

*А.Д. Блинкова*

**ОСОБЕННОСТИ ГЕМОДИНАМИКИ В МЕСТЕ СЛИЯНИЯ  
ПОЗВОНОЧНЫХ АРТЕРИЙ В БАЗИЛЯРНУЮ**

*Научные руководители: д-р мед. наук, проф. Н.А. Трушель,  
канд. техн. наук, доц. В.А. Мансуров*

*Кафедра нормальной анатомии*

*Белорусский государственный медицинский университет, г. Минск*

*A.D. Blinkova*

**FEATURES OF VESSEL WALL DEFORMATION AT THE AREA  
OF BASILAR ARTERIES CONFLUENCE INTO VERTEBRAL ARTERY**

*Tutors: professor N.A. Trushel, associate professor V.A. Mansurov*

*Department of Normal Anatomy*

*Belarusian State Medical University, Minsk*

**Резюме.** Математическое моделирование кровотока в области соединения позвоночных артерий в базилярную показывает, что в месте соединения потоков крови возникает дополнительное динамическое давление. Это ведет к деформации или выпячиванию стенки сосуда, что, вероятно, может спровоцировать рост аневризмы. Обнаружено, что механические напряжение и деформация стенки сосуда снижаются с увеличением угла слияния сосудов.

**Ключевые слова:** позвоночные артерии, базилярная артерия, аневризма.

**Resume.** Mathematical modeling of the blood flow in the area of the connection of vertebral arteries into basilar artery, in which two blood flows merge, shows that additional dynamic pressure occurs at the flows merge. It leads to deformation of the vessel wall or bulging of the vessel wall and probably, can provoke the growth of an aneurysm. It was found that mechanical stresses and deformation of the vessel wall decrease by increasing of merge angle.

**Keywords:** vertebral arteries, basilar artery, aneurysm.

**Актуальность.** В последние годы интерес к исследованиям в области математического моделирования кровотока постоянно растет, вероятно, это можно связать с постоянным ростом сердечно-сосудистых заболеваний [3]. 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 разветвление сосудов (бифуркация) существенно меняет тип движения крови в сосудистом сегменте, а такое явление как соединение дочерних сосудов в один сосуд, еще больше усложняют форму течения крови в этом сегменте, особенно в связи с атеросклеротическими поражениями артерий и может привести к возникновению аневризм.

**Цель:** установление морфологических особенностей строения области соединения позвоночных артерий в базилярную у взрослого человека в зависимости от краниотипа и установление параметров кровотока в сосудах методом численного моделирования для выявления морфологических предпосылок развития нарушений мозгового кровообращения (аневризм).

### **Задачи:**

1. Установить морфометрические показатели: диаметр базилярной и позвоночных артерий, угол соединения позвоночных артерий на анатомических препаратах.

2. Выявить особенности кровотока в местах соединения позвоночных артерий в базилярную артерию в зависимости от диаметра артерий и величины угла соединения сосудов с помощью метода математического моделирования.

**Материал и методы.** Материалом для исследования явились 16 препаратов головного мозга взрослого человека с разной формой головного мозга. Макроскопическим методом были осмотрены материалы для исследования. Краниометрическим методом измерены длина и ширина мозга и установлен краниотип. Морфометрическим методом были изучены диаметры позвоночных и базилярной артерий, величина угла между позвоночными артериями у взрослого человека в зависимости от краниотипа. Методом математического моделирования были построены геометрические модели исследуемого участка. Статистическим методом обработаны морфометрические показатели с помощью программы Statistika 10.0.

**Результаты и их обсуждение.** Величина угла соединения позвоночных артерий в базилярную у долихокранов составила  $53,9^\circ$ . Долихокrania – форма черепа, при которой отношение максимальной ширины головы к максимальной длине (черепной указатель) составляет 75% и ниже. Величина угла соединения позвоночных артерий в базилярную у мезокранов составила  $76,75^\circ$ . Мезокrania – форма черепа, при которой отношение максимальной ширины головы к максимальной длине (черепной указатель) составляет 76 – 79%. Величина угла соединения позвоночных артерий в базилярную у брахикранов составила  $77^\circ$ . Брахикrania – форма черепа, при которой отношение максимальной ширины головы к максимальной длине (черепной указатель) составляет более 80%.

Рассматриваемые модели отличаются от традиционных бифуркаций тем, что потоки жидкости не разделяются, а сливаются (смешиваются). Если происходит соприкосновение двух потоков, движущихся с разными скоростями, то на их границе возникают те же самые процессы, которые происходят и при взаимодействии потока со стенкой. Однако это ведёт не к устранению помех взаимному движению, а наоборот, к их усилению. Потоки реагируют с запозданием, в результате взаимодействующие потоки выравнивают свои скорости очень быстро — их взаимное торможение происходит более интенсивно.

Изучение кровотока методом математического моделирования. Гемодинамические факторы, обусловленные индивидуальными особенностями строения артерий, могут быть причиной некоторых патологий, которые можно заранее прогнозировать.

Методом математического моделирования были построены геометрические модели по заданным параметрам, соответствующим диаметрам позвоночных и базилярной артерий, величине угла соединения позвоночных артерий в базилярную в зависимости от краниотипа. При этом сохранялись все структурные особенности

артерий, обусловленные как местными факторами (повороты, сужения, бифуркации), так и линейными (трение по длине сосуда) и гидравлические сопротивления.

Изучение кровотока методом математического моделирования. В качестве параметра сравнения использовался перепад давления, определяемый объемной скоростью и гидравлическим сопротивлением.

Результатом вычислений явилось поле скоростей течения и распределение давления.

Математические модели в зависимости от краниотипа. Для всех рассматриваемых бифуркаций в месте соединения трех отрезков бифуркации возникает выпуклая деформация сосудистой стенки. Также видно соединение двух потоков жидкости, в месте которого и возникает деформация. Особенности давления крови в сосудах при разных моделях (показывает шкала).

Максимальная деформация стенки сосуда (указана красным цветом). Шкала отображает давление крови в сосудах. Максимальная абсолютная деформация возникает в области соединения дочерних сосудов. В этом же месте наблюдается максимум напряжения (давления). Стенка сосуда в данном сечении вытягивается в одном направлении и сжимается в другом, так как в случае сложной геометрии эти деформации могут быть несимметричны, это может вызывать вторичные течения в жидкости. В центре давление максимально (примерно 45 Па), так как скорость движения жидкости увеличивается (на стенке сосуда примерно 40 Па).

#### **Выводы:**

1. Наибольший угол слияния позвоночных артерий в базилярную наблюдается у людей с брахикранной формой черепа, наименьший – у долихокранов, средний – у мезокранов.

2. 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.

3. Напряжение и деформация стенки сосуда уменьшаются с увеличением угла соединения артерий. Следовательно, рост аневризмы в базилярной артерии вероятней провоцируется при малых углах, что свидетельствует о более высоком риске развития аневризмы у долихокранов по сравнению с мезо- и брахикранами.

#### **Литература**

1. Шмидт, Е. В. Сосудистые заболевания головного и спинного мозга / Е. В. Шмидт, Д. К. Лунев, Н. В. Верещагин. – М., 1976. – 272 с.

2. Fereidoonnehada, B. Stress softening and permanent deformation in human aortas: Continuum and computational modeling with application to arterial clamping / B. Fereidoonnehada, R. Naghdabadiab, G. A. Holzapfelc // Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials. – Vol. 61. – P. 600-616.

3. Хилл, Р. Математическая теория пластичности / Р. Хилл // Оксфорд: Clarendon Press, 1950. – С. 10-12.