

В. Н. НИКОЛЕНКО<sup>1,2</sup>, А. С. МОШКИН<sup>3</sup>, М. А. ХАЛИЛОВ<sup>3</sup>,  
А. Б. БОЧКАРЕВ<sup>3</sup>, Ч. ЛИ<sup>1</sup>

## Оценка гемодинамических показателей на основе результатов ультразвуковой доплерографии при различных вариантах положения сосудов в области бифуркации общих сонных артерий

<sup>1</sup> Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), Москва, Россия  
119992, Россия, Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2

<sup>2</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Министерства образования и науки Российской Федерации, Москва, Россия  
119991, Россия, Москва, Ленинские горы, д. 1

<sup>3</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева» Министерства образования и науки Российской Федерации, г. Орел, Россия  
302026, Россия, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95

E-mail: vn.nikolenko@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 10.09.23 г.; принята к печати 22.12.23 г.

### Резюме

**Введение.** Ультразвуковая визуализация позволяет изучать влияние топографо-анатомической вариабельности магистральных сосудов шеи на гемодинамические показатели в области бифуркации общей сонной артерии (ОСА). **Цель** – оценить значимость изменений гемодинамических показателей на уровне магистральных артерий вблизи бифуркации общей сонной артерии при различных вариантах взаимного положения сосудов по результатам ультразвуковой доплерографии. **Материал и методы.** Обследованы 865 добровольцев с использованием SonoAce R7 и Logiq F6. Результаты обобщались, систематизировались и обрабатывались в электронных таблицах Microsoft Excel 2007, подвергались статистическому анализу. Среди участников выделено 5 основных вариантов взаимного положения сосудов: А – типичное; Б – наружная сонная артерия (НСА) располагается вентрально; В – латеральное положение наружной сонной артерии; Г – расхождение или пересечение сонных артерий вблизи бифуркации; Д – совместное медиальное отклонение обеих сонных артерий. **Результаты.** Всего оценены 1730 сосудистых комплексов. Наименьшая величина диаметра наружных сонных артерий была отмечена в группах А и Б – 3,10 мм. Наибольшее значение диаметра внутренних сонных артерий (ВСА) было в группе Д – 4,20 мм, в группе Б – 4,10 мм. Диаметр общих сонных артерий в группах А и Б составил – 5,50 мм, в группах Г и Д – 5,60 мм, а в группе В – 5,70 мм. Объемная скорость кровотока имела большие значения в группе Д. Наименьшие показатели объемной скорости кровотока, отмечены в группе А, для общих сонных и внутренних сонных артерий – в группе Г. **Выводы.** Наименьшая средняя и медианная величина диаметра наружных сонных артерий была отмечена при типах А и Б. Наибольшее значение медианы диаметра внутренних сонных артерий было в группе Д (4,20 мм). Медианное значение диаметра общих сонных артерий было максимальным в группе В (5,70 мм). Представленные результаты наблюдения демонстрируют влияние анатомической вариации на морфометрические и функциональные характеристики сосудистого русла, отражающиеся в изменении расчетной объемной скорости кровотока.

**Ключевые слова:** анатомическая вариация, сонные артерии, гемодинамика

**Для цитирования:** Николенко В. Н., Мошкин А. С., Халилов М. А., Бочкарев А. Б., Ли Ч. Оценка гемодинамических показателей на основе результатов ультразвуковой доплерографии при различных вариантах положения сосудов в области бифуркации общих сонных артерий. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2024; 23(2): 15–23. Doi: 10.24884/1682-6655-2024-23-2-15-23.

V. N. NIKOLENKO<sup>1, 2</sup>, A. S. MOSHKIN<sup>3</sup>, M. A. KHALILOV<sup>3</sup>,  
A. B. BOCHKAREV<sup>3</sup>, Zh. LI<sup>1</sup>

## Assessment of hemodynamic parameters based on the results of ultrasound Dopplerography in different variants of the position of vessels in the area of bifurcation of the common carotid arteries

<sup>1</sup> I. M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia

8, p. 2, Trubetskaya str., Moscow, Russia, 119992

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

1, Leninskie Gory, Moscow, Russia, 119991

<sup>3</sup> Turgenev Oryol State University, Orel, Russia

95, Komsomolskaya str., Orel, Russia, 302026

Received 10.09.23; accepted 22.12.23

### Summary

**Introduction.** Ultrasound imaging allows us to study the influence of topographic and anatomical variability of the main vessels of the neck on hemodynamic parameters in the area of bifurcation of the common carotid artery (CCA). **Aim.** To assess the significance of changes in hemodynamic parameters on the damage of the main arteries near the bifurcation of the common carotid artery in different variants of the mutual position of vessels according to the results of ultrasound Dopplerography. **Materials and methods.** 865 volunteers were examined using SonoAce R7 and Logiq F6. The results were summarized, systematized and processed in Microsoft Excel 2007 spreadsheets and subjected to statistical analysis. Among the participants, 5 main variants of the mutual position of the vessels were identified: A – typical; Б – the external carotid artery (ECA) is located ventrally; В – the lateral position of the external carotid artery; Г – divergence or intersection of the carotid arteries near bifurcation; Д – joint medial deviation of both carotid arteries. **Results.** A total of 1730 vascular complexes were evaluated. The smallest diameter of the external carotid arteries was observed in groups A and Б – 3.10 mm. The largest value of the diameter of the internal carotid arteries (ICA) was in group Д – 4.20 mm and in group В – 4.10 mm. The diameter of the common carotid arteries in groups A and Б was 5.50 mm, in groups Д and В – 5.60 mm, and in group В – 5.70 mm. The volume velocity of blood flow had higher values in group Д. The lowest indicators of volumetric blood flow velocity were noted in group А, for common carotid and internal carotid arteries – in group Г. **Conclusions.** The smallest average and median diameter of the external carotid arteries was observed in types А and Б. The highest median diameter of the internal carotid arteries was in group Д (4.20 mm). The median value of the diameter of the common carotid arteries was the maximum in group В (5.70 mm). The presented observation results demonstrate the effect of anatomical variation on the morphometric and functional characteristics of the vascular bed, reflecting the change in the calculated volumetric velocity of blood flow.

**Keywords:** anatomical variation, carotid arteries, hemodynamics

**For citation:** Nikolenko V. N., Moshkin A. S., Khalilov M. A., Bochkarev A. B., Li Zh. Assessment of hemodynamic parameters based on the results of ultrasound Dopplerography in different variants of the position of vessels in the area of bifurcation of the common carotid arteries. 2024;23(2):15–23. Doi: 10.24884/1682-6655-2024-23-2-15-23.

### Введение

Магистральные сосуды обладают выраженной анатомической изменчивостью, обусловленной множеством факторов [1, 2]. Одни из наиболее сложных биомеханических взаимодействий определяются между позвоночником и магистральными артериями шеи [3]. Одной из клинически актуальных задач является оценка гемодинамических изменений и факторов, влияющих на их развитие [4–6]. Современные диагностические методы позволяют прижизненно получать детализированную информацию о состоянии сосудистых магистралей и их морфологической структуре [7, 8]. Совершенствование внутрисосудистых и малоинвазивных хирургических вмешательств опираются на подробные диагностические сведения [9–11]. Высокая детализация и качество диагностических изображений позволяют своевременно выявлять жизнеугрожающие осложнения [12]. Одним из широко распространенных, эффективных, безопасных методов, доступных в клинической прак-

тике для детализированной оценки анатомии сосудистых и мягкотканых структур, является метод ультразвуковой визуализации [13]. Ультразвуковая визуализация позволяет изучать влияние топографо-анатомической вариабельности магистральных сосудов шеи на гемодинамические показатели в области бифуркации общей сонной артерии.

**Цель** – оценить значимость изменений гемодинамических показателей на уровне магистральных артерий вблизи бифуркации общей сонной артерии при различных вариантах взаимного положения сосудов по результатам ультразвуковой доплерографии.

### Материал и методы исследования

Изучение артерий шеи проводили амбулаторно по стандартной методике с использованием ультразвуковых сканеров SonoAce R7 и Logiq F6, оснащенных мультичастотными цифровыми линейными датчиками с рабочими частотами 5–12 МГц. В исследовании участвовали 865 добровольцев, со сред-

## Диаметры ОСА, ВСА и НСА при различных вариантах взаимного положения сосудов в области бифуркации общей сонной артерии среди всех участников

Table 1

## The diameters of the CCA, ICA and ECA in different variants of the relative position of vessels in the area of bifurcation of the common carotid artery among all participants

Тип взаимного положения сосудов	Статистический показатель	Диаметр ОСА, мм	Диаметр ВСА, мм	Диаметр НСА, мм
А	M±m	5,60±0,61	4,05±0,42	3,15±0,35
	Me	5,50	4,00	3,10
	Q1-Q3	5,00-6,00	3,70-4,40	2,80-3,40
	σ	1,17	0,54	0,44
	CV, %	20,87	13,29	13,90
Б	M±m	5,62±0,61	4,10±0,44	3,14±0,35
	Me	5,50	4,10	3,10
	Q1-Q3	5,10-6,10	3,70-4,50	2,80-3,40
	σ	0,78	0,56	0,44
	CV, %	13,93	13,53	14,15
В	M±m	5,74±0,62	4,08±0,42	3,22±0,34
	Me	5,70	4,00	3,20
	Q1-Q3	5,20-6,30	3,70-4,40	2,90-3,50
	σ	0,76	0,53	0,44
	CV, %	13,27	12,93	13,55
Г	M±m	5,61±0,53	4,17±0,44	3,23±0,38
	Me	5,60	4,00	3,20
	Q1-Q3	5,20-5,93	3,80-4,40	2,90-3,50
	σ	0,68	0,58	0,49
	CV, %	12,04	13,96	15,20
Д	M±m	5,68±0,54	4,23±0,43	3,22±0,39
	Me	5,60	4,20	3,20
	Q1-Q3	5,20-6,10	3,90-4,60	2,90-3,60
	σ	0,71	0,54	0,49
	CV, %	12,45	12,75	15,22

ним возрастом 56,9±10,4 лет (от 18 до 88 лет). Нами было обследовано 569 женщин и 296 мужчин. Всего в результате проведенного обследования пациентов были получены данные о 1730 сосудистых комплексах. Среди женщин проанализировано 1138 сосудов, у мужчин – 592.

Для дифференциации типов взаимного положения сосудов в области бифуркации общей сонной артерии были выделены 5 основных вариантов:

А – типичное взаимное положение сосудов с изначальным медианным положением наружной сонной артерии;

Б – вариант, при котором наружная сонная артерия располагается вентральнее внутренней сонной артерии;

В – характеризуется латеральным положением наружной сонной артерии относительно внутренней сонной;

Г – вариант с расхождением или пересечением сонных артерий вблизи бифуркации;

Д – случаи совместного медиального отклонения обеих сонных артерий дистальнее бифуркации.

Для каждого сосудистого комплекса определили тип взаимного отношения сосудов в области бифуркации общей сонной артерии, проводили оценку показателей гемодинамики в режиме импульсно-волновой доплерографии. Полученные результаты обобщались, систематизировались и обрабатывались в электронных таблицах Microsoft Excel 2007, а последующие сведения подвергались статистическому анализу в IBM SPSS Statistics 20. Выполнялся расчет среднего значения и ошибки среднего (M±m), медианы (Me), первого, третьего квартилей распределения результатов [Q1-Q3], стандартного отклонения (σ), коэффициента вариации (CV, %). Анализируемые значения имели признаки нормального распределения, демонстрировали высокую степень достоверности при оценке по одновыборочному t-критерию Стьюдента, значение P<0,05.

Средняя скорость кровотока на уровне ОСА, ВСА и НСА при различных вариантах взаимного положения сосудов в области бифуркации общей сонной артерии среди всех участников

Table 2

The average blood flow rate at the level of CCA, ICA and ECA with different variants of the relative position of vessels in the area of bifurcation of the common carotid artery among all participants

Тип взаимного положения сосудов	Статистический показатель	Средн. Скор. ОСА, см/с	Средн. Скор. ВСА, см/с	Средн. Скор. НСА, см/с
А	M±m	25,89±6,49	32,53±9,14	29,16±8,90
	Me	25,28	31,14	27,40
	Q1-Q3	19,95-30,53	23,96-38-73	21,36-35,39
	σ	8,53	13,10	12,24
	CV, %	32,95	40,25	41,99
Б	M±m	25,80±6,59	32,99±8,85	29,68±9,20
	Me	25,26	31,50	28,43
	Q1-Q3	20,34-30,29	25,63-39,55	21,64-36,54
	σ	8,75	11,75	11,70
	CV, %	33,90	35,62	39,41
В	M±m	24,75±6,13	31,23±8,42	30,53±9,06
	Me	23,88	29,73	29,81
	Q1-Q3	19,49-29,15	23,23-38,05	22,47-36,33
	σ	8,13	10,89	11,72
	CV, %	32,86	34,85	38,39
Г	M±m	24,77±6,90	28,13±8,62	27,80±8,48
	Me	23,34	26,56	27,28
	Q1-Q3	19,12-30,50	20,20-35,62	19,96-34,55
	σ	8,73	11,00	11,07
	CV, %	35,24	39,10	39,84
Д	M±m	26,33±6,39	30,62±7,38	30,73±9,28
	Me	25,39	29,53	30,26
	Q1-Q3	21,17-31,28	23,98-35,83	21,42-37,73
	σ	8,00	9,47	11,74
	CV, %	30,38	30,93	38,21

### Результаты исследования и их обсуждение

Исследуемые данные в наблюдении оценивались комплексно, без уточнения стороны визуализации и пола участников наблюдения. При расчете и последующей оценке объемной скорости кровотока существенную роль играет величина диаметра изучаемых сосудов. Общие сведения о результатах морфометрии артерий в исследовании представлены в табл. 1.

В результате анализа было отмечено, что в большинстве случаев коэффициент вариации составлял 12–14 % с несколько большими значениями в группе Д для наружных сонных артерий – 15,22 % и для ОСА в группе А – 20,87 %.

Наименьшая средняя и медианная величина диаметра наружных сонных артерий была отмечена в группах А и Б (Me – 3,10 мм), в остальных группах медианное значение составило 3,20 мм.

Наибольшее медианное значение внутренних сонных артерий было зарегистрировано в группе

Д – 4,20 мм, в группе Б – 4,10 мм, а в остальных случаях – 4,00 мм.

Медианное значение полученных данных для диаметра общих сонных артерий в группах А и Б составило 5,50 мм, в группах Г и Д – 5,60 мм, а в группе В имело максимальное значение – 5,70 мм.

Следующим этапом комплексного анализа гемодинамических показателей было вычисление средней скорости кровотока (табл. 2) и объемной скорости кровотока (табл. 3).

Представленные результаты расчета средней скорости кровотока различались слабо при сравнении данных для каждого сосуда в группах с вариацией результатов CV – 30–40 %.

Изменения данных объемной скорости кровотока демонстрировали наибольшие значения для всех сосудов в группе Д. Результаты, близкие к максимальным значениям, были получены для внутренних сонных артерий в группе Б, для наружных сонных артерий – в группе В.

Объемная скорость кровотока на уровне ОСА, ВСА и НСА при различных вариантах взаимного положения сосудов в области бифуркации общей сонной артерии среди всех участников

Table 3

Volumetric blood flow velocity at the level of CCA, ICA and ECA with different variants of the relative position of vessels in the area of bifurcation of the common carotid artery among all participants

Тип взаимного положения сосудов	Статистический показатель	Объемная скорость ОСА, мл/мин	Объемная скорость ВСА, мл/мин	Объемная скорость НСА, мл/мин
А	M±m	370,91±94,00	247,09±69,27	138,02±51,44
	Me	356,58	233,01	126,44
	Q1-Q3	289,10-445,41	188,53-289,61	89,6-169,97
	σ	120,86	92,84	71,59
	CV, %	32,58	37,57	51,87
Б	M±m	375,04±96,41	257,08±70,29	139,10±50,90
	Me	359,98	245,07	130,03
	Q1-Q3	293,06-446,19	194,04-306,88	90,63-173,45
	σ	127,91	91,23	67,21
	CV, %	34,11	35,49	48,32
В	M±m	379,79±99,18	243,80±69,29	150,86±53,16
	Me	356,79	229,11	144,77
	Q1-Q3	291,78-441,85	181,11-291,52	101,17-185,11
	σ	145,63	99,01	69,83
	CV, %	38,34	40,61	46,29
Г	M±m	358,33±95,39	231,03±78,10	136,68±46,82
	Me	341,36	217,51	138,19
	Q1-Q3	278,20-417,67	151,85-282,97	87,08-167,09
	σ	123,70	103,63	62,00
	CV, %	34,52	44,86	45,36
Д	M±m	395,54±91,36	257,89±68,82	152,10±55,49
	Me	379,43	244,89	147,92
	Q1-Q3	321,10-446,10	207,38-298,79	102,34-189,96
	σ	129,85	91,33	71,25
	CV, %	32,91	35,42	46,84

Наименьшие показатели объемной скорости кровотока на уровне наружных сонных артерий были отмечены в группе А, для общих сонных и внутренних сонных артерий – в группе Г.

Статистический анализ был продолжен сравнением попарно групп участников наблюдения с учетом диагностированного типа взаимного отношения сосудов в области бифуркации общей сонной артерии. Общие сведения о значении  $p$  при расчете  $t$ -критерия Стьюдента представлены в табл. 4.

При сравнении групп парами не было отмечено статистически значимых показателей  $p$  для объемной и средней скорости кровотока среди всех изучаемых сосудов.

Сравнение диаметра общих сонных артерий демонстрировало статистически значимые различия величин для пар групп: А-В, Б-В со значениями  $p$  0,026-0,027.

Диаметры внутренних сонных артерий статистически значимо различались для пар групп: А-Д,

Б-Д, В-Д со значениями  $p$  0,001-0,025. Сравнение диаметров наружных сонных артерий демонстрировало значимые различия для пар групп: А-В, Б-В со значениями  $p$  0,01-0,017.

Изучение анатомической вариации магистральных артерий проводится с использованием различных методов прижизненной визуализации с применением компьютерной и магнитно-резонансной томографии [9, 14], ультразвуковой визуализации [15]. При анализе секционного материала магистральных артерий шеи и головы исследователи сосредоточены на вариативности строения, физических характеристиках сосудов [1, 2], описывая их развитие и возрастную изменчивость. В частности, вопрос индивидуальной изменчивости магистральных артерий остается актуальным в настоящее время, в том числе при совершенствовании методов эндоваскулярной хирургии [16].

Кроме описательных характеристик положения сосудов анализ вариантной анатомии сонных артерий

Значения  $p$  при расчете  $t$ -критерия Стьюдента при оценке статистической значимости различий между группами участников в наблюдении

Table 4

The  $p$  values when calculating the Student's  $t$ -test when evaluating the statistical significance of differences between groups of participants in the observation

Изучаемый показатель	Сравниваемые пары групп наблюдения									
	А-Б	А-В	А-Г	А-Д	Б-В	Б-Г	Б-Д	В-Г	В-Д	Г-Д
Диаметр ОСА	0,800	0,026*	0,954	0,343	0,027*	0,915	0,415	0,140	0,440	0,491
Средн. Скор. ОСА	0,799	0,107	0,394	0,430	0,080	0,336	0,539	0,987	0,075	0,215
Объемная скорость ОСА	0,563	0,760	0,226	0,681	0,635	0,277	0,150	0,193	0,318	0,055
Диаметр ВСА	0,121	0,425	0,103	0,001*	0,595	0,360	0,025*	0,242	0,012*	0,457
Средн. Скор. ВСА	0,799	0,107	0,394	0,430	0,080	0,336	0,539	0,987	0,075	0,215
Объемная скорость ВСА	0,563	0,760	0,226	0,681	0,635	0,277	0,150	0,193	0,318	0,055
Диаметр НСА	0,676	0,017*	0,168	0,141	0,010*	0,126	0,100	0,863	0,976	0,901
Средн. Скор. НСА	0,799	0,107	0,394	0,430	0,080	0,336	0,539	0,987	0,075	0,215
Объемная скорость НСА	0,563	0,760	0,226	0,681	0,635	0,277	0,150	0,193	0,318	0,055

\* – статистически значимые различия с  $p < 0,05$ .

проводился с оценкой их взаимного отношения с учетом угловых характеристик [17, 18], оказывающих значительное влияние на успешность проведения хирургических вмешательств. Оценка морфометрических параметров сосудов при патоморфологических исследованиях позволяет эффективно оценивать множество характеристик бифуркации общей сонной артерии [19], но фактические данные измерений существенно отличаются от результатов прижизненного анализа.

Многие авторы активно используют прижизненную диагностику при персонифицированной адаптации хирургического лечения пациентов, планировании оперативных доступов и при выборе оптимальных способов эндоваскулярных вмешательств [10, 11, 20]. Монографии, посвященные вопросам ультразвуковой ангиологии, содержат сведения о диаметрах магистральных артерий без дифференциации на вариативность строения сосудистого русла и регионарных особенностей среди населения [21, 22]. Научные работы, описывающие гемодинамические изменения в области бифуркации сонных артерий, отражают физические процессы изучаемой области [5, 6, 21, 23, 24]. Публикации, посвященные описанию клинических случаев и прижизненной диагностике, сдержанно отражают вариативность показателей гемодинамики [7, 9, 20, 25], но раскрывают важные особенности хирургического лечения.

В своей работе мы на основе опыта предыдущих исследований и с учетом работ схожей тематики уточняем один из вопросов индивидуальной изменчивости магистральных артерий шеи в связи с различными вариантами их взаимного положения. Представленная нами классификация взаимного положения сосудов проста для интерпретации и практического использования, включает в себя пять наиболее распространенных вариантов.

Наименьший средний диаметр общих сонных артерий был отмечен для типа А –  $5,60 \pm 0,61$  мм,

наибольший для типа В –  $5,74 \pm 0,62$  мм. Для внутренних сонных артерий наименьший диаметр был отмечен для типа А –  $4,05 \pm 0,42$  мм, при этом наибольший диаметр был отмечен при типе Д –  $4,23 \pm 0,43$  мм. Средний диаметр наружной сонной артерии в нашем наблюдении был подвержен наименьшей вариативности с минимальным значением при типе Б –  $3,14 \pm 0,35$  мм и наибольшим значением для типа Г –  $3,23 \pm 0,38$  мм.

Средняя скорость кровотока рассчитывалась с учетом максимальной и минимальной скорости кровотока и индексов гемодинамики, она необходима для вычисления объемной скорости кровотока для каждого сосуда. Наименьшая средняя скорость кровотока на уровне общей сонной артерии была отмечена для типа В –  $24,75 \pm 6,13$  см/мин, наибольшее значение было выявлено при типе Д –  $26,33 \pm 6,39$  см/с. При оценке средней скорости кровотока на уровне внутренней сонной артерии было отмечено, что наименьшее значение показателя было для типа Г –  $28,13 \pm 8,62$  см/с, наибольшее значение показателя зарегистрировано при типе Б –  $32,99 \pm 8,85$  см/с.

Объемная скорость кровотока является наиболее важным показателем для оценки состоятельности церебральной гемодинамики. Наибольшее значение объемной скорости кровотока было получено на уровне общей сонной артерии для типа Д –  $395,54 \pm 91,36$  мл/мин, а наименьший средний результат при типе Г –  $358,33 \pm 95,39$  мл/мин. На уровне внутренней сонной артерии средние показатели объемной скорости кровотока оказались близки для типов Б и Д –  $257,08$ – $257,89$  мл/мин, а наименьшее значение отмечено для типа Г –  $231,03 \pm 78,10$  мл/мин. При оценке объемной скорости кровотока на уровне наружной сонной артерии наибольший показатель был выявлен при типе Д –  $152,10 \pm 55,49$  мл/мин, наименьший результат при типе Г –  $136,68 \pm 46,82$  мл/мин.

Непосредственно в клинической практике важна индивидуальная вариативность сосудистого русла,

которая оказывает значительное влияние на физические характеристики кровотока, детальный анализ его возможен с использованием современных методов моделирования и математического анализа [8, 24]. Локальные изменения гемодинамики являются важным фактором, влияющим на сосудистую стенку в широком диапазоне физических характеристик [2, 4, 6].

С развитием информационных технологий накопление объективных данных об анатомической изменчивости при доступных клинических методах исследований позволяет разрабатывать более современные средства обработки и анализа диагностических данных [23, 25, 26]. Представленные в нашем наблюдении результаты позволяют совершенствовать средства обработки клинической информации, опираясь на закономерности освещенных разновидностей анатомической вариации.

### Выводы

Объемная скорость кровотока является одним из наиболее объективных показателей, отражающих эффективность работы магистральных сосудов. В большинстве случаев морфометрические параметры сосудов имели схожие диапазоны вариации до 15 %. Для общей сонной артерии при типе А взаимного положения сосудов CV составил 20,87 %. Наименьшая средняя и медианная величина диаметра наружных сонных артерий была отмечена при типах А и Б взаимного положения сосудов. Наибольшее значение медианы диаметра внутренних сонных артерий было отмечено в группе Д – 4,20 мм. Медианное значение диаметра общих сонных артерий было максимальным в группе В – 5,70 мм. Результаты расчета средней скорости кровотока, при сравнении данных для каждого сосуда, имели показатель CV 30–40 %. Изменения данных объемной скорости кровотока демонстрировали наибольшие значения для всех сосудов в группе Д. Наименьшие показатели объемной скорости кровотока на уровне наружных сонных артерий были отмечены в группе А, для общих сонных и внутренних сонных артерий – в группе Г.

Представленные результаты наблюдения демонстрируют влияние анатомической вариации на морфометрические и функциональные характеристики сосудистого русла, отражающиеся в изменении расчетной объемной скорости кровотока.

### Конфликт интересов / Conflict of interest

Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов. / Authors declare that they have no conflicts of interest.

### Соответствие нормам этики / Compliance with ethical principles

Авторы подтверждают, что соблюдены права людей, принимавших участие в исследовании, включая получение информированного согласия в тех случаях, когда оно необходимо. Протокол исследования был одобрен локальным Этическим комитетом ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (протокол

№ 25 от 16 ноября 2022 г.). Подробная информация содержится в Правилах для авторов. / The authors confirm that they respect the rights of the people participated in the study, including obtaining informed consent when necessary. The study protocol was approved by the local Ethics Committee of the Turgenev Orel State University (Protocol № 25, November 16, 2022). Please refer to the Authors' Guidelines for detailed information.

### Литература / References

1. Николенко В.Н., Фомкина О.А., Гладилин Ю.А. Анатомия внутричерепных артерий вертебробазиллярной системы. – М.: Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова (Сеченовский Университет), 2014. – 108 с. [Nikolenko VN, Fomkina OA, Gladilin YuA. Anatomy of intracranial arteries of the vertebrobasilar system. Moscow, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), 2014:108. (In Russ.)].
2. Николенко В.Н., Фомкина О.А. Деформационно-прочностные параметры артерий головного мозга во II периоде зрелого возраста // Сеченовский вестн. – 2019. – Т. 10, № 1. – С. 41–46. [Nikolenko VN, Fomkina OA. Deformation-strength parameters of arteries of the brain in the II period of mature age. Sechenov Med J. 2019;10(1):41-46. (In Russ.)]. Doi: 10.26442/22187332.2019.1.41-46.
3. Zhandarov K, Blinova E, Ogarev E, Sheptulin D, Terekhina E, Telpukhov V, Vasil'ev Y, Nelipa M, Kytko O, Chilikov V, Panyushkin P, Drakina O, Meilanova R, Mirontsev A, Shimanovsky D, Bogoyavlenskaya T, Dydykin S, Nikolenko V, Kashtanov A, Aliev V, Kireeva N, Enina Y. Intervertebral Canals and Intracanal Ligaments as New Terms in Terminologia anatomica. *Diagnostics*. 2023;13(17):2809. Doi: 10.3390/diagnostics13172809.
4. Довгьялло Ю.В. Возрастная изменчивость величины просвета внутренних сонных артерий // Морфол. альманах им. В. Г. Ковешникова. – 2021. – Т. 19, № 3. – С. 30–34. [Dovgyallo YuV. Age variability of the lumen of the internal carotid arteries. *Morphol Almanac named after V.G. Koveshnikov*. 2021;19(3):30-34. (In Russ.)].
5. Доль А.В., Иванов Д.В., Бахметьев А.С. и др. Численное исследование влияния стеноза внутренних сонных артерий на гемодинамику артерий виллизиевого круга // Рос. журн. биомех. – 2021. – Т. 25, № 4. – С. 356–368. [Dol AV, Ivanov DV, Bakhmetyev AS, Kireev SI, Maistrenko DN, Gudz AA. Influence of the internal carotid arteries stenosis on the hemodynamics of the circle of willis communicating arteries: a numerical study. *Russ J Biomech*. 2021;25(4):356-368. (In Russ.)]. Doi: 10.15593/RZhBiomeh/2021.4.01.
6. Гавриленко А.В., Николенко В.Н., Аль-Юсеф Н.Н. и др. Корреляция между морфологическими и биомеханическими особенностями и атеросклерозом сонных артерий // Наука и инновации в мед. – 2022. – Т. 7, № 3. – С. 160–163. [Gavrilenko AV, Nikolenko VN, Al-Yusef NN, Zharikova TS, Bulatova LR, Li Zhi. Correlation between morphological and biomechanical features and carotid atherosclerosis. *Sci Innov Med*. 2022;7(3):160-163. (In Russ.)]. Doi: 10.35693/2500-1388-2022-7-3-160-163.
7. Результаты хирургического и консервативного лечения пациентов с асимптомной патологической извитостью внутренних сонных артерий / Батрашов В.А., Юдаев С.С., Землянов А.В., Марынич А.А. // Вестн. Нац. мед.-хир. центра им. Н.И. Пирогова. – 2022. – Т. 17, № 3. – С. 38–41. [Batrashov VA, Yudaev SS, Zemlyanov AV, Marynich AA. Evaluation of surgical intervention and conservative treatment in asymptomatic patients with pathologi-

cal tortuosity of internal carotid arteries. *Bull National Med Surg Center Pirogov*. 2022;17(3):38-41. (In Russ.). Doi: 10.25881/20728255\_2022\_17\_3\_38.

8. Структура нестационарного течения в пространственно-извитой модели общей сонной артерии со стенозом: численное исследование / Гатаулин Я.А., Зайцев Д.К., Смирнов Е.М., Юхнев А.Д. // *Росс. журн. биомех.* – 2019. – Т. 23, № 1. – С. 69–78. [Gataulin YaA, Zaitsev DK, Smirnov EM, Yukhnev AD. The structure of unsteady flow in a spatially convoluted model of a common carotid artery with stenosis: a numerical study. *Russ J Biomech*. 2019;23(1):69-78. (In Russ.).]

9. Компьютерно-томографическая ангиография в планировании реконструктивных операций на внутренних сонных артериях / Вишнякова М.В., Пронин И.Н., Ларьков Р.Н., Загаров С.С. // *Диагност. и интервенц. радиол.* – 2016. – Т. 10, № 3. – С. 11–19. [Vishnyakova MV, Pronin IN, Larkov RN, Zagarov SS. Computed tomography angiography in the planning of reconstructive operations on internal carotid arteries. *Diagnost Intervent Radiol*. 2016;10(3):11-19. (In Russ.).] Doi: 10.25512/DIR.2016.10.3.01.

10. Гавриленко А.В., Аль-Юсеф Н.Н., Куклин А.В. и др. Малоинвазивная хирургия сонных артерий // *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова.* – 2021. – № 6-2. – С. 59–64. [Gavrilenko AV, Al-Yusef NN, Kuklin AV, Magomedova GF, Krainik VM. Minimally invasive surgery of the carotid arteries. *Russ J Surg*. 2021;(6-2):59-64. (In Russ.).] Doi: 10.17116/hirurgia202106259.

11. Жихарев В.А., Степанов И.В., Ольшанский М.С. Вариативность прижизненной анатомии наружной сонной артерии и ее значение в рентгенэндоваскулярной хирургии // *Кардиоваск. тер. и профил.* – 2022. – Т. 21, № S2. – С. 94. [Zhikharev VA, Stepanov IV, Olshansky MS. Variability of the intravital anatomy of the external carotid artery and its significance in X-ray endovascular surgery. *Cardiovasc Ther Prevent*. 2022;21(S2):94. (In Russ.).] Doi: 10.15829/1728-880-2022-S2:3-190.

12. Антонов Г.И., Чмутин Г.Е., Миклашевич Э.Р. и др. Диссекция и разрыв сонной артерии как осложнения стентирования брахиоцефальных артерий // *Госпитальная мед.: наука и практика.* – 2021. – Т. 4, № 1. – С. 5–9. [Antonov GI, Chmutin GE, Miklashevich ER, Stamboltsyan GA, Gladyshev SYu, Zulfieva DU. Carotid artery dissection and blowout as a brachiocephalic arteries stenting complications. *Hospital Med: Sci Pract*. 2021;4(1):5-9. (In Russ.).] Doi: 10.34852/GM3CVKG.2021.91.75.001.

13. Крайник В.М., Новиков Д.И., Зайцев А.Ю. и др. Опыт клинического применения ультразвуковой навигации для выполнения блокады шейного сплетения в реконструктивной хирургии сонных артерий // *Вестн. анестезиол. и реаниматол.* – 2019. – Т. 16, №1. – С. 35–41. [Krainik VM, Novikov DI, Zaitsev AYu, Kozlov SP, Gavrilenko AV, Kuklin AV. Experience of clinical use of ultrasound guidance for cervical plexus block in reconstructive carotid surgery. *Bull Anesthesiol Resusc*. 2019;16(1):35-41. (In Russ.).] Doi: 10.21292/2078-5658-2019-16-1-35-41.

14. Moshkin AS. Questions of surgical anatomy features of the common carotid artery. *Medicus*. 2020;32(2):73-74.

15. Дербилова В.П., Виноградов Р.А., Капран Т.И. и др. Анатомия и геометрия бифуркации общей сонной артерии // *Клин. физиол. кровообращ.* – 2022. – Т. 19, № 1. – С. 25–32. [Derbilova VP, Vinogradov RA, Kapran TI, Zakharov YuN, Borisov VG, Vinogradova ER, Sukhoruchkin PV, Baryshev AG. Anatomy and geometry of bifurcation of the common carotid artery. *Clin Physiol Blood Circ*. 2022;19(1):25-32. (In Russ.).] Doi: 10.24022/1814-6910-2022-19-1-25-32.

16. Возможности эндоваскулярной хирургии в коррекции стенотических поражений внутренней сонной арте-

рии при сложных анатомических условиях / Белый А.И., Суслов Е.С., Ефимов В.В., Федорченко А.Н. // *Инновац. мед. Кубани.* – 2022. – № 1(25). – С. 53–60. [Beliy AI, Suslov ES, Efimov VV, Fedorchenko AN. Scope of endovascular surgery in correction of stenotic lesions of the internal carotid artery in complex anatomic conditions. *Innov Med Kuban*. 2022;(1):53-60. (in Russ.).] Doi: 10.35401/2500-0268-2022-25-1-53-60.

17. Del Brutto VJ, Dong C, Cullison K, Caunca MR, Simonetto M, Cabral DE, Gutierrez J, Elkind MSV, Sacco RL, Rundek T. Internal Carotid Artery Angle Variations are Poorly Explained by Vascular Risk Factors: The Northern Manhattan Study. *J Stroke Cerebrovasc Dis*. 2022;31(8):106540. Doi: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2022.106540.

18. Qin XH, Zhang H, Mi WD. Anatomic relationship of the internal jugular vein and the common carotid artery in Chinese people. *Chin Med J (Engl)*. 2010;123(22):3226-3230.

19. Самотёсов П.А., Левенец А.А., Кан И.В. и др. Вариабельная анатомия бифуркации общих сонных артерий у мужчин // *Сиб. мед. журн.* – 2012. – Т. 112, № 5. – С. 31–33. [Samotesov PA, Levenets AA, Kan IV, Shnyakin PG, Russian AN, Makarov AF, Avdeev AI. Variant anatomy of bifurcation of common carotid arteries in men. *Sib Med J*. 2012;112(5):31-33. (In Russ.).]

20. Простов И.И., Забазнов К.Г., Смартыгина Е.О. и др. Вариант анатомии экстракраниального отдела внутренней сонной артерии // *Вестн. Нац. мед.-хир. Центра им. Н.И. Пирогова.* – 2021. – Т. 16, № 3. – С. 109–112. [Prostov II, Zabaznov KG, Smartygina EO, Kanzurov RN, Yudin VA, Nemirovich MV, Blinov IM. Variant of the anatomy of the extracranial department of the internal carotid artery. *Bull Nat Med Surg Center Pirogov*. 2021;16(3):109-112. (In Russ.).] Doi: 10.25881/20728255\_2021\_16\_3\_109.

21. Лелюк В.Г., Лелюк С.Э. Ультразвуковая ангиология. – М.: Реал Тайм, 2007. – 398 с. [Lelyuk VG, Lelyuk SE. Ultrasound angiology. Moscow, Real Time, 2007:398. (In Russ.).]

22. Заднепровская В.В., Ловрикова М.А., Заднепровская А.Н. Ультразвуковая диагностика сосудистых заболеваний головы и шеи: учеб. пособие / В.В. Заднепровская, М.А. Ловрикова, А.Н. Заднепровская. – Хабаровск: Институт повышения квалификации специалистов здравоохранения Министерства здравоохранения Хабаровского края, 2018. – 208 с. [Zadneprovskaya VV, Lavrikova MA, Zadneprovskaya AN. Ultrasound diagnostics of vascular diseases of the head and neck. Khabarovsk, Institute for Advanced Training of Healthcare Professionals of the Ministry of Health of the Khabarovsk Territory, 2018:208. (In Russ.).]

23. Цветкова Н.В., Случанко Е.И. Компьютерное моделирование влияния атеросклеротического процесса во внутренней сонной артерии на гемодинамику брахиоцефальных артерий и виллизиева круга // *Вестн. совр. клин. мед.* – 2022. – Т. 15, № 5. – С. 73–80. [Tsvetkova NV, Sluchanko EI. Computer simulation of atherosclerotic process influence in the internal carotid artery on the hemodynamics of brachiocephal arteries and the circle of willisian. *Bull Contemp Clin Med*. 2022;15(5):73-80. (In Russ.).] Doi: 10.20969/VSKM.2022.15(5).73-80.

24. Численный анализ гемодинамики в сонной артерии с учетом персонализированного подхода и различных моделей крови / Хайруллин А.Р., Байдаров А.А., Породииков А.А., Кучумов А.Г. // *Master's J.* – 2020. – № 1. – С. 245–258. [Khairullin AR, Baydarov AA, Porotikov AA, Kuchumov AG. Numerical analysis of hemodynamics in the carotid artery taking into account a personalized approach and various blood models. *Master's J*. 2020;1:245-258. (In Russ.).]

25. Шумилина М.В. Типы бифуркаций общих сонных артерий // *НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН. Серд.-сосуд.*



забол. – 2014. – Т. 15, № S6. – С. 139. [Shumilina MV. Types of bifurcations of common carotid arteries. Bull Bakoulev Center. Cardiovasc Dis. 2014; 15(S6):139. (In Russ.)].

26. Мошкин А.С., Халилов М.А., Шмелева С.В. и др. Организация персонализированного лечения заболеваний сонных артерий с учетом анализа вариантов бифуркации // Пробл. соц. гигиены, здравоохран. и истории мед. – 2021. – Т. 29, № 4. – С. 951–956. [Moshkin AS, Khalilov MA, Shmeleva SV, Bonkalo TI, Aralova EV, Rybakova AI, Shchadilova IS. The organization or personified treatment of diseases of coronary arteries considering analysis of bifurcation modifications. Probl Soc Hyg, Public Health History Med. 2021; 29(4):951-956. (In Russ.)]. Doi: 10.32687/0869-866X-2021-29-4-951-956.

### Информация об авторах

**Николенько Владимир Николаевич** – д-р мед. наук, профессор, зав. кафедрой анатомии и гистологии человека, зав. кафедрой нормальной и топографической анатомии, Московский государственный медицинский университет им. И. М. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, Россия; зав. кафедрой нормальной и топографической анатомии, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия, e-mail: vn.nikolenko@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-9532-9957.

**Мошкин Андрей Сергеевич** – канд. мед. наук, доцент кафедры анатомии, оперативной хирургии и медицины катастроф, Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева, г. Орел, Россия, e-mail: as.moshkin@internet.ru, ORCID: 0000-0003-2085-0718.

**Халилов Максуд Абдуразакович** – д-р мед. наук, профессор, зав. кафедрой анатомии, оперативной хирургии и медицины катастроф, Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева, г. Орел, Россия, e-mail: halilov.66@mail.ru, ORCID: 0000-0003-3529-0557.

**Бочкарев Алексей Борисович** – канд. мед. наук, доцент кафедры анатомии, оперативной хирургии и меди-

цины катастроф, Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева, г. Орел, Россия, e-mail: bochkarev71@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8435-6853.

**Ли Чжи** – аспирант отделения сосудистой хирургии, Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, Россия, e-mail: li-zhi@mail.ru, ORCID: 0000-0003-2062-8463.

### Authors information

**Nikolenko Vladimir N.** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Human Anatomy and Histology, Head of the Department of Normal and Topographic Anatomy, I. M. Sechenov Moscow State Medical University of the Ministry of Health of Russia (Sechenov University), Moscow, Russia; Head of the Department of Normal and Topographic Anatomy, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, e-mail: vn.nikolenko@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-9532-9957.

**Moshkin Andrey S.** – Candidate (PhD) of Medical Sciences, Associate Professor, Department of Anatomy, Operative Surgery and Disaster Medicine, Turgenev Orel State University, Orel, Russia, e-mail: as.moshkin@internet.ru, ORCID: 0000-0003-2085-0718.

**Khalilov Maksud A.** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head, Department of Anatomy, Operative Surgery and Disaster Medicine, Turgenev Orel State University, Orel, Russia, e-mail: halilov.66@mail.ru, ORCID: 0000-0003-3529-0557.

**Bochkarev Alexey B.** – Candidate (PhD) of Medical Sciences, Associate Professor, Department of Anatomy, Operative Surgery and Disaster Medicine, Turgenev Orel State University, Orel, Russia, e-mail: bochkarev71@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8435-6853.

**Li Zhi** – Postgraduate Student, Department of Vascular Surgery, I. M. Sechenov Moscow State Medical University of the Ministry of Health of Russia (Sechenov University), Moscow, Russia, e-mail: li-zhi@mail.ru, ORCID: 0000-0003-2062-8463.