

*Р.Г. Грынцевич*

**ОСОБЕННОСТИ ГЕМОДИНАМИКИ В ОБЛАСТИ РАЗДЕЛЕНИЯ  
ПЛЕЧЕВОЙ АРТЕРИИ НА ЛОКТЕВУЮ И ЛУЧЕВУЮ АРТЕРИИ**

*Научные руководители: канд. техн. наук, доц. В.А. Мансуров\*,*

*д-р. мед. наук, проф. Н.А. Трушель*

*Кафедра нормальной анатомии*

*\*Кафедра медицинской и биологической физики*

*Белорусский государственный медицинский университет, г. Минск*

*R.G. Hryntsevich*

**FEATURES OF HEMODYNAMICS IN THE AREA OF DIVISION OF A  
BRACHIAL ARTERY INTO ULNAR AND RADIAL ARTERIES**

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

*Department of Normal Anatomy*

*\*Department of Medical and Biological Physics*

*Belarusian State Medical University, Minsk*

**Резюме.** В результате математического моделирования выявлен оптимальный угол разделения плечевой артерии на локтевую и лучевую ( $33^\circ$ ) у людей астеничного телосложения. Выявлены морфометрические предпосылки формирования аневризм в исследуемой области.

**Ключевые слова:** верхняя конечность, артерии верхней конечности, математическое моделирование, гемодинамика.

**Resume.** As a result of mathematical modeling an optimum angle of the division of a brachial artery into ulnar and radial arteries was revealed ( $33^\circ$ ) in asthenic people. Morphometric prerequisites for the formation of aneurysms in the researched area were identified.

**Keywords:** upper limb, arteries of upper limb, mathematical modeling, hemodynamics.

**Актуальность.** В настоящее время особое внимание уделяется выяснению роли механических факторов, которые связаны с гемодинамикой и способствуют развитию атеросклероза сосудов [1, 2]. К таким факторам можно отнести низкое касательное напряжение в потоке крови, высокое эффективное напряжение на стенке сосуда и высокие циклические деформации [1-6]. По данным современных исследований, в зонах, где значение касательного напряжения низкое (латеральные углы ветвления сосудов), наблюдается активная адгезия элементов крови к интиме сосуда, что можно считать ранней стадией формирования атеросклеротических бляшек. В области разделения потока крови, которой соответствует апикальный угол бифуркации, касательное напряжение стенки принимает высокие значения, что способствует атерогенезу с развитием последующего осложнения в виде аневризмы. В настоящее время для изучения гемодинамики в сосудах системного и органного кровотока применяют его численное моделирование [2, 5, 6].

**Цель:** выявить оптимальный угол разделения плечевой артерии на локтевую и лучевую артерии у взрослого человека в зависимости от соматотипа.

**Задачи:**

1. Изучить кровотоки области разделения плечевой артерии на локтевую и лучевую.

2. Выявить морфометрические предпосылки формирования атеросклероза и аневризм в области разделения плечевой артерии на локтевую и лучевую.

**Материал и методы.** Морфометрическим методом проведены измерения угла разделения плечевой артерии на локтевую и лучевую артерии, диаметров вышеуказанных артерий (на расстоянии 10 мм от апикального угла) на 20 препаратах верхней конечности людей в возрасте 75-70 лет мужского (5 человек) и женского (5 человек) пола из архива кафедры нормальной анатомии УО «БГМУ»; определён индекс Соловьёва для установления соматотипа. Методом математического моделирования изучен кровоток в исследуемой области. Полученные данные обработаны статистически с использованием программного комплекса Microsoft Excel 2013.

**Результаты и их обсуждение.** Для построения математической модели области разделения плечевой артерии на локтевую и лучевую артерии и последующего изучения кровотока в исследуемой области необходимы следующие морфометрические параметры сосудов: угол разделения плечевой артерии на локтевую и лучевую артерии, диаметры и длины указанных артерий (таблица 1).

Табл. 1. Параметры расчёта

Параметр	Обозначение	Значения		Ед. измерения
		Мужчины	Женщины	
Диаметр плечевой артерии	$d_0$	6,49	4,29	мм
Диаметр лучевой артерии	$d_1$	3,02	2,53	мм
Диаметр локтевой артерии	$d_2$	$d_0 - d_1$		мм
Длина сосудов	L	20		мм
Угол отклонения локтевой артерии	$\alpha$	15		Град
Угол отклонения лучевой артерии	$\beta$	Изменяли		Град

Значение величины угла разделения ( $\alpha$ ) плечевой артерии на локтевую и лучевую артерии: среднее значение для астеников равно  $33^\circ$ , для нормостеников -  $59^\circ$ , для гиперстеников -  $94^\circ$ . Средние диаметры плечевой и лучевой артерий (диаметр плечевой артерии равен 6,49 мм у мужчин и 4,29 мм у женщин, а лучевой - 3,02 мм у мужчин и 2,53 у женщин); средний диаметр локтевой артерии определялся как разница между диаметром плечевой и лучевой артериями автоматически в программном пакете для построения математической модели. Длины всех указанных артерий принимали равными 20 мм от апикального угла. Корреляционной связи между диаметром сосудов и типом конституции не выявлено.

Геометрическая модель, построенная методом численного моделирования, представлена на рисунке 1.

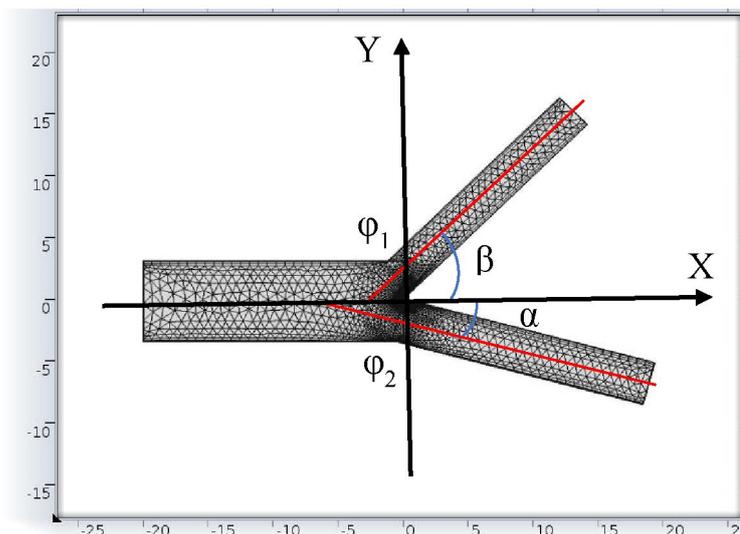


Рис. 1 – Геометрическая модель, построенная по заданным параметрам

Плечевая артерия разделяется на локтевую и лучевую артерию таким образом, чтобы площадь сечения локтевой и лучевой артерий была равна суммарной площади сечения плечевой артерии. Начало системы координат приходится на апикальный угол. Ось абсцисс (X) проходит параллельно оси основного сосуда. От нее отсчитываются 2 угла:  $\alpha$  — отклонение более толстого сосуда (в нашем случае локтевой артерии), равен  $15^\circ$ , угол  $\beta$  — отклонение более тонкого сосуда (лучевой артерии), который мы изменяли.

При изменении угла разделения в геометрической модели методом математического моделирования установлены геометрические параметры в виде изменения локальной скорости течения и перепада давления (рисунки 2, 3, 4).

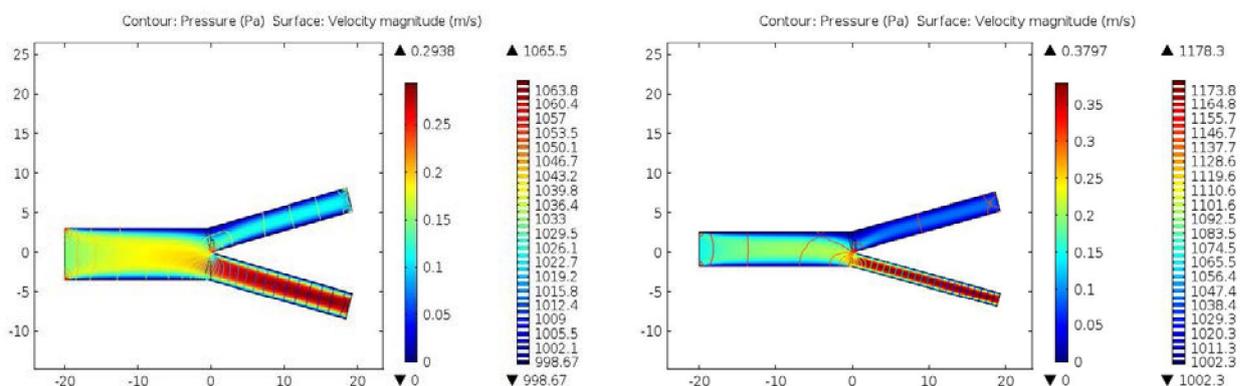
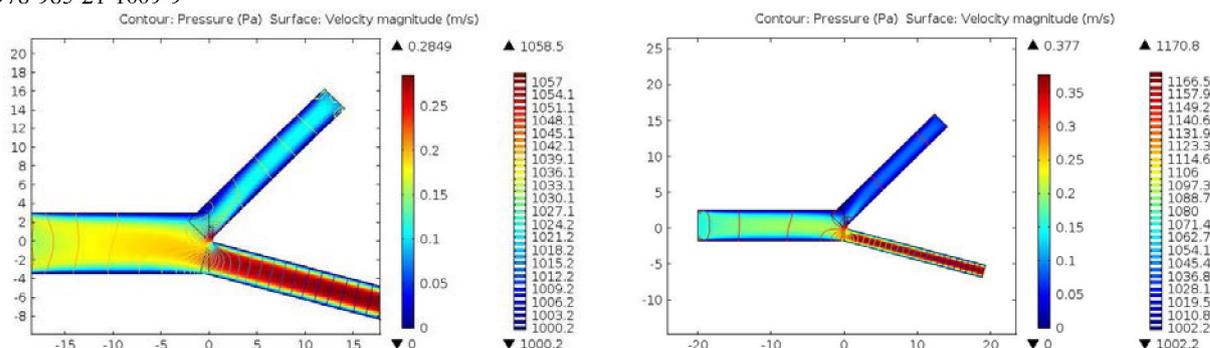
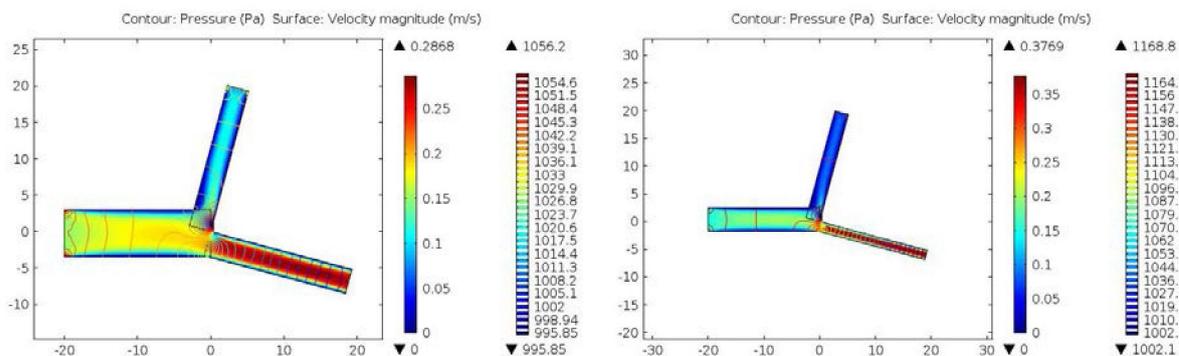


Рис. 2 – Изменение скорости сдвига и давления в исследуемой области при угле разделения  $33^\circ$  у мужчины (слева) и женщины (справа): скорость сдвига выделена цветом: min – синим, max – красным, изменение давления показано контурными линиями: min – синим, max – красным



**Рис. 3** – Изменение скорости сдвига и давления в исследуемой области при угле разделения  $59^\circ$  у мужчины (слева) и женщины (справа): скорость сдвига выделена цветом: min – синим, max – красным, изменение давления показано контурными линиями: min – синим, max – красным



**Рис. 4** – Изменение скорости сдвига и давления в исследуемой области при угле разделения  $94^\circ$  у мужчины (слева) и женщины (справа): скорость сдвига выделена цветом: min – синим, max – красным, изменение давления показано контурными линиями: min – синим, max – красным

На рисунках 2-4 видно, что максимальное воздействие потока крови наблюдается на стенку апикального угла разделения. Здесь давление крови максимальное, поскольку кровь вначале движется по плечевой артерии, а затем разделяется на два равных потока пропорционально диаметру локтевой и лучевой артерий, что может способствовать ее выпячиванию и возникновению аневризмы. Наибольшая скорость сдвига наблюдается в области латерального угла  $\varphi_2$ . При этом оптимальным углом разделения плечевой артерии на локтевую и лучевую артерии, при котором развитие атеросклероза минимально, является угол  $33^\circ$ . Также необходимо учитывать диаметр материнского и дочернего сосудов. Так, у женщин с углом бифуркации  $33^\circ$  и меньшим диаметром сосудов, риск повреждения эндотелия сосуда в области латерального угла  $\varphi_2$  в 2 раза выше, чем у мужчин с таким же углом бифуркации, но большим диаметром сосуда.

### Выводы:

1. Максимальное воздействие потока крови приходится на апикальный угол разделения плечевой артерии на локтевую и лучевую (в этом месте давление крови максимальное, поскольку поток крови движется по плечевой артерии и затем разделяется на два равных потока пропорционально диаметру локтевой и лучевой артерий, что может способствовать возникновению аневризмы).
2. Наибольшая скорость сдвига потока крови на стенке сосуда наблюдается в области латерального угла лучевой артерии.

3. Оптимальным углом разделения плечевой артерии, при котором развитие атеросклероза минимально, является угол  $33^\circ$ .

4. При выявлении морфометрических предпосылок формирования атеросклероза и аневризм помимо угла разделения плечевой артерии на локтевую и лучевую артерии необходимо также учитывать диаметр плечевой и лучевой артерий, поскольку у женщин с апикальным углом  $\alpha$ , равным  $33^\circ$ , и меньшим диаметром сосудов, риск повреждения эндотелия в области латерального угла  $\varphi_1$  в 2 раза выше, чем у мужчин с таким же углом  $\alpha$ , но большим диаметром сосудов.

#### Литература

1. Реологические изменения крови и плазмы и дисфункция эндотелия у больных ишемической болезнью сердца и сахарным диабетом / З. П. Шульман и др. // Инженерно-физич. журн. – 2006. – Т. 79. – № 1. – С. 96-101.

2. Трушель, Н. А. Роль морфологического и гемодинамического фактора в атерогенезе сосудов виллизиева круга / Н. А. Трушель, П. Г. Пивченко. – Минск: БГМУ, 2013. – 180 с.

3. Friedman, M. H. Effects of arterial compliance and non-newtonian rheology on correlations between intimal thickness and wall shear / M. H. Friedman // ASME J. Biomech. Engineering. – 1992. – Vol. 114. – P. 317-320.

4. Malek, A. M. Hemodynamics Shear Stress and Its Role in Atherosclerosis / A. M. Malek, S. L. Alper, S. Izumo // JAMA. – 1999. – Vol. 282. – № 21. – P. 2035-2042.

5. Thubrikar, M. J. Pressure-induced arterial wall stress and atherosclerosis / M. J. Thubrikar, F. Robicsek // Ann. Thorac. Surg. – 1995. – Vol. 59. – № 6. – P. 1594-1603.

6. Zu-rong, D. Flow field and oscillatory shear stress in a tuning-fork-shaped model of the average human carotid bifurcation / D. Zu-rong // J. Biomechanics. – 2001. – Vol. 34. – № 12. – P. 1555-1562.