

*Р.Г. Грынцевич*

## **АНАТОМИЧЕСКИЕ И ГЕМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ РАЗВИТИЯ ЗАБОЛЕВАНИЙ АРТЕРИЙ ВЕРХНЕЙ КОНЕЧНОСТИ**

*УО «Белорусский государственный медицинский университет»,  
г. Минск, Беларусь*

*В статье представлены анатомические варианты артерий верхней конечности, некоторые из которых могут предрасполагать развитию заболеваний сосудов верхней конечности. Методом математического моделирования показаны особенности кровотока в месте разветвления плечевой артерии на локтевую и лучевую, установлен оптимальный угол разделения плечевой артерии, равный  $33^\circ$ , встречающийся у людей-астеников.*

**Ключевые слова:** *артерии верхней конечности, варианты анатомии, гемодинамика.*

*R.H. Hryntsevich*

## **ANATOMICAL AND HEMODYNAMIC PREREQUISITES FOR THE DEVELOPMENT OF DISEASES OF THE ARTERIES OF AN UPPER LIMB**

*The article presents anatomical variants of the arteries of the upper limb, some of which may predispose to the development of diseases of the vessels of the upper limb. The method of mathematical modeling shows the features of the blood flow at the site of branching of the brachial artery into the ulnar and radial arteries, the optimal angle of division of the brachial artery is established, equal to  $33^\circ$ , which occurs in asthenic people.*

**Keywords:** *arteries of upper limb, variants of anatomy, hemodynamics.*

**Актуальность.** Установление морфологических и гемодинамических предпосылок формирования сосудистой патологии верхней конечности в настоящее время является актуальным направлением в связи с значительным количеством заболеваний сердечно-сосудистой системы, которые на сегодняшний день занимают лидирующее положение в структуре смертности населения [1]. Ишемические поражения являются самыми распространёнными в практике врача-сосудистого хирурга, при этом заболевания сосудистой системы верхней конечности, которые приводят к ишемии, тромбозу, аневризмам, встречаются гораздо реже в сравнении с заболеваниями сосудов нижней конечности, что связано с особенностями анатомии этих областей [2]. Сосудистая система обладает большими резервами, она достаточно пластична к изменяющимся условиям гемодинамики. В случаях, когда существующих анастомозов недостаточно, возможен неоангиогенез. Одной из особенностей артерий верхней конечности является вариабельность расположения и отхождения сосудов [3]. Вариабельность артериальных сосудов может быть обусловлена особенностями их развития в антенатальном периоде онтогенеза, что в дальнейшем может сказаться на кровотоке в них. Таким образом, знание

вариантов анатомии кровеносных сосудов верхней конечности имеет большую практическую значимость, поскольку с каждым годом растёт количество диагностических манипуляций, связанных с доступом к другим кровеносным сосудам (аорте, коронарным артериям и др.) и сердцу при установке стентов и графт-стентов, развитием сосудистой и реконструктивной хирургии, потому что верхняя конечность является местом многочисленных травм, в том числе открытых переломов с повреждением плечевой, локтевой или лучевой артерий, вывихов и прочих [4]. Кроме того, варианты анатомии артерий способны изменять в них кровоток, что приводит к развитию сосудистых заболеваний [2].

**Цель:** выявить анатомические и гемодинамические предпосылки развития заболеваний артерий верхней конечности.

**Материалы и методы исследования.** Макроскопическим методом изучено 20 препаратов верхней конечности у 10 людей (женского пола – 5, мужского пола – 5) в возрасте 45-70 лет. Изучено 25 ангиограмм артерий верхней конечности (ретроспективный анализ) людей в возрасте 20-80 лет, полученных методом рентгенэндоваскулярной хирургии, выполненные на ангиографическом комплексе Toshiba Infinix CS-I с двухпроекционной системой флюороскопии с применением рентгенконтрастных веществ. Все исследуемые не страдали заболеваниями соединительной ткани и патологией сосудов верхней конечности. С использованием стандартных антропометрических инструментов (штангенциркуль, мерная лента, транспортир) проводились измерения углов бифуркации плечевой артерии на локтевую и лучевую артерии, а также диаметры указанных артерий (морфометрический и соматометрический метод). С помощью индекса Соловьёва определены типы конституции человека (по длине окружности запястья) (таблица 1).

Таблица 1  
Типы конституции человека (по индексу Соловьёва)

Тип конституции	Индекс Соловьёва (длина окружности запястья) (см)	
	Мужчины	Женщины
Астеник	< 18	< 15
Нормостеник	18-20	15-17
Гиперстеник	> 20	> 17

Для изучения гемодинамических предпосылок формирования атеросклеротических бляшек и аневризм в сосудах верхней конечности с помощью математического моделирования изучено двумерное поле скоростей течения и распределение давления в зоне бифуркации плечевой артерии на локтевую и лучевую артерии. Модельные расчеты проводились с помощью программного комплекса COMSOL 4.0, который решает системы нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных методом конечных

элементов в двух измерениях. Полученные результаты обработаны статистически в программе STATISTICA 10.0.

**Результаты и выводы.** В результате исследования установлены анатомические предпосылки развития заболеваний артерий верхней конечности у взрослого человека в виде различных вариантов их анатомии. Согласно результатам ретроспективного анализа артериограмм, можно выделить несколько вариантов анатомии артерий верхней конечности, таких как: *высокое положение* разделения плечевой артерии (4 верхних конечности, 16%) – это разделение плечевой артерии на локтевую и лучевую артерии, которое расположено выше локтевой ямки на границе средней и нижней трети предплечья, *низкое положение* разделения плечевой артерии (4 верхних конечности, 16%) – находится на уровне межкостной мембраны предплечья, *верхнелоктевое положение* разделения плечевой артерии (1 верхняя конечность, 4%) – топография разделения плечевой артерии на локтевую и лучевую артерии в верхней части локтевой ямки на уровне мыщелков плечевой кости, *нижнелоктевое положение* разделения плечевой артерии (11 верхних конечностей, 44%) – положение разделения плечевой артерии на уровне головки лучевой кости, *анастомозирование локтевой и лучевой артерии* (2 верхние конечности, 8%) – вариант анатомии артерий верхней конечности, который характеризуется наличием дополнительного артериального сосуда между локтевой и лучевой артериями, *высокое отхождение локтевой артерии* (1 верхняя конечность, 4%), при котором локтевая артерия начинается от подгрудного отдела подмышечной артерии, немного ниже отхождения подлопаточной артерии, в этом случае задняя межкостная артерия отходит от локтевой артерии (2 верхние конечности, 8%).

При макроскопическом изучении на препаратах верхних конечностей взрослого человека (трупный материал) были выделены следующие варианты анатомии артерий: *«классический вариант»* (12 верхних конечностей, 60%) – это вариант анатомии, при котором разделение плечевой артерии на локтевую и лучевую артерии находится на уровне головки лучевой кости, *расположение разделения плечевой кости на уровне мыщелков плечевой кости* (4 верхних конечности, 20%), *трифуркация плечевой артерии* (2 верхние конечности, 10%) – вариант анатомии артерий верхней конечности, при котором плечевая артерия делится не на две артерии, как в классическом варианте, а на три – локтевую, лучевую и возвратную лучевую артерии, *высокое отхождение возвратной лучевой артерии* (1 верхняя конечность, 5%) – вариант анатомии артерий верхней конечности, при котором возвратная лучевая артерия отходит не от лучевой артерии, а от плечевой артерии, *удвоение плечевой артерии* (1 верхняя конечность, 5%) – редкий вариант анатомии артерий верхней конечности, характеризующийся отхождением от подмышечной артерии двух плечевых артерий – поверхностной и глубокой, дистальнее обе артерии

делятся на конечные ветви: поверхностная плечевая артерия – на поверхностную локтевую и лучевую артерии, глубокая – на глубокую локтевую и лучевую артерии.

Для установления гемодинамических предпосылок развития заболеваний артерий верхней конечности были произведены математические расчеты с помощью программного комплекса COMSOL 4.0, способного решать системы нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных методом конечных элементов в двух измерениях. В результате получено поле скоростей течения и распределения давления. В построении модели не учитывался факт наличия интимальных атеросклеротических утолщений в зоне бифуркации. Морфометрически определены параметры, необходимые в построении математической модели кровотока в области бифуркации плечевой артерии на локтевую и лучевую артерии (таблица 2).

Таблица 2.  
Параметры, необходимые для построения математической модели

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

При изменении геометрических параметров изменяется локальная скорость кровотока, а также число Рейнольдса ( $Re$ ) и перепад давления. Геометрическая модель, построенная методом численного моделирования, представлена на рисунке 1.

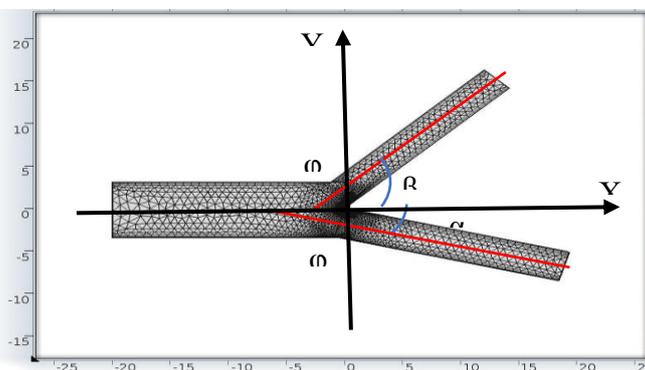


Рис.1 – Геометрическая модель, построенная по заданным параметрам

Геометрическая модель представляет собой материнский сосуд (плечевую артерию), разделяющийся на дочерние (локтевую и лучевую артерию), при этом площадь сечения локтевой и лучевой артерий 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. Морфометрически было установлено, что среднее значение угла  $\beta$  для астеников составляет  $33^\circ$ , для нормостеников –  $59^\circ$ , для гиперстеников –  $94^\circ$ .

При изменении угла разделения плечевой артерии на локтевую и лучевую в геометрической модели установлены параметры кровотока в виде изменения локальной скорости течения и перепада давления.

В результате моделирования кровотока установлено, что максимальное воздействие потока крови наблюдается на стенку апикального угла бифуркации. Здесь давление крови максимальное, поскольку кровь 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 на стенке сосуда наблюдается в области латерального угла  $\varphi_2$ . При этом оптимальным углом разделения плечевой артерии, при котором развитие атеросклероза минимально, является значение угла -  $33^\circ$ . Кроме того, важную роль играют диаметры материнского и дочернего сосудов, различие которых наблюдается у мужчин и женщин.

Так, у женщин с углом разделения  $33^\circ$  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 разделения, но большим диаметром сосуда.

Таким образом, на основании проведенного исследования установлен оптимальный угол разделения плечевой артерии на локтевую и лучевую артерии ( $33^\circ$ ), который наблюдается как правило у людей астеничного телосложения.

У гиперстеников вероятность возникновения атеросклероза в связи с большей силой воздействия потока крови на стенку сосуда наибольшая. Выявлены 12 вариантов анатомии артерий верхней конечности у взрослого человека, которые могут сказаться на гемодинамике в сосудах и могут привести к формированию атеросклеротических бляшек и развитию аневризм в области их бифуркации.

### Литература

1. Зорина, З. Вариабельность подмышечной и плечевой артерии в морфоклиническом аспекте : автореф. дисс. ... на соиск. учен. степ. канд. мед. наук : 14.03.01 / З. Зорина. – Кишинёв, 2021. – 23 с.

2. Каримов, Т. Н. Нарушение гемодинамики и ишемии при дистальных повреждениях артерий верхних конечностей / Т. Н. Каримов, Д. Д. Сурганов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2015. – № 1-Т1(156). – С. 35–39.
3. Шамрина, Н. С. Выбор артериального доступа для выполнения рентгенэндоваскулярных вмешательств на коронарных артериях / Н. С. Шамрина, А. А. Ширяев // Руководство по рентгеноэндоваскулярной хирургии сердца и сосудов. – Москва : Медгиз, 2008. – С. 398–455.
4. Калинин, Р. Е. Варианты клинической анатомии артерий верхней конечности / Р. Е. Калинин, И. А. Сучков, Н. Д. Мжаванадзе // Вестник Авиценны. – 2017. – № 19(1). – С. 113–119.