

УДК 611.41:611.13]-007.62

DOI: <https://doi.org/10.17816/PAVLOVJ321742>

# Морфометрические особенности различного вида бифуркаций внутриоргального артериального русла селезенки у лиц разного пола и возраста

А. Ш. Дадашев<sup>1</sup>, О. К. Зенин<sup>2</sup> ✉, И. С. Милтых<sup>2</sup>, Э. С. Кафаров<sup>1</sup><sup>1</sup> Чеченский государственный университет имени А. А. Кадырова, Грозный, Российская Федерация;<sup>2</sup> Пензенский государственный университет, Пенза, Российская Федерация

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** Сегодня в морфологии намечилось перспективное направление — исследования артериального русла различных органов человека как фрактальной или квазифрактальной системы. Были предложены концептуальные модели, позволяющие количественно описывать особенности сосудистого русла. Такой подход будет способствовать созданию морфометрического эталона внутриоргального русла, что поможет объективной диагностики возможных отклонений от нормального строения.

**Цель.** Установить морфометрические особенности различного вида бифуркаций внутриоргального артериального русла селезенки у лиц разного пола и возраста.

**Материалы и методы.** Были изучены характеристики внутриоргального артериального русла селезенки 67 человек, умерших от внезапной смерти и случайных причин в возрасте от 21 до 60 лет. Русло было представлено в виде связанных графов, где вершины соответствовали точкам разветвлений артерий, а ребра — артериальным сегментам. На коррозионных препаратах измеряли диаметр и длину артериального сегмента. На основании данных морфометрии определяли величины следующих показателей: номер генерации, уровень деления, фактор формы FF1, коэффициент ветвления  $\eta$  и коэффициент асимметрии  $\gamma$ . Статистический анализ проведен с использованием языка R.

**Результаты.** Общее число исследованных артериальных бифуркаций составило 6840 шт. Исследуемые бифуркации располагались на 20 уровнях деления и составляли 8 генераций. В структуре русла преобладают бифуркации нейтрального (0) вида, относительное количество которых составляет 51%. Менее всего представлены бифуркации 2 вида — 9%. Промежуточное положение занимают открытые (1) бифуркации, относительное количество которых составляет 40% в структуре русла.

**Выводы.** Внутриорганное артериальное русло селезенки представляет собой квазифрактальную систему, состоящую из трех видов бифуркаций — открытых, нейтральных и закрытых. Относительное количество различных видов бифуркаций неодинаково у лиц разного пола и возраста, а также связано с номером генерации и уровнем деления.

**Ключевые слова:** селезенка; внутриорганное артериальное русло; виды бифуркаций

## Для цитирования:

Дадашев А.Ш., Зенин О.К., Милтых И.С., Кафаров Э.С. Морфометрические особенности различного вида бифуркаций внутриоргального артериального русла селезенки у лиц разного пола и возраста // Российский медико-биологический вестник имени академика И. П. Павлова. 2024. Т. 32, № 1. С. 81–92. DOI: <https://doi.org/10.17816/PAVLOVJ321742>

DOI: <https://doi.org/10.17816/PAVLOVJ321742>

# Morphometric Features of Different Types of Bifurcations in the Splenic Intraorgan Arterial System in Individuals of Different Gender and Age

Ali S. Dadashev<sup>1</sup>, Oleg K. Zenin<sup>2</sup> ✉, Ilia S. Milykh<sup>2</sup>, Edgar S. Kafarov<sup>1</sup><sup>1</sup> Kadyrov Chechen State University, Grozny, Russian Federation;<sup>2</sup> Penza State University, Penza, Russian Federation

## ABSTRACT

**INTRODUCTION:** A promising direction that has recently emerged in morphology is investigation of the arterial bed of various human organs as fractal or quasi-fractal systems. Conceptual models have been developed permitting a quantitative description of the vascular bed features. This approach will help to create a morphometric standard of the intraorgan blood flow, which will be useful in objective diagnosis of probable deviations from the normal structure.

**AIM:** To identify the morphometric features of various types of bifurcations of the splenic intraorgan arterial bed in individuals of different gender and age.

**MATERIALS AND METHODS:** The characteristics of the splenic intraorgan arterial bed have been studied in 67 individuals who died suddenly and from accidental causes at the age of 21 to 60 years. The arterial bed was represented as connected graphs with vertices corresponding to the bifurcation points of arteries, and edges to the arterial segments. The diameter and length of an arterial segment were measured on corrosion preparations. Based on the morphometry data, the following parameters were determined: generation number, division level, form factor FF1, branching factor  $\eta$  and asymmetry factor  $\gamma$ . Statistical analysis was carried out using the R language.

**RESULTS:** The total number of examined arterial bifurcations was 6,840. The examined bifurcations were located at 20 division levels and presented 8 generations. In the structure of the vascular bed, bifurcations of neutral kind (0) predominated with the relative quantity 51%. The least numerous was type 2 bifurcations — 9%. The intermediate position was taken by open (1) bifurcations accounting for about 40% in the vascular bed structure.

**CONCLUSIONS:** The intraorgan arterial bed of the spleen is a quasi-fractal system consisting of three types of bifurcations — open, neutral and closed. A relative number of different types of bifurcations differs depending on gender and age and is also related to the generation number and division level.

**Keywords:** *spleen; intraorgan arterial bed; bifurcation types*

## For citation:

Dadashev AS, Zenin OK, Milykh IS, Kafarov ES. Morphometric Features of Different Types of Bifurcations in the Splenic Intraorgan Arterial System in Individuals of Different Gender and Age. *I. P. Pavlov Russian Medical Biological Herald*. 2024;32(1):81–92. DOI: <https://doi.org/10.17816/PAVLOVJ321742>

Received: 29.03.2023

Accepted: 19.04.2023

Published: 31.03.2024

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ДИ — доверительный интервал

## ВВЕДЕНИЕ

Селезенка является одним из наиболее важных органов иммунной системы [1]. Удаление селезенки ведет к нарушению многих функций этой системы. В связи с ростом травматических повреждений селезенки остро стоит вопрос о проведении органсберегающих (частичная резекция поврежденных тканей) операций [2]. Кроме того, активно обсуждается проблема ранней объективной диагностики патологии селезенки, основанной на поиске количественных критериев нормы. Разработка подобного рода методик невозможна без основательного теоретического изучения, каковым является морфологическое исследование внутриоргана артериального русла селезенки [3, 4].

Сегодня в морфологии намечилось перспективное направление — исследование артериального русла различных органов человека как фрактальной или квазифрактальной системы [5, 6]. Были предложены концептуальные модели, позволяющие количественно описывать особенности сосудистого русла. По мнению авторов работы, такой подход, будет способствовать созданию морфометрического эталона внутриоргана русла, что поможет объективной диагностики возможных отклонений от нормального строения [7]. Одной из таких моделей является дихотомическая модель, т. е. представление русла как структуры, состоящей из взаимосвязанных бифуркаций (дихотомий). Эта модель интересна еще и тем, что повреждение артерий наиболее часто возникают в местах их разветвлений [8, 9].

Как было показано ранее, бифуркации структурно отличаются друг от друга. Выделяют бифуркации различных групп [7] и типов [10]. Однако, представленные морфологические варианты не описывают всего структурного многообразия бифуркаций. Умозрительно, бифуркации внутриоргана артериального русла селезенки можно разделить на три вида: 1 вид — открытый (величина внутреннего диаметра материнского артериального сегмента ( $D$ ) меньше суммы внутренних диаметров дочерних артериальных сегментов ( $d_{\max}$  и  $d_{\min}$ ),  $D < d_{\max} + d_{\min}$ ); 0 вид — нейтральный (величина внутреннего диаметра материнского артериального сегмента равна сумме внутренних диаметров дочерних сегментов,  $D = d_{\max} + d_{\min}$ ); 2 вид — закрытый (величина внутреннего диаметра материнского артериального сегмента больше суммы внутренних диаметров дочерних сегментов,  $D > d_{\max} + d_{\min}$ ).

**Цель** — установить морфометрические особенности различного вида бифуркаций внутриоргана

артериального русла селезенки у лиц разного пола и возраста.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В данном исследовании были изучены характеристики внутриоргана артериального русла селезенки 67 человек, умерших от внезапной смерти и случайных причин в возрасте от 21 до 60 лет. Изучение проводилось на коррозионных препаратах. Исследование проведено с соблюдением этических принципов, включая Хельсинскую декларацию Всемирной медицинской ассоциации. Исследование одобрено комитетом по этике Медицинского института Чеченского государственного университета имени А. А. Кадырова (Протокол № 258/24-77 от 16.10.2022). В процессе работы использована возрастная периодизация, принятая на VII Всесоюзной конференции по проблемам возрастной морфологии, физиологии и биохимии в 1965 г.

Для изготовления коррозионных препаратов забор секционного материала проводили в соответствии со следующими критериями: селезенки, полученные на аутопсии у людей обоего пола в возрасте от 21 до 60 лет, погибших от случайных причин (33 мужчин, 34 женщины; 34 человека относились к первому периоду зрелого возраста, 33 — ко второму периоду зрелого возраста), не связанных с патологией селезенки и сосудистого русла. Масса селезенки 150–190 г; отсутствие внешних повреждений. Критерии исключения: возраст пострадавших менее 21 и более 60 лет; механические повреждения селезенки; в анамнезе заболевания селезенки; визуально обнаруженные деформации и аномалии сосудистого русла селезенки.

Регистрировали: пол, возраст, дату смерти, дату вскрытия, дату эксперимента, вес органа, № протокола вскрытия, причину смерти. Коррозионные препараты внутриоргана артериального русла селезенки изготавливали по стандартной методике [11].

Русло было представлено в виде связанных графов, где вершины соответствовали точкам разветвлений артерий, а ребра — артериальным сегментам. Вершины графа нумеровали произвольно и одинаково для всех исследованных случаев [7]. Для каждого артериального сегмента коррозионных препаратов внутриоргана артериального русла селезенки были измерены параметры с использованием пошаговой декомпозиции слепка, а именно: диаметр ( $D$ ) артериального сегмента в его центральной части

(на середине расстояния между ближайшими ветвлениями) в мм и длина (L) артериального сегмента в мм, определяемая как кратчайшее расстояние между двумя ветвлениями с точностью измерения до 0,01 мм. Минимальный диаметр слепков артериальных сегментов, измеренный по данной методике, составил 0,1 мм. Полученные данные заносились в специальные таблицы (Excel, Microsoft Office, США): первый столбец базы — номер протокола; 2 — возрастная группа (1 — первый период зрелого возраста, 2 — второй период зрелого возраста); 3 — пол (1 — мужской, 2 — женский); 4 — условный адрес начала сегмента; 5 — условный адрес конца сегмента; 6 — D (мм); 7 — L (мм).

Для характеристики такой конструкции на основании данных морфометрии определяли величины следующих показателей [7]:

1. Gr — номер генерации — порядковый номер вновь образовавшейся группы артерий, к которой относится данный сегмент. При этом под «артерией» подразумевали линейную конструкцию, состоящую из дочерних сегментов с большим внутренним диаметром;

2. i — уровень деления — вновь образовавшийся ряд артериальных сегментов;

3. FF1 — фактор формы,

$$FF1 = \frac{2L}{D};$$

4.  $\eta$  — коэффициент ветвления,

$$\eta = \frac{d_{max}^2 + d_{min}^2}{D^2};$$

5.  $\gamma$  — коэффициент асимметрии,

$$\gamma = \left(\frac{d_{min}}{d_{max}}\right)^2.$$

Для получения представительной выборки использовали методику многоэтапной гнездовой выборки по Г. Г. Автандилову [12]. Для определения оптимального объема выборки использовали уравнение:

$$N = 2 \times (A + B)^2 \times \frac{S^2}{DIFF^2},$$

где N — рекомендуемый объем выборки для каждой группы; S — среднее квадратичное отклонение анализируемого признака; DIFF — значение эффекта (различия между средними значениями), которое предполагается выявить; A = 1,96 — константа, зависящая от уровня значимости; B = 0,84 — константа, зависящая от мощности критерия; при уровне значимости 5% (A = 1,96) и мощности 80% (B = 0,84).

Общее число исследованных артериальных бифуркаций составило 6840 штук. Исследуемые бифуркации располагались на 20 уровнях деления и составляли 8 генераций.

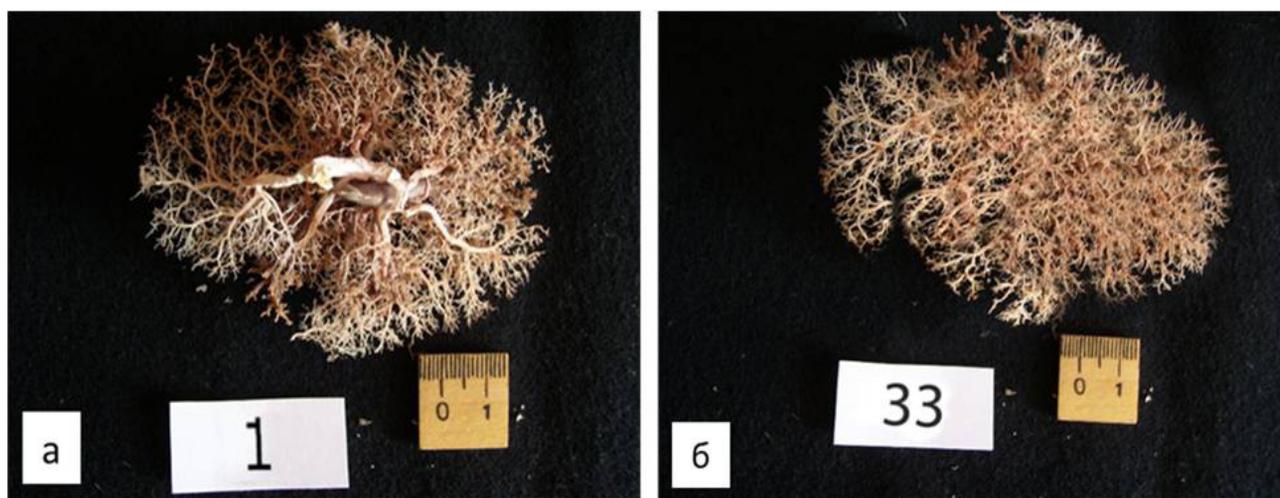


Рис. 1. Примеры коррозионных препаратов внутриоргана артериального русла селезенки: мужчина, 31 год (а); мужчина, 60 лет (б).

Была осуществлена проверка распределений величин изучаемых показателей на соответствие нормальному закону распределения с использованием критерия Колмогорова-Смирнова. Установлено, что характер распределения всех изучаемых показателей абсолютных и относительных отличается от нормального закона распределения (табл. 1).

Для оценки различий в группах применяли критерий Краскела-Уоллиса для независимых выборок. В ходе работы определены медианы, 95% доверительный интервал (ДИ) медианы (Me) и относительное количество категориальных величин на разных генерациях и уровнях деления. Статистический анализ проведен с использованием языка R.

**Таблица 1.** Результаты проверки распределений величин изучаемых показателей на соответствие нормальному закону распределения ( $n = 6840$ ,  $n_1 = 67$ )

Параметры	Результаты анализа	
	Критерий Колмогорова–Смирнова	$p$
Gr	0,188	0,0001
i	0,094	0,001
D, мм	0,210	0,0001
dmax, мм	0,225	0,0001
dmin, мм	0,291	0,0001
L, мм	0,140	0,0001
lmax, мм	0,144	0,0001
lmin, мм	0,155	0,0001
FF1	0,142	0,0001
$\eta$	0,200	0,0001
$\gamma$	0,232	0,0001

Примечания: D — диаметр проксимального сегмента; dmax — диаметр большего дистального сегмента; dmin — диаметр меньшего дистального сегмента; L — длина проксимального сегмента; lmax — длина большего дистального сегмента; lmin — длина меньшего дистального сегмента; FF1 — фактор формы (англ.: *length-to-radius ratio*);  $\gamma$  — коэффициент асимметрии дистальных ветвей;  $p$  — уровень значимости,  $n$  — количество бифуркаций,  $n_1$  — количество коррозионных препаратов

## РЕЗУЛЬТАТЫ

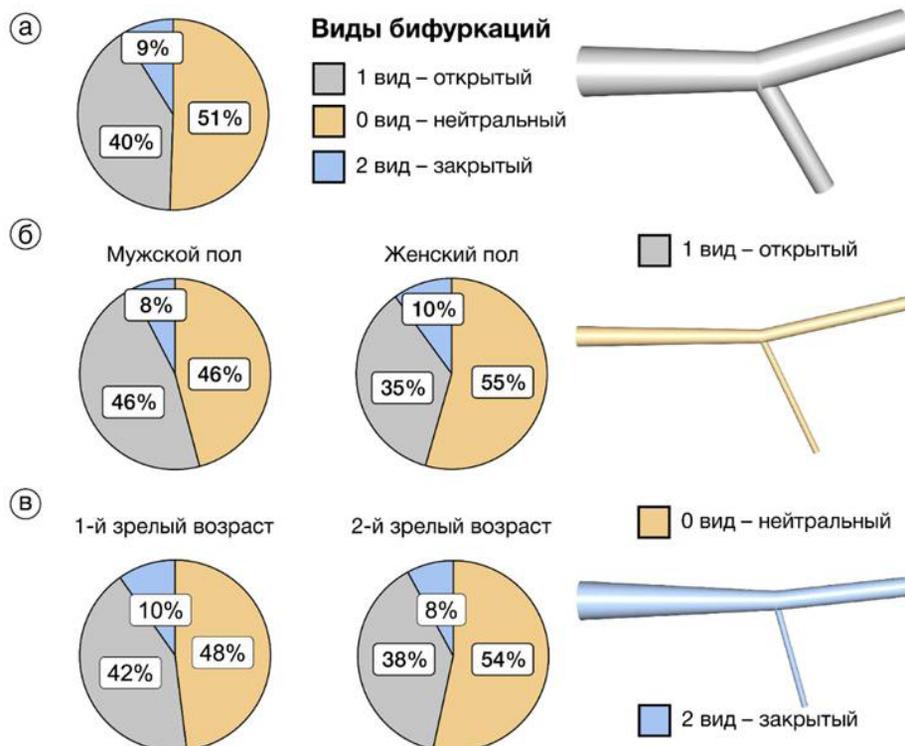
В соответствии с целью исследования все бифуркации были разделены на 3 вида: 1 вид — открытый; 0 вид — нейтральный; 2 вид — закрытый. Установлено, что в структуре ВАРС (рис. 2а) преобладают ( $n = 51\%$ ) бифуркации нейтрального (0) вида. Менее всего (9%) представлены бифуркации 2 вида. Промежуточное положение (40%) занимают открытые (1) бифуркации.

Результаты сравнительного анализа относительного количества бифуркаций различных видов у лиц разного пола и возрастной группы (1-го и 2-го периодов зрелого возраста) представлены на рисунках 2б, 2в. Относительное количество открытых бифуркаций в составе внутриорганный артериального русла селезенки мужского пола (46%) несколько больше, чем у женщин (35%). В противоположность этому, число нейтральных бифуркаций больше в группе женщин (55%), чем у мужчин (46%). Относительное количество закрытых бифуркаций отличается незначительно: 8% у мужчин и 10% у женщин. Нейтральные бифуркации преобладают в группах 1-го и 2-го зрелого возраста с небольшим откликом: 54% в 2-м зрелом и 48% — в 1-м зрелом возрасте. Относительное число открытых и закрытых бифуркаций больше в 1-м зрелом периоде (42% и 10% соответственно), чем во 2-м зрелом возрасте (38% и 8%).

На следующем этапе исследования были определены величины изучаемых морфометрических показателей различных видов бифуркаций внутриорганный артериального русла селезенки (табл. 2).

Таким образом, наибольшим диаметром материнских сегментов обладают открытые бифуркации, наименьшим — нейтральные (табл. 2). Максимальные значения длин сегментов характерны для открытых бифуркаций, минимальные — для нейтральных. Максимальная величина фактора формы FF1 у нейтральных бифуркаций, минимальная — у открытых. Максимальной величиной коэффициента ветвления обладают открытые бифуркации, минимальной — закрытые. Наибольшая величина коэффициента симметрии характерна для нейтральных бифуркаций, наименьшая — для закрытых.

На заключительном этапе был проведен анализ распределения различных видов бифуркаций на разных номерах генераций и уровнях деления внутриорганный артериального русла селезенки. С увеличением номера генерации и уровня деления относительное количество нейтральных бифуркаций увеличивается, открытых уменьшается, а закрытых практически не меняется (рис. 3).



**Рис. 2.** Относительное количество видов бифуркаций внутриоргана артериального русла селезенки: общее (а), в зависимости от пола (б), в зависимости от возраста (в).

**Таблица 2.** Величины (Me (95% ДИ)) изучаемых показателей бифуркаций внутриоргана артериального русла селезенки различных видов ( $n = 6840$ ,  $n_1 = 67$ )

Параметры	Морфофункциональный вид бифуркаций			p
	открытый (1), $D < d_{max} + d_{min}$	нейтральный (0), $D = d_{max} + d_{min}$	закрытый (2), $D > d_{max} + d_{min}$	
Gr	3 (3; 4)	3 (3; 4)	3 (3; 4)	0,0001
i	7 (7; 8)	8 (8; 9)	8 (8; 9)	0,0001
D, мм	0,9 (0,9; 1,0)	0,3 (0,6; 0,7)	0,6 (0,6; 0,7)	0,0001
$d_{max}$ , мм	0,7 (0,7; 0,8)	0,2 (0,2; 0,3)	0,3 (0,3; 0,4)	0,0001
$d_{min}$ , мм	0,4 (0,4; 0,5)	0,1 (0,1; 0,1)	0,1 (0,1; 0,1)	0,0001
L, мм	3,1 (3,1; 3,2)	2,7 (2,7; 2,9)	3,0 (3,0; 3,2)	0,0001
$l_{max}$ , мм	2,7 (2,7; 2,9)	2,2 (2,2; 2,3)	2,0 (2,0; 2,1)	0,0001
$l_{min}$ , мм	2,6 (2,6; 2,7)	2,0 (2,0; 2,1)	1,8 (1,7; 2,0)	0,0001
FF1, мм	7,0 (6,9; 7,4)	17,0 (16,7; 18,0)	9,4 (8,6; 10,0)	0,0001
$\eta$ , мм	0,91 (0,91; 0,94)	0,50 (0,50; 0,50)	0,36 (0,36; 0,39)	0,0001
$\gamma$ , мм	0,44 (0,44; 0,51)	1,0 (1,0; 1,0)	0,25 (0,25; 0,44)	0,0001

*Примечания:* D — диаметр проксимального сегмента;  $d_{max}$  — диаметр большего дистального сегмента;  $d_{min}$  — диаметр меньшего дистального сегмента; L — длина сегмента; FF1 — фактор формы (англ.: *length-to-radius ratio*);  $\eta$  — коэффициент ветвления;  $\gamma$  — коэффициент асимметрии дистальных ветвей; n — количество бифуркаций,  $n_1$  — количество коррозионных препаратов; Me — медиана; ДИ — доверительный интервал; p — уровень значимости критерия Краскела–Уоллиса для независимых выборок

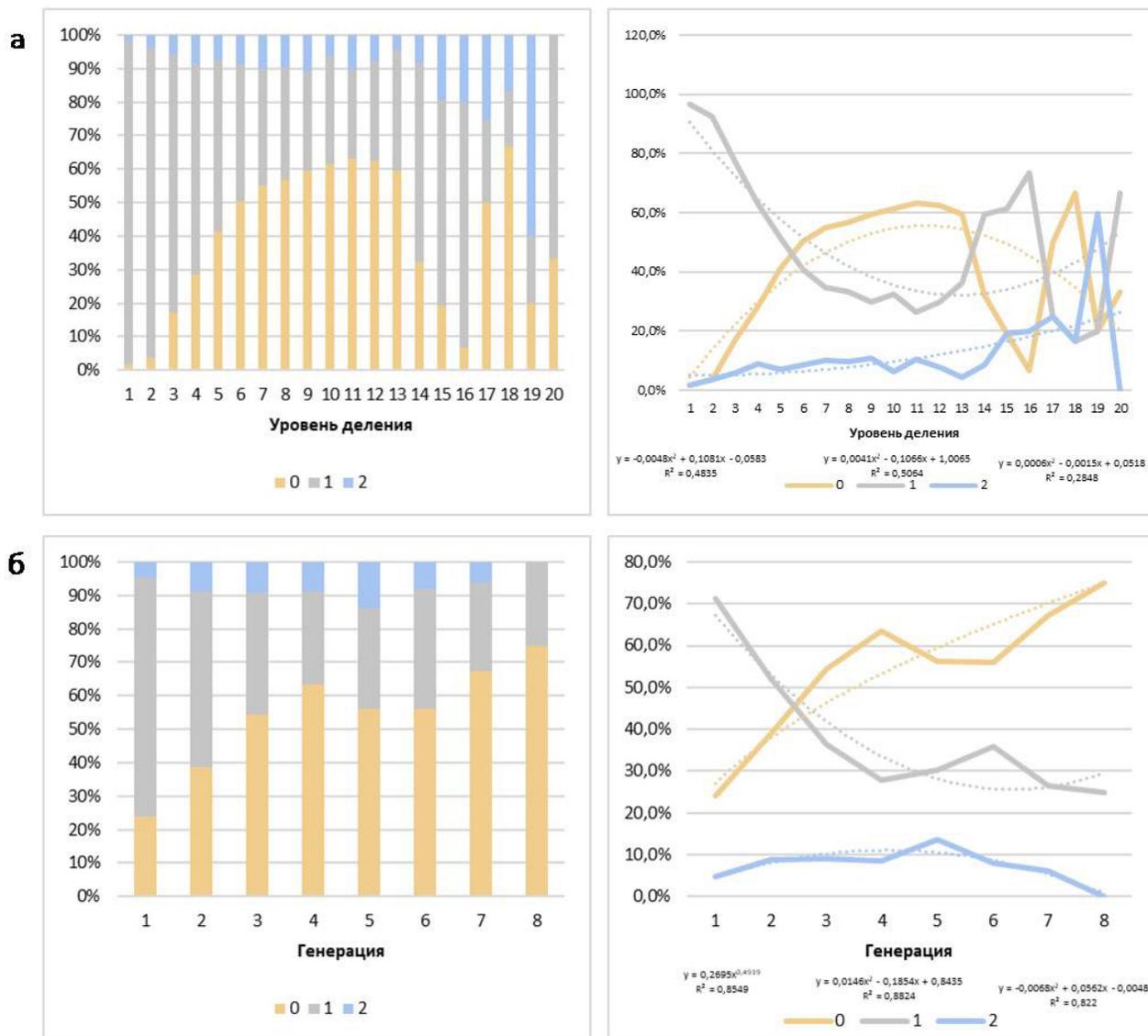


Рис. 3. Распределение разных морфофункциональных видов бифуркаций по уровням деления (а) и номерам генерации (б).

## ОБСУЖДЕНИЕ

Проблема поиска морфологического, точнее морфометрического, эталона и на его основе морфометрического критерия нормы сосудистого русла внутренних органов человека является одной из ключевых задач современной медицины. Сегодня определились два основных, похожие и отличные друг от друга, направления.

Известно, что артериальное русло внутренних органов (в т. ч. селезенки), имеет древовидную форму [6] и разветвляется в глубине или на поверхности органов относительно равномерно. При этом,

сосудистое дерево имеет фрактальную (самоподобную) или точнее квазифрактальную геометрию, что позволяет моделировать и, следовательно, производить количественную оценку этих структур с помощью фрактального анализа [13]. Начало этому направлению было положено Бенуа Мандельбротом в 1975 г. для обозначения нерегулярных, но самоподобных структур [14, 15].

Основной количественной характеристикой фрактального объекта является его фрактальная размерность — мера заполнения пространства исследуемой структурой, в данном случае —

сосудами [16]. Величину этой размерности предлагают использовать в качестве морфометрического эталона нормального строения. Расчет данной величины не вызывает особых трудностей. Метод оценки фрактальной геометрии артериальной сети может быть выполнен при минимальном участии врача-диагноста и служить методом доклинической диагностики нарушений кровообращения. Основным недостатком такого подхода является невозможность точного осознания физического смысла полученных величин. Из-за этого их использование в дальнейших практических и теоретических исследованиях носит ограниченный характер.

Иной подход к исследованию артериального русла внутренних органов предлагают авторы концептуальных моделей сосудистых русел (сегментарная, дихотомическая, стволовая) [6, 7], которые рассматривают русло как систему, состоящую из самоподобных, определенным образом взаимосвязанных структурных элементов — сосудистых сегментов, бифуркаций, стволов. Такой подход позволяет не только определить морфометрический эталон, но и по начальным участкам артериального русла полностью восстановить путем численного моделирования и зная основные морфофункциональные принципы строения, его структуру до уровня гемомикроциркуляторного русла.

Основные модели сосудистого русла:

**Сегментарная модель.** В качестве основной морфофункциональной единицы выступает артериальный сегмент, а русло представлено как конструкция, состоящая из различных сегментов, образующих ряды — уровни деления. При этом, артериальный сегмент определен как участок русла, находящийся между двумя ближайшими разветвлениями уровнями деления.

**Дихотомическая модель.** Артериальное русло рассматривается как конструкция, состоящая из взаимосвязанных дихотомических разветвлений. Артериальное разветвление представляет собой более сложный элемент системы по сравнению с артериальным сегментом и включает в себя материнский сосудистый сегмент, две дочерние ветви и точку разветвления.

**Стволовая модель.** Артериальное русло рассматривается как система, состоящая из взаимосвязанных стволов-артерий. В соответствии с данной моделью, артерия представляет собой линейную конструкцию, которая включает в себя дочерние сегменты с большим диаметром от заданной точки до уровня микроциркуляторного русла.

Наибольшее распространение получила дихотомическая модель. Широко известны работы В. Ру, С. D. Murray, Н. В. М. Uylings, М. Zamir et al., посвященные этому вопросу [17–20]. Считаем, что нет

особой необходимости еще раз повторять это. Однако будет уместным напомнить, что авторы выше-названных работ рассматривали артериальное русло как систему, состоящую из идеальных — «оптимальных» — бифуркаций, ориентированных на проведение крови с минимальными затратами. Однако дальнейшие исследования показали, что внутриорганный русло сердца [10] и почки [7] состоит из структурно-различных групп («оптимальные» и «неоптимальные») и типов (полная асимметрия, боковая асимметрия, односторонняя симметрия и полная симметрия) бифуркаций.

В данном исследовании нами рассматривались три морфометрически различных вида бифуркаций: 1 вид — открытый — величина внутреннего диаметра материнского артериального сегмента ( $D$ ) меньше суммы внутренних диаметров дочерних артериальных сегментов ( $d_{max}$  и  $d_{min}$ ),  $D < d_{max} + d_{min}$ ; 0 вид — нейтральный — величина внутреннего диаметра материнского артериального сегмента равна сумме внутренних диаметров дочерних сегментов,  $D = d_{max} + d_{min}$ ; 2 вид — закрытый — величина внутреннего диаметра материнского артериального сегмента больше суммы внутренних диаметров дочерних сегментов,  $D > d_{max} + d_{min}$ .

Полученные результаты убедительно свидетельствуют о наличии всех трех видов. Показано, что у лиц разных половых и возрастных группы относительное количество бифуркаций различного вида неодинаково. Заметно, что у лиц женского пола и второго периода зрелого возраста относительное количество нейтральных бифуркаций больше, а открытых меньше, чем у лиц мужского пола и 1-го периода зрелого возраста. Этот факт, вероятно, можно использовать как благоприятный признак в плане прогноза на выживание. По всей видимости, нейтральные бифуркации являются более лабильными в отношении приспособления функционирования внутриорганный артериального русла селезенки в постоянно меняющихся физиологических условиях существования целого организма.

Диаметры и длины артериальных сегментов нейтральных бифуркаций значимо меньше, а фактор формы и коэффициент асимметрии заметно больше, чем у открытых и закрытых бифуркаций, т. е. нейтральные бифуркации оказываются в среднем самыми маленькими и наиболее симметричными.

Расположение разных видов бифуркаций по уровням деления и номерам генерации также свидетельствует в пользу сказанного. Хорошо видно, что относительное количество нейтральных бифуркаций увеличивается с ростом уровня деления и номера генерации, открытых — заметно уменьшается, закрытых остается, примерно,

постоянным. Пятый уровень деления и второй номер генерации являются ключевой точкой, где относительное количество нейтральных и открытых бифуркаций одинаково. По всей видимости, эта топографическая точка играет ключевую роль в функционировании всего внутриорганный артериального русла селезенки и может служить в качестве основного диагностического объекта. Морфометрические характеристики бифуркаций в данной точке, а также ее расположение, вероятно, можно использовать в качестве морфометрического эталона. То есть смещение точки пересечения кривых описывающих относительное количество нейтральных и открытых бифуркаций может быть расценено как отклонение от нормы строения внутриорганный артериального русла селезенки.

**Возможные ограничения исследования и перспективы дальнейших исследований.** Описанные факты, возможно, проявлены только внутри артериального русла селезенки человека. Известно, что различные паренхиматозные органы выполняют разные функции и, следовательно, структура внутриорганных русел и структурных элементов, составляющих эти русла, может быть различна. Можно предположить, что функции, выполняемые бифуркациями внутриорганный артериального русла селезенки, у разных видов не ограничиваются только проведением крови с наименьшими затратами. Сказанное нацеливает на проведение сравнительного количественного исследования всего возможного спектра выполняемых бифуркациями разных видов функций, например, проведение и распределение крови, а также функции опоры. Необходимо, проведение подобных исследований в отношении внутриорганных артериальных русел других паренхиматозных органов, например, почки и печени.

## ВЫВОДЫ

1. Внутриорганный артериальный русло селезенки человека представляет собой квазифрактальную систему, состоящую из трех видов бифуркаций — открытых (40%), нейтральных (51%) и закрытых (9%).

2. Относительное количество:

а) открытых бифуркаций в составе внутриорганный артериального русла селезенки лиц мужского пола (46%) больше, чем женского (35%); нейтральных бифуркаций больше в группе женщин (55%), чем мужчин (46%); закрытых бифуркаций у мужчин (8%) меньше, чем у женщин (10%);

б) нейтральных бифуркаций (54%) больше в структуре внутриорганный артериального русла селезенки лиц 2-го зрелого возраста, а открытых (38%) и закрытых (8%) меньше, чем у лиц 1-го периода зрелого возраста: 48%, 42% и 10%, соответственно;

в) нейтральных бифуркаций увеличивается, открытых уменьшается, а закрытых практически не меняется с увеличением номера генерации и уровня деления.

3. Установлены факты, а именно:

а) выявлена разница в относительном количестве бифуркаций различного вида у лиц разного пола и возрастной группы;

б) показано преимущественное расположение бифуркаций различного вида по номерам генерации и уровням деления;

в) выявлена разница в величинах показателей фактора формы, коэффициентов ветвления и асимметрии у бифуркаций различного вида, следует учитывать при численном моделировании структуры внутриорганный артериального русла селезенки людей соответствующего пола и возрастной группы, а также структуры бифуркаций различного вида.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНО

**Финансирование.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Вклад авторов:** *Дадашев А. Ш.* — сбор и анализ данных, написание текста; *Зенин О. К.* — концепция исследования, дизайн исследования и редактирование; *Милтых И. С.* — обработка материала, статистический анализ; *Кафаров Э. С.* — концепция исследования, дизайн исследования и редактирование. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

**Funding.** This study was not supported by any external sources of funding.

**Conflict of interests.** The authors declare no conflicts of interests.

**Contribution of authors:** *A. S. Dadashev* — collection and processing of material, writing the text; *O. K. Zenin* — research conception and design, editing; *I. S. Milytkh* — processing of material, statistical processing; *E. S. Kafarov* — research conception and design, editing. The authors confirm the correspondence of their authorship to the ICMJE International Criteria. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Standing S., editor. Gray's anatomy. The anatomical basis of clinical practice. 42<sup>th</sup> ed. N.-Y.: Elsevier; 2021.
2. Costi R., Ruiz C.C., Romboli A., et al. Partial splenectomy: Who, when and how. A systematic review of the 2130 published cases // *J. Pediatr. Surg.* 2019. Vol. 54, No. 8. P. 1527–1538. doi: [10.1016/j.jpedsurg.2018.11.010](https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2018.11.010)
3. Redmond H.P., Redmond J.M., Rooney B.P., et al. Surgical anatomy of the human spleen // *Br. J. Surg.* 2005. Vol. 76, No. 2. P. 198–201. doi: [10.1002/bjs.1800760230](https://doi.org/10.1002/bjs.1800760230)
4. Meisheri I.V., Kothari P.R., Kumar A., et al. Splenic artery embolisation for portal hypertension in children // *Afr. J. Paediatr. Surg.* 2010. Vol. 7, No. 2. P. 86–91. doi: [10.4103/0189-6725.62854](https://doi.org/10.4103/0189-6725.62854)
5. Dokoumetzidis A., Macheras P. A model for transport and dispersion in the circulatory system based on the vascular fractal tree // *Ann. Biomed. Eng.* 2003. Vol. 31, No. 3. P. 284–293. doi: [10.1114/1.1555627](https://doi.org/10.1114/1.1555627)
6. Dovgiallo Yu.V., Beshulia O.O., Tomash D.S. Conceptual models of tree-shape arterial bed structure // *Актуальні проблеми сучасної медицини: Вісник української медичної стоматологічної академії.* 2009. Т. 9, вып. 4. P. 47–49.
7. Зенин О.К., Милых И.С., Дмитриев А.В., и др. Морфометрический анализ применимости уравнений Murray C.D. для численного моделирования сосудистых бифуркаций почки человека // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture.* 2021. Т. 13, № 3. С. 170–192. doi: [10.12731/2658-6649-2021-13-3-170-192](https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-3-170-192)
8. Kalpana R. A Study On Principal Branches of Coronary Arteries In Humans // *Journal of the Anatomical Society of India.* 2003. Vol. 52. № 2. P. 137–140.
9. Ахмедов В.А., Шевченко А.С., Исаева А.С. Современные взгляды на факторы возникновения и прогрессирования атеросклероза // *РМЖ. Медицинское обозрение.* 2019. № 1 (II). С. 57–62.
10. Зенин О.К., Оверко В.С., Дмитриев А.В., и др. Особенности гемодинамики в структурно-различных внутриорганных артериальных бифуркациях сердца человека, выявляемые с помощью численного моделирования // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture.* 2021. Т. 13, № 2. С. 11–31. doi: [10.12731/2658-6649-2021-13-2-11-31](https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-2-11-31)
11. Кафаров Э.С. [и др.] Новая полимерная рентгенконтрастная композиция для изготовления коррозионных анатомических препаратов // *Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание.* 2021. Т. 15, № 4. С. 121–125. Доступно по: <http://vnmt.ru/Bulletin/E2021-4/3-7.pdf>. Ссылка активна на 29.03.2023. doi: [10.24412/2075-4094-2021-4-3-7](https://doi.org/10.24412/2075-4094-2021-4-3-7)
12. Автандилов Г.Г. Основы количественной патологической анатомии. М.: Медицина; 2002.
13. Степаненко А.Ю. Асимметрия структуры поверхностного сосудистого русла мозжечка человека // *Морфология.* 2017. Т. 11, № 2. С. 46–51.
14. Al-Kadi O.S. Chapter 5. Fractals for Biomedical Texture Analysis. In: Depeursinge A., Al-Kadi O.S., Mitchell J.R., editors. *Biomedical Texture Analysis. Fundamentals, Tools and Challenges.* Academic Press; 2017. P. 131–161.
15. Mandelbrot B.B. *The fractal geometry of nature.* San Francisco: W.H. Freeman; 1982.
16. Adams D.L., Piserchia V., Economides J.R., et al. Vascular Supply of the Cerebral Cortex is Specialized for Cell Layers but Not Columns // *Cereb. Cortex.* 2015. Vol. 25, No. 10. P. 3673–3681. doi: [10.1093/cercor/bhu221](https://doi.org/10.1093/cercor/bhu221)
17. Murray C.D. The physiological principle of minimum work applied to the angle of branching of arteries // *J. Gen. Physiol.* 1926. Vol. 9, No. 6. P. 835–841. doi: [10.1085/jgp.9.6.835](https://doi.org/10.1085/jgp.9.6.835)
18. Uylings H.B. Optimization of diameters and bifurcation angles in lung and vascular tree structures // *Bull. Math. Biol.* 1977. Vol. 39, No. 5. P. 509–520. doi: [10.1007/bf02461198](https://doi.org/10.1007/bf02461198)
19. Zamir M. On fractal properties of arterial trees // *J. Theor. Biol.* 1999. Vol. 197, No. 4. P. 517–526. doi: [10.1006/jtbi.1998.0892](https://doi.org/10.1006/jtbi.1998.0892)
20. Розен Р. Принцип оптимальности в биологии. М.: Мир; 1969.

## REFERENCES

1. Standring S, editor. *Gray's anatomy. The anatomical basis of clinical practice*. 42<sup>th</sup> ed. New York: Elsevier; 2021.
2. Costi R, Ruiz CC, Romboli A, et al. Partial splenectomy: Who, when and how. A systematic review of the 2130 published cases. *J Pediatr Surg*. 2019;54(8):1527–38. doi: [10.1016/j.jpedsurg.2018.11.010](https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2018.11.010)
3. Redmond HP, Redmond JM, Rooney BP, et al. Surgical anatomy of the human spleen. *Br J Surg*. 2005;76(2):198–201. doi: [10.1002/bjs.1800760230](https://doi.org/10.1002/bjs.1800760230)
4. Meisheri IV, Kothari PR, Kumar A, et al. Splenic artery embolisation for portal hypertension in children. *Afr J Paediatr Surg*. 2010;7(2): 86–91. doi: [10.4103/0189-6725.62854](https://doi.org/10.4103/0189-6725.62854)
5. Dokoumetzidis A, Macheras P. A model for transport and dispersion in the circulatory system based on the vascular fractal tree. *Ann Biomed Eng*. 2003;31(3):284–93. doi: [10.1114/1.1555627](https://doi.org/10.1114/1.1555627)
6. Dovgiallo YuV, Beshulia OO, Tomash D.S. Conceptual models of tree-shape arterial bed structure. *Aktual'ni problemi suchasnoi meditsini: Visnik ukrains'koï medichnoi stomatologichnoi akademii*. 2009;9(4):47–9.
7. Zenin OK, Milykh IS, Dmitriev AV, et al. Morphometric analysis of C.D. Murray's law appliance for numerical modeling of vascular dichotomies of kidneys. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021;13(3):170–92. (In Russ). doi: [10.12731/2658-6649-2021-13-3-170-192](https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-3-170-192)
8. Kalpana R. A Study On Principal Branches of Coronary Arteries In Humans. *Journal of the Anatomical Society of India*. 2003;52(2): 137–40.
9. Akhmedov VA, Shevchenko AS, Isaeva AS. Current view on the atherosclerosis emergence and progression factors. *RMJ. Medical Review*. 2019;(1):57–62. (In Russ).
10. Zenin OK, Overko VS, Dmitriev AV, et al. Hemodynamic features in a structurally different arterial intraorganic bifurcations of the human heart by numerical modeling. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021;13(2):11–31. (In Russ). doi: [10.12731/2658-6649-2021-13-2-11-31](https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-2-11-31)
11. Kafarov ES, Dmitriev AV, Zenin OK, et al. New X-ray contrast polymer composition for making anatomical corrosion preparations. *Journal of New Medical Technologies, e-edition*. 2021; 15(4):121–5. Available at: <http://vnmt.ru/Bulletin/E2021-4/3-7.pdf>. Accessed: 2023 March 29. (In Russ). doi: [10.24412/2075-4094-2021-4-3-7](https://doi.org/10.24412/2075-4094-2021-4-3-7)
12. Avtandilov GG. *Osnovy kolichestvennoy patologicheskoy anatomii*. Moscow: Meditsina; 2002. (In Russ).
13. Stepanenko AYU. Asymmetry of the structure of the superficial vascular bed of the human cerebellum. *Morphologia*. 2017;11(2):46–51. (In Russ).
14. Al-Kadi OS. Chapter 5. Fractals for Biomedical Texture Analysis. In: *Depeursinge A, Al-Kadi OS, Mitchell JR, editors. Biomedical Texture Analysis. Fundamentals, Tools and Challenges*. Academic Press; 2017. P. 131–61.
15. Mandelbrot BB. *The fractal geometry of nature*. San Francisco: W.H. Freeman; 1982.
16. Adams DL, Piserchia V, Economides JR, et al. Vascular Supply of the Cerebral Cortex is Specialized for Cell Layers but Not Columns. *Cereb Cortex*. 2015;25(10):3673–81. doi: [10.1093/cercor/bhu221](https://doi.org/10.1093/cercor/bhu221)
17. Murray CD. The physiological principle of minimum work applied to the angle of branching of arteries. *J Gen Physiol*. 1926;9(6):835–41. doi: [10.1085/jgp.9.6.835](https://doi.org/10.1085/jgp.9.6.835)
18. Uylings HB. Optimization of diameters and bifurcation angles in lung and vascular tree structures. *Bull Math Biol*. 1977;39(5):509–20. doi: [10.1007/bf02461198](https://doi.org/10.1007/bf02461198)
19. Zamir M. On fractal properties of arterial trees. *J Theor Biol*. 1999;197(4):517–26. doi: [10.1006/jtbi.1998.0892](https://doi.org/10.1006/jtbi.1998.0892)
20. Rozen R. *Printsip optimal'nosti v biologii*. Moscow: Mir; 1969. (In Russ).

## ОБ АВТОРАХ

**Дадашев Али Шарудневич;**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8502-0841>;

e-mail: [mukulatura95@mail.ru](mailto:mukulatura95@mail.ru)

**\*Зенин Олег Константинович**, д.м.н., профессор;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5447-1989>;

eLibrary SPIN: 3159-1346; e-mail: [zen.olegz@gmail.com](mailto:zen.olegz@gmail.com)

**Милтых Илья Сергеевич;**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9130-3255>;

eLibrary SPIN: 9363-6873; e-mail: [contact@miltykh.com](mailto:contact@miltykh.com)

**Кафаров Эдгар Сабирович**, д.м.н., профессор;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9735-9981>;

eLibrary SPIN: 5423-8289; e-mail: [Edgar-kafaroff@yandex.ru](mailto:Edgar-kafaroff@yandex.ru)

## AUTHOR'S INFO

**Ali S. Dadashev;**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8502-0841>;

e-mail: [mukulatura95@mail.ru](mailto:mukulatura95@mail.ru)

**\*Oleg K. Zenin**, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5447-1989>;

eLibrary SPIN: 3159-1346; e-mail: [zen.olegz@gmail.com](mailto:zen.olegz@gmail.com)

**Ilia S. Miltykh;**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9130-3255>;

eLibrary SPIN: 9363-6873; e-mail: [contact@miltykh.com](mailto:contact@miltykh.com)

**Edgar S. Kafarov**, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9735-9981>;

eLibrary SPIN: 5423-8289; e-mail: [Edgar-kafaroff@yandex.ru](mailto:Edgar-kafaroff@yandex.ru)

---

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author