

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ГЕМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КРОВОТОКА СОННОЙ АРТЕРИИ

Одной из самых актуальных проблем научной медицины и практического здравоохранения являются болезни системы кровообращения. На данный момент среди причин смертности инсульт головного мозга занимает второе место после инфаркта миокарда. Причинами нарушения мозгового кровообращения ишемического характера являются атеросклероз сонных артерий и их патологическая извитость [1].

Для восстановления кровообращения в пораженных сосудах помимо медикаментозного лечения нередко проводятся реконструктивные операции. В настоящее время существует множество методик хирургической коррекции данной патологии. Первыми хирургическую коррекцию патологической коррекции провели в 1959 году Quattelbaum, Upson and Neville [2].

Часто невозможно объективно оценить, какой тип оперативного вмешательства будет оптимальным для конкретного пациента. В связи с этим вопросы моделирования гемодинамики крупных кровеносных сосудов приобретают в последнее время все большую актуальность. Это связано с необходимостью прогнозирования возможного поведения сосуда в ближайшие и отдаленные периоды после оперативного вмешательства.

При моделировании течения крови в системе кровообращения в общем случае описывается трехмерными нестационарными уравнениями для вязкой в общем случае неньютоновской жидкости совместно с уравнениями динамики эластичных оболочек сосудов [3]. Это связано с необходимостью учета реальных свойств крови, пространственной геометрии сосудов, влияния вязкости, взаимного влияния гидродинамики сосудов и их деформации. Кровь обычно рассматривается как однородная ньютоновская среда. Задача моделирования течения крови в значительной мере облегчается тем обстоятельством, что практически во всех отделах кровеносной системы наблюдается ламинарный режим течения. Таким образом, одной из основных проблем построения вычислительного алгоритма является необходимость решения уравнений Навье-Стокса в областях с подвижными криволинейными границами. Этому вопросу посвящена, в частности, работа [4].

В данной работе проведено имитационное моделирование кровотока человека в сонной артерии методом конечных элементов при различной геометрии сосудистого русла. На основании проведенных вычислений выполнен анализ распределения скорости и давления кровотока на протяжении участка с рассматриваемой патологией.

Процедура моделирования гемодинамических явлений в сонной артерии с патологией предполагает создание ее твердотельной геометрической модели в среде SolidWorks.

Спроектировано 8 моделей артерии с патологией на внутренней сонной артерии: сонная артерия без видимых патологий, модели сонной артерии с изгибом в  $90^{\circ}$ – $130^{\circ}$ , модель сонной артерии с S-образным изгибом, а также модель с патологией петля.

Геометрические модели используются для моделирования кровотока человека в сонной артерии методом конечных элементов в среде FlowVision с целью получения распределения физических параметров жидкости (скорости и давления). Визуализация результатов расчета осуществляется с помощью пост-процессора FlowVision.

Проанализировав полученные результаты моделирования, установлено, что уменьшение угла изгиба приводит к увеличению зоны низких скоростей и завихрений у выпуклой стенки изгиба сосуда, наблюдается повышение уровня давления, оказываемого кровью на область каротидного синуса. При наличии патологии до зоны деформации может регистрироваться снижение линейной скорости. В зоне деформации отмечается повышение скорости кровотока. За зоной деформации скорость кровотока уменьшается и стабилизируется. Исследование объемного кровотока на выходе из внутренней сонной артерии показало, что извитость значительно уменьшает объем крови, поступающей в головной мозг. Артерия с патологиями петля, S-образная и перегиб сокращают величину объемного кровотока почти на 30% по сравнению с неизвитой артерией и являются наиболее опасными видами патологической извитости внутренней сонной артерии. Моделирование показало, что уменьшение объема крови, проходящей через внутреннюю сонную артерию, сказывается на его увеличении в наружной сонной артерии.

Характеристики кровотока, измеряемые с помощью современных методов доплеровской, ультразвуковой и лазерной флоуметрии, могут быть проанализированы на предмет проявления сосудистых патологий путем их сравнения с результатами математического моделирования. Это позволяет создавать новые методы неинвазивной диагностики (без хирургического вмешательства) в клинической практике.

#### Литература:

1. Извитости сосудов позвоночника, шеи и мозга: причины, симптомы, лечение [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://sosudinfo.ru/golova-i-mozg/izvitost-sosudov/>.
2. Quattlebaum, J. K. Stroke associated with elongation and kinking of the internal carotid artery: report of three cases treated by segmental resection of the carotid artery / J. K. Quattlebaum, E. T. Upson, R. L. Neville // Ann Surg. – 1959. – V. 150, № 10. – P. 824–832.
3. Каро К. Механика кровообращения / К. Каро, Т. Педли, Р. Штотер. // М.: Мир, – 1981, 624с.
4. Винников В.В., Ревизников Д.Л. Применение декартовых сеток для решения уравнений Навье-Стокса в областях с криволинейной границей / В.В. Винников, Д.Л. Ревизников. // Математическое моделирование, – 2005, т. 17, №8, с.15–30.