

*М.Д. Слащёва*

**МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕМОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ  
БЕДРЕННОЙ АРТЕРИИ В ОБЛАСТИ ОТВЕТВЛЕНИЯ ОТ НЕЕ ГЛУБОКОЙ  
АРТЕРИИ БЕДРА У ВЗРОСЛОГО ЧЕЛОВЕКА**

*Научные руководители: д-р мед. наук, проф. Н.А. Трушель,*

*канд. техн. наук, доц. В.А. Мансуров*

*Кафедра нормальной анатомии*

*Кафедра медицинской и биологической физики*

*Белорусский государственный медицинский университет г. Минск*

*M.D. Slashcheva*

**MORPHOLOGICAL AND HEMODYNAMIC FEATURES IN THE AREA  
OF BRANCHING OF THE ROUGH FEMORAL ARTERY FROM THE FEMORAL  
IN ADULT HUMANS**

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

*Department of Normal Anatomy*

*Department of Medical and Biological Physics*

*Belarusian State Medical University, Minsk*

**Резюме.** Установление морфологических и гемодинамических особенностей бедренной артерии в области ответвления от нее глубокой артерии бедра является актуальным направлением в связи с большой распространенностью в Республике Беларусь атеросклеротических изменений бедренной артерии (47% пациентов на 1,537 млн. жителей в возрасте 60-75 лет), которые могут вызывать изменение кровотока, что приводит к деформации артерии и увеличивает риск срыва бляшки.

**Ключевые слова:** атеросклероз, бедренная артерия, гемодинамика.

**Resume.** The establishment of morphological and hemodynamic features of the femoral artery in the area of the deep femoral artery branch from it is an urgent direction due to the high prevalence of atherosclerotic changes in the femoral artery in the Republic of Belarus (47% of patients per 1.537 million inhabitants aged 60-75 years), which can cause changes in blood flow, which leads to arterial deformation and increases the risk of plaque rupture.

**Keywords:** atherosclerotic disease, femoral artery, blood flow changes.

**Актуальность.** Исследование морфологических и гемодинамических особенностей бедренной артерии в области ответвления от нее глубокой артерии бедра является актуальным направлением в связи с распространенностью в этой области атеросклеротических проявлений. В Республике Беларусь 47% пациентов на 1,537 млн. жителей в возрасте 60-75 лет страдают этой патологией.

**Цель:** установить анатомические, морфометрические и гемодинамические особенности в области ответвления глубокой артерии бедра от бедренной артерии.

**Задачи:**

1. Установить морфометрические показатели (диаметр, угол ответвления) в области ответвления глубокой артерии бедра от бедренной артерии у взрослого человека.

2. Методом математического моделирования построить трехмерную модель и выявить особенности кровотока, основываясь на полученных морфометрических данных.

**Материалы и методы.** Материалом для исследования послужили архивные данные ультразвуковой диагностики бедренных сосудов 41 взрослого человека (от 25 до 74 лет), обратившихся в 22-ю городскую поликлинику г. Минска. Методом конечно-разностного интегрирования уравнения движения жидкости при взаимодействии потока с упругой стенкой (*FSI*) были установлены особенности кровотока в области ответвления глубокой артерии бедра от бедренной артерии.

**Результаты и их обсуждение.** Ретроспективный анализ данных УЗИ позволил установить морфометрические показатели артерий в области ответвления глубокой артерии бедра от бедренной артерии у пациентов без атеросклеротических изменений сосудов и с их наличием, которые представлены в таблицах 1 и 2 [1].

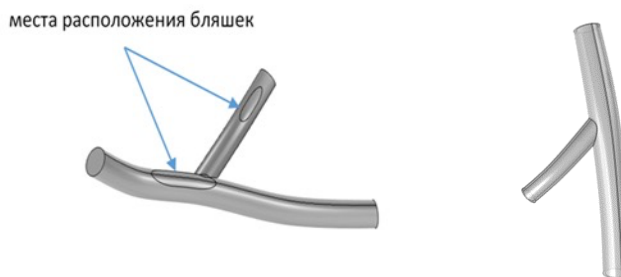
**Табл. 1.** Морфометрические показатели бедренной артерии и глубокой артерии бедра пациентов контрольной группы (без атеросклеротического сужения)

Морфометрические данные бедренной артерии и глубокой бедренной артерии без атеросклеротического сужения		
	Диаметр, мм	Угол бифуркации, °
Бедренная артерия	9,1	20
Бедренная артерия после бифуркации	8,9	
Глубокая бедренная артерия	7,6	

**Табл. 2.** Морфометрические показатели бедренной артерии и глубокой артерии бедра пациентов опытной группы (с атеросклеротическим сужением)

Морфометрические показатели бедренной артерии и глубокой артерии бедра				
	Диаметр, мм	Стеноз, мм	Просвет сосуда с учетом диаметра стеноза, мм	Угол бифуркации, °
Бедренная артерия	9,4	3,3	6,1	20
Бедренная артерия после бифуркации	9,3	3,2	6,1	
Глубокая артерия бедра	8,2	3,15	5,05	

На основании полученных морфометрических данных, была построена численная геометрическая модель ответвления глубокой бедренной артерии от бедренной артерии пациентов обеих групп (рис. 1). С помощью геометрической модели был произведен расчет напряженно деформированного состояния стенки сосуда и гемодинамики внутри сосудов *FSI*.



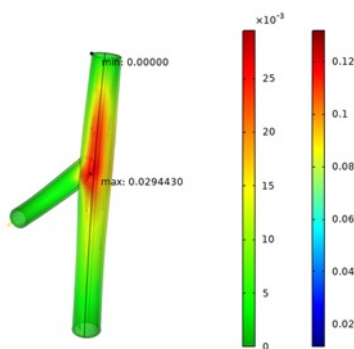
**Рис. 1** – Трехмерная модель ответвления глубокой артерии бедра от бедренной артерии с наличием и без атеросклеротического сужения

**Начальные и граничные условия.** Известно, что средние скорости течения на входе толстого дочернего сосуда находятся в диапазоне  $10,7 \div 18,5$  см/с (среднее значение – 15 см/с), на входе тонкого дочернего сосуда –  $12 \div 19,5$  см/с (среднее значение – 16 см/с). На стенке сосуда условия прилипания, окончание отрезков сосудов – неподвижны. Механические свойства сред показаны в таблице 3 [5].

**Табл. 3.** Свойства сред

Свойство	Жидкость	Упругость
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1050	1150
Вязкость, мПа·с	5	-
Модуль Юнга, Па	-	$10^5$
Коэффициент Пуассона	-	0,45

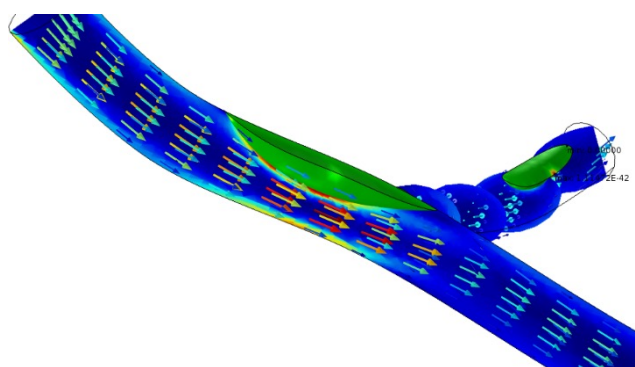
Поток жидкости может деформировать стенку, поэтому для численного моделирования профиля течения в непрерывно деформируемой геометрии необходимо использовать метод Лагранжа-Эйлера (ALE – arbitrary Lagrange-Euler) [4]. Метод ALE использует динамику деформирующей геометрии и движущихся границ с помощью движущейся сетки (moving mesh). Стенка сосуда является деформируемым материалом под воздействием нагрузки и поток жидкости следует по новому пути. Результаты математического моделирования показали, что статическое давление оказывает значительное действие на стенку сосуда вызывая абсолютную её деформацию (0.02 мм) (рис 2). Эта деформация способствует увеличению риска возникновения аневризмы.



**Рис. 2** – Точка наибольшей деформации стенки сосудов в области ответвления глубокой артерии бедра от бедренной артерии без атеросклеротического сужения

Наличие бляшки в материнском сосуде сужает его просвет. Основываясь на уравнение неразрывной струи, скорость течения крови в просвете увеличивается, значит происходит увеличение динамического давления [2]. В результате, согласно уравнению Бернулли, понижается статическое давление и появляется дополнительное давление со стороны крови на стенку. Стенка артерий начинает сжиматься (рис 3).

У пациентов с атеросклеротическим сужением сосудов изменяется модуль и направление вектора скорости перед бляшкой дочернего сосуда, что приводит к возникновению вихревого движения потока [5], при котором жидкость перемещается не только поступательно, но и вращаясь вокруг оси. В таком случае элементарные объемы жидкости имеют мгновенную угловую скорость вращения, отличную от нуля, что способствует процессам атерогенеза изучаемых артерий.



**Рис. 3** – Моделирование кровотока в области ответвления глубокой артерии бедра от бедренной артерии с атеросклеротическими бляшками

На стенку сосуда действует сила в тангенциальной плоскости, при этом величина и направление этого вектора является причиной напряжения сдвига на сосудистой стенке (WSS), связанной с градиентом скорости на стенке  $WSR = \left. \frac{\partial u}{\partial y} \right|_{wall}$

$$WSS = \vec{\tau}_w = \mu \cdot WSR$$

здесь  $\vec{u}$  - вектор скорости течения,  $\mu$  - вязкость жидкости.

В работе [6] показано, что имеется сильная связь между вихревой структурой течения и связанным с ней повышенным WSS, которое, как известно, оказывает воздействие на эндотелий.

С увеличением скорости тока крови появляется касательное напряжение на стенке сосудов, которое возникает при увеличении градиента скорости и вязкости крови. Это давление действует на бляшку, что может привести к её срыву (рис 5) [3]. В материнском сосуде давление на бляшку составляет 196 Па, в дочернем 65 Па. На графике видны точки где касательное напряжение имеет большее значение при градиенте скорости, равном  $135 \text{ сек}^{-1}$ .

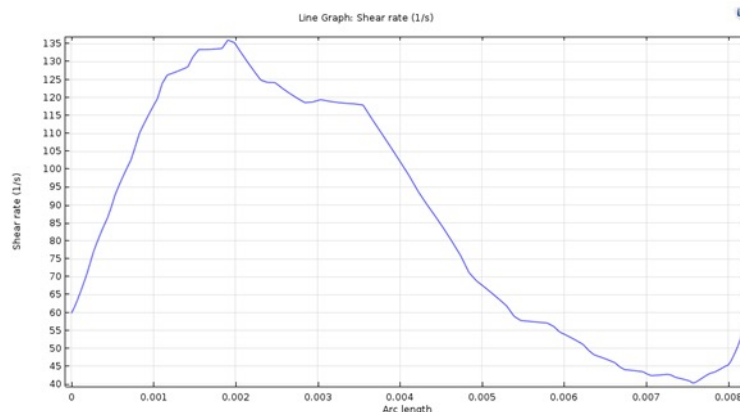


Рис. 5 – Зависимость градиента скорости кровотока от длины бляшки

**Выводы.** На основании полученных морфологических и морфометрических показателей бедренных сосудов посредством трехмерного моделирования установлен кровоток в области ответвления глубокой артерии бедра от бедренной артерии у пациентов без атеросклеротических бляшек и с их наличием. Установлено, что сужение в этой области артерий с атеросклеротическими изменениями увеличивается скорость течения крови, что вызывает появление градиента скорости на бляшке, приводящее к увеличению касательного напряжения на стенке сосуда, что может спровоцировать ее срыв бляшки.

### Литература

1. Дутикова, Е.Ф. Ультразвуковые исследования магистральных артерий конечностей: метод. Рекомендации для врачей ультразвуковой диагностики, сосудистых хирургов, кардиологов/ Е.Ф. Дутикова, Ю.А. Зюляева // Государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы «Научно-практический центр медицинской радиологии Департамента здравоохранения города Москвы».: - Москва, 2018. - 24 с.
2. Современные возможности дуплексного сканирования в планировании и динамическом наблюдении пациентов с дистальными реконструктивными вмешательствами на артериях нижних конечностей / И. Е. Тимина, Е. А. Бурцева, А. Е. Зотиков и др. // Медицинская визуализация. – 2014. - №5. – С.74-82.
3. Femoral Artery Atherosclerosis Is Associated With Physical Function Across the Spectrum of the Ankle-Brachial Index [Электронный ресурс].- Режим доступа: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5586297/> . (дата обращения): 28.05.2025.
4. Jordi Alastruey, Kim H. Parker, Spencer J. Sherwin Arterial pulse wave haemodynamics // <https://www.researchgate.net/publication/25600907>. (дата обращения: 20.04.2025).
5. Kevin Sunderland, Wenkai J, Weilue Í, Jingfeng Jiang, Feng Zhao Impact of Spatial and Temporal Stability of Flow Vortices on Vascular Endothelial Cells // Biomech Model Mechanobiol 2023 February; 22(1). Pp. 71-83.
6. Kevin Sunderland, Wenkai J, Weilue Í, Jingfeng Jiang, Feng Zhao Impact of Spatial and Temporal Stability of Flow Vortices on Vascular Endothelial Cells // Biomech Model Mechanobiol 2023 February; 22(1). Pp. 71-83.