

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ И ГЕМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ФОРМИРОВАНИЯ СОСУДИСТОЙ ПАТОЛОГИИ ВЕРХНЕЙ КОНЕЧНОСТИ

Трушель Н.А., Ковалевич Е.В., Гордейчук О.П., Грынцевич Р.Г.
УО «Белорусский государственный медицинский университет»,
г. Минск, Беларусь

В результате исследования установлено, что наиболее оптимальным углом разделения плечевой артерии на локтевую и лучевую является острый угол (33°) у людей астеников. Выявлены морфометрические предпосылки формирования сосудистой патологии в исследуемой области.

Ключевые слова: гемодинамика, верхняя конечность, артерии.

MORPHOMETRIC AND HEMODYNAMIC PREREQUISITES FOR THE FORMATION OF VASCULAR PATHOLOGY OF THE UPPER LIMB

Trushel N.A., Kovalevich E.V., Gordeychuk O.P., Gryntsevich R.G.
Belarusian State Medical University,
Minsk, Belarus

As a result of the study, it was found that the most optimal angle of separation of the brachial artery into the ulnar and radial is an acute angle (33 °) in asthenic people. Morphometric prerequisites for the formation of vascular pathology in the studied area are revealed.

Keywords: hemodynamics, upper limb, arteries.

Введение. В настоящее время особое внимание уделяется изучению роли механических факторов, связанных с током крови. Эти факторы напрямую способствуют развитию атеросклероза сосудов [1,2]. К таким факторам многие авторы относят низкое касательное напряжение в потоке крови, высокое эффективное напряжение на стенке сосуда и высокие циклические деформации [1-5]. По данным современных исследований, в зонах, где значение касательного напряжения низкое (такими зонами являются латеральные углы ветвления сосудов), наблюдается активная адгезия элементов крови к внутренней оболочке сосуда, что можно считать начальной стадией формирования атеросклеротических бляшек – образование жировых полосок. 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 сосуда. В настоящее время для изучения гемодинамики в сосудах системного и органного кровотока применяют его численное моделирование [2,5].

Цель: выявить оптимальный угол разделения плечевой артерии на локтевую и лучевую артерии у взрослого человека в зависимости от его типа конституции.

Материалы 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 50-80 лет мужского (5 человек) и женского (5 человек) пола из архива кафедры нормальной анатомии УО «Белорусский государственный медицинский университет»; определён индекс Соловьёва для установления типа конституции взрослого человека. Методом математического моделирования изучен кровоток в исследуемой области. Полученные данные обработаны статистически с использованием программного комплекса STATISTICA 10.0.

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).

Таблица 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	α	15		Град
Угол отклонения лучевой артерии	β	Изменяли		Град

Значение величины угла разделения (α) плечевой артерии на локтевую и лучевую артерии у людей-астеников равно 33° , для нормостеников - 59° , для гиперстеников - 94° . 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.

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: α — отклонение более толстого сосуда (в нашем случае локтевой артерии), равен 15° , угол β — отклонение более тонкого сосуда (лучевой артерии), который мы изменяли. Геометрическая модель, построенная методом численного моделирования, представлена на рисунке 1.

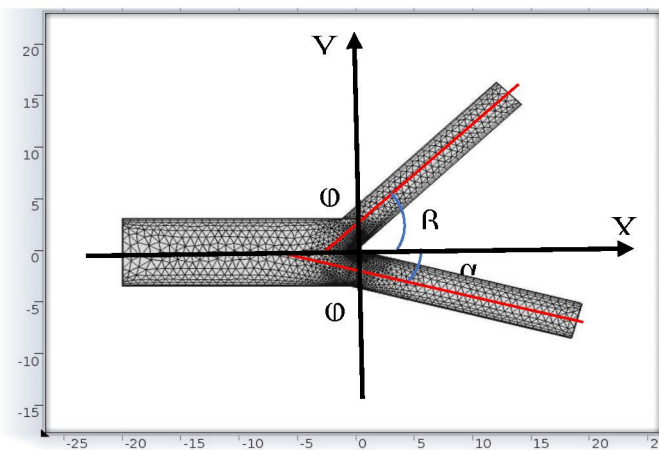


Рис. 1. Геометрическая модель, построенная по заданным параметрам (описание в тексте).

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).

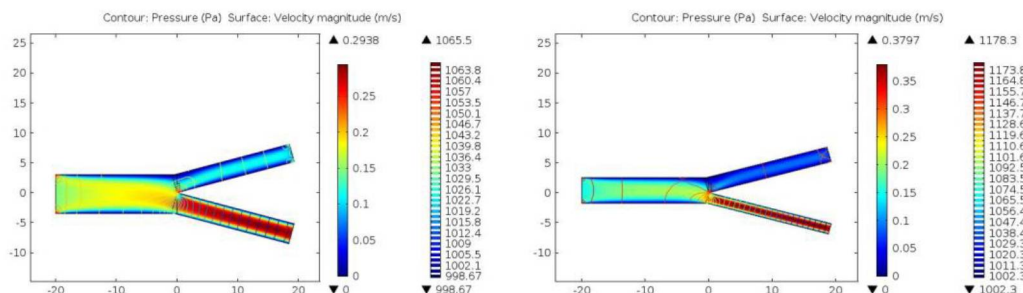


Рис. 2. Изменение скорости сдвига и давления в исследуемой области при угле разделения 33° у мужчины (слева) и женщины (справа): скорость сдвига выделена

цветом: min – синим, max – красным, изменение давления показано контурными линиями: min – синим, max – красным.

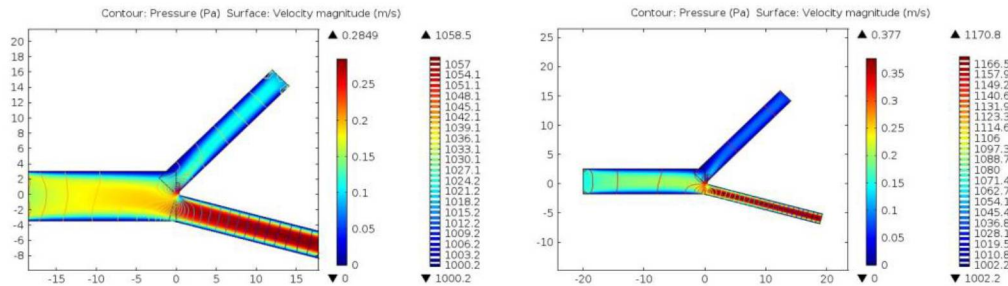


Рис. 3. Изменение скорости сдвига и давления в исследуемой области при угле разделения 59° у мужчины (слева) и женщины (справа): скорость сдвига выделена цветом: min – синим, max – красным, изменение давления показано контурными линиями: min – синим, max – красным.

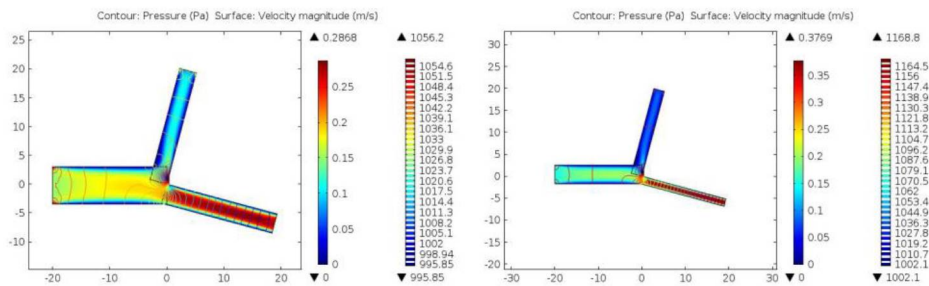


Рис. 4. Изменение скорости сдвига и давления в исследуемой области при угле разделения 94° у мужчины (слева) и женщины (справа): скорость сдвига выделена цветом: min – синим, max – красным, изменение давления показано контурными линиями: min – синим, max – красным.

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 φ_2 . При этом оптимальным углом разделения плечевой артерии на локтевую и лучевую артерии, при котором развитие атеросклероза минимально, является угол 33° . Также необходимо учитывать диаметр материнского и дочернего сосудов. Так, у женщин с углом бифуркации 33° и меньшим диаметром сосудов, риск повреждения эндотелия сосуда в области латерального угла φ_2 в 2 раза выше, чем у мужчин с таким же углом бифуркации, но большим диаметром сосуда.

Выводы. Таким образом, в результате исследования установлено, что 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). Наибольшая скорость сдвига потока крови на стенке сосуда наблюдается в области латерального угла лучевой артерии. Оптимальным углом разделения плечевой артерии, при котором развитие сосудистой патологии минимально, является угол 33° . При выявлении морфометрических предпосылок формирования сосудистой патологии помимо угла разделения плечевой артерии на локтевую и лучевую артерии необходимо также учитывать диаметр плечевой и лучевой артерий, поскольку у женщин с апикальным углом α , равным 33° , и меньшим диаметром сосудов, риск повреждения эндотелия в области латерального угла ϕ_1 в 2 раза выше, чем у мужчин с таким же углом α , 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 // 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.