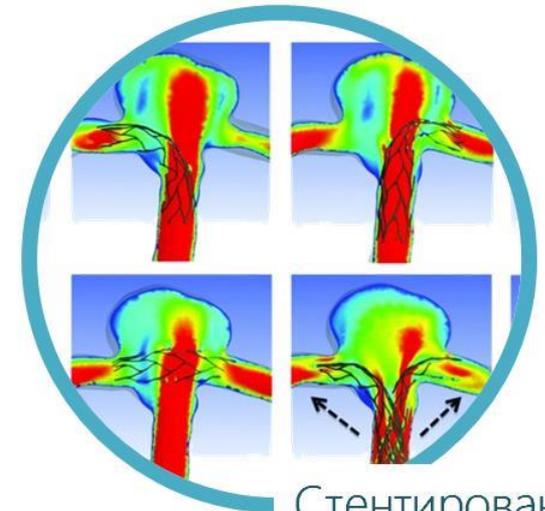
Анастомозирование



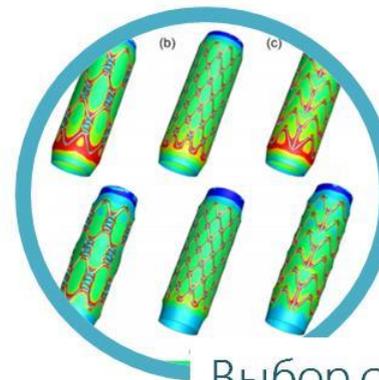
Эмболизация



Стентирование



Выбор стента



¹Hemodynamics of 8 Different Configurations of Stenting for Bifurcation Aneurysms, K. Kono (2013) (расположение стента)

²Hemodynamic Characterization of Geometric Cerebral Aneurysm Templates Treated With Embolic Coils, P. Nair (2016) (койлинг)

³Computational Fluid Dynamics Analysis of Balloon-Expandable Coronary Stents: Influence of Stent and Vessel Deformation, D. Martin (2014)

Моделирование экстра-интракраниального анастомоза

Цель: оценить влияние на кровоснабжение мозга запланированного варианта клипирования ВСА

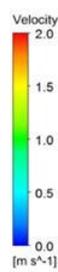
КТ до операции



КТ после операции

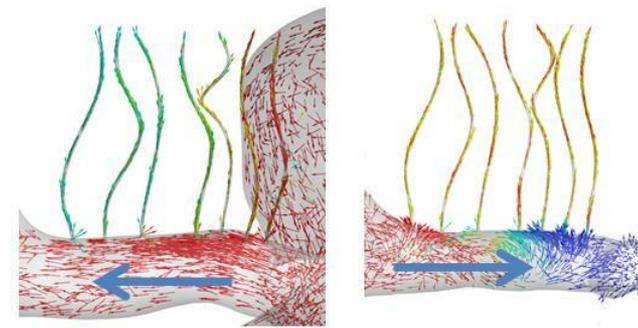
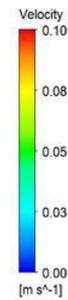
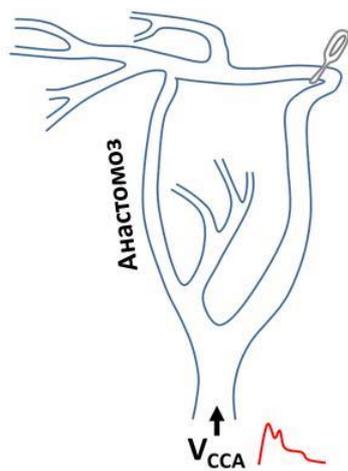


Результаты моделирования



Стенка сосуда: жесткая
Вход: скорость кровотока (ТКДГ)
Выходы: свободный отток
Изменение анатомии:

- Анастомоз
- Лентикулостриарные артерии
- Пережатие ВСА



Проблемы применения CFD-моделирования и пути их решения

Трудоемкость процесса вычисления

Совмещение средств обработки изображений и математического моделирования

Параметры для пациентспецифичного моделирования

Сложность получения данных морфологии сосуда

Параметры потока не всегда доступны в полном объеме

Мультимодальный протокол исследования

Оценка и проверка результатов

Маленькая выборка

Нет данных о динамике роста/исходе

Верификация результатов моделирования

Централизованный сбор данных
Всероссийский регистр



Спасибо за внимание

evromsp@gmail.com