



Ультразвуковые параметры оценки локальной гемодинамики деформаций внутренних сонных артерий

©А.В. Поморцев¹, К.А. Багдасарян^{1,2*}, А.Н. Сенча³

¹Кубанский государственный медицинский университет, Краснодар, Россия

²Городская поликлиника города-курорта Геленджик, Геленджик, Россия

³Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии им. акад. В.И. Кулакова, Москва, Россия

* К.А. Багдасарян, Кубанский государственный медицинский университет, 350063, Краснодар, ул. М. Седина, 4, kbagdasaryan.83@mail.ru

Поступила в редакцию 26 февраля 2023 г. Исправлена 31 марта 2023 г. Принята к печати 2 апреля 2023 г.

Резюме

Актуальность: Несмотря на высокую распространенность деформаций внутренних сонных артерий (ВСА), до настоящего времени нет единого мнения по вопросам значимости оценки параметров локальной гемодинамики деформаций ВСА.

Цель исследования: Определение значимости различных ультразвуковых параметров при оценке локальной гемодинамики деформаций ВСА.

Материалы и методы: Проведено одномоментное наблюдательное исследование. В амбулаторно-поликлинических условиях 427 пациентам выполнено ультразвуковое исследование (УЗИ) сонных артерий. Для понимания роли различных УЗ параметров в оценке локальной гемодинамики деформаций ВСА осуществлялся кластерный анализ всей выборки пациентов (n = 386) с учетом коэффициента деформации, угла деформации, турбулентности кровотока и его пиковой скорости в месте максимальной деформации. Далее по результатам кластерного анализа проведен дискриминантный анализ.

Результаты: В ходе кластеризации пациентов из генеральной выборки (n = 386) были сформированы 3 кластера. Далее для оценки использованных показателей проведен дискриминантный анализ. Получено, что все указанные показатели имеют небольшое значение лямбды Уилкса, что говорит об их высоком вкладе в дискриминацию, однако у коэффициента деформации она наименьшая (0,26), что свидетельствует об особой значимости такого параметра как коэффициент деформации. Анализ показателя «толерантность» демонстрирует, что наиболее независимым показателем является коэффициент деформации (0,67).

Заключение: Установлено, что наиболее значимым и независимым параметром для оценки локальной гемодинамики деформаций внутренних сонных артерий является коэффициент деформации, наименее значимым параметром – турбулентность кровотока.

Ключевые слова: ультразвуковое исследование артерий, деформация сонных артерий, гемодинамическая значимость деформаций, патологический изгиб внутренней сонной артерии, угол деформации внутренней сонной артерии

Цитировать: Поморцев А.В., Багдасарян К.А., Сенча А.Н. Ультразвуковые параметры оценки локальной гемодинамики деформаций внутренних сонных артерий. *Инновационная медицина Кубани.* 2023;(2):40–46. <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2023-26-2-40-46>

Ultrasound Parameters for Evaluating Local Hemodynamics of Internal Carotid Artery Anomalies

©Alexey V. Pomortsev¹, Karapet A. Bagdasaryan^{1,2*}, Alexander N. Sencha³

¹Kuban State Medical University, Krasnodar, Russian Federation

²Gelendzhik City Polyclinic, Gelendzhik, Russian Federation

³National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology Named After Academician V.I. Kulakov, Moscow, Russian Federation

* Karapet A. Bagdasaryan, Kuban State Medical University, ulitsa M. Sedina 4, Krasnodar, 350063, Russian Federation, kbagdasaryan.83@mail.ru

Received: February 26, 2023. Received in revised form: March 31, 2023. Accepted: April 2, 2023.

Abstract

Background: Despite the high prevalence of internal carotid artery (ICA) anomalies, there is still no consensus on which parameters should be used to evaluate their local hemodynamics and what significance each parameter holds.

Objective: To determine the significance of various ultrasound parameters for evaluating the local hemodynamics of ICA anomalies.

Materials and methods: In our cross-sectional observational study 427 outpatients underwent carotid ultrasound. To evaluate the significance of various ultrasound parameters for local hemodynamics assessment, we used a cluster analysis for the entire sample (n = 386), taking into account the deformation coefficient, angle of deformation, blood flow turbulence at the site of maximum deformation, and peak blood flow velocity at the site of maximum deformation. Based on the cluster analysis results, we did a discriminant function analysis.

Results: During the clustering of patients from the total sample (n = 386), 3 clusters were formed. We did a discriminant function analysis to evaluate the indicators used. We found that all of them had a small Wilks' Lambda indicating their greater discrimina-



tory ability. The deformation coefficient was the most significant parameter as it had the smallest value (0.26). “Tolerance” analysis showed that the deformation coefficient is the most independent indicator (0.67).

Conclusions: Our study showed that the most significant and independent parameter for evaluating the local hemodynamics of ICA anomalies is the deformation coefficient, with the blood flow turbulence being the least significant parameter.

Keywords: vascular ultrasound, carotid artery anomaly, hemodynamically significant deformation, pathological ICA kinking, angle of ICA deformation

Cite this article as: Pomortsev AV, Bagdasaryan KA, Sencha AN. Ultrasound parameters for evaluating local hemodynamics of internal carotid artery anomalies. *Innovative Medicine of Kuban.* 2023;(2):40–46. <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2023-26-2-40-46>

Введение

Болезни системы кровообращения (БСК) занимают лидирующее место в структуре общей смертности населения Российской Федерации [1, 2]. Ишемическая болезнь сердца и цереброваскулярные заболевания – основные причины смертности от БСК (53 и 31% соответственно) [1, 3]. Главными факторами развития сосудистой мозговой недостаточности являются атеросклеротическое поражение сонных артерий и патологическая извитость внутренних сонных артерий (ВСА) [4–7]. Обе патологии проявляют прогрессирующий характер и со временем усугубляют имеющееся нарушение мозгового кровообращения, что приводит к повышению риска осложнений, инвалидизации и летальности [8–10].

Современное изучение сонных артерий невозможно без применения ультразвукового исследования (УЗИ) [11–14]. Ультразвуковой метод по сравнению с мультиспиральной компьютерной томографией, магнитно-резонансной и рентгеноконтрастной ангиографией имеет ряд важных преимуществ – неинвазивность, отсутствие лучевой нагрузки, контрастных веществ и побочных эффектов. Исследование технически несложное, быстрое, недорогое, легко воспроизводимое. Эти неоспоримые плюсы сделали УЗИ методом первого выбора при изучении сонных артерий. При выявлении деформаций сонных артерий в большинстве случаев УЗИ позволяет качественно оценить локализацию и форму деформаций, локальную гемодинамику [15, 16].

Основными параметрами оценки локальной гемодинамики деформаций являются наличие турбулентности кровотока (ТК) в месте деформации, острые углы деформации (УД) и соотношение пиковой скорости кровотока (ПСК) в месте максимальной дефор-

мации до и после деформации [11, 17, 18]. Однако, несмотря на высокую распространенность деформаций ВСА, до настоящего времени нет единого мнения ни по поводу параметров, которые позволяют оценить их локальную гемодинамику, ни по поводу значимости каждого из них. В связи с этим особую актуальность приобретает изучение УЗ параметров для оценки локальной гемодинамики деформаций ВСА.

Цель исследования

Определение значимости различных ультразвуковых параметров при оценке локальной гемодинамики деформаций ВСА.

Материалы и методы

Проведено одномоментное наблюдательное исследование. Критерии включения – пациенты от 18 лет и старше, впервые направленные на УЗИ сонных артерий участковым терапевтом, неврологом или кардиологом для исключения патологии сонных артерий.

Критерии исключения – ранее перенесенные острые сердечно-сосудистые события (острые инфаркты миокарда, инсульты, транзиторные ишемические атаки), отказ пациента от участия в исследовании.

У всех пациентов было получено письменное информированное согласие на участие в исследовании.

Для осуществления цели и задач исследования в амбулаторно-поликлинических условиях первым этапом выполнено УЗИ сонных артерий 427 пациентам (203 мужчины и 224 женщины – 47,5 и 52,5% соответственно). Средний возраст мужчин – $53,6 \pm 7,29$, женщин – $53,8 \pm 7,21$ (M \pm SD). Клиническая характеристика обследованных пациентов по наличию основных факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний представлена в таблице 1.

Таблица 1

Клиническая характеристика пациентов по наличию основных факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний
Table 1

Clinical characteristics of patients according to main risk factors for cardiovascular diseases

Фактор риска	Гипертоническая болезнь			Сахарный диабет			Гиперхолестеринемия			Курение		
	м	ж	всего	м	ж	всего	м	ж	всего	м	ж	всего
Пол												
Количество пациентов (n = 427)	79	62	141 (33%)	16	19	35 (8,2%)	76	63	139 (32,5%)	69	31	100 (23,4%)

Прим.: м – мужской пол, ж – женский

Note: m – male, j – female

Отбор и УЗИ сонных артерий проводилось в амбулаторных условиях в Городской поликлинике города-курорта Геленджик Министерства здравоохранения Краснодарского края. Статистическая обработка полученных данных осуществлялась на кафедре лучевой диагностики № 1 Кубанского государственного медицинского университета Министерства здравоохранения РФ. Исследования проводили в период с октября 2017 по сентябрь 2020 г.

В работе использовались данные, полученные при УЗИ сонных артерий, с помощью ультразвукового сканера SonoScape S30 pro (SonoScape, Китай) (регистрационное удостоверение № РЗН 2013/1328 от 26 октября 2017 г.). Линейный датчик 4,0–13,0 МГц применяли в режиме сканирования «сонные артерии», конвексный датчик 2,0–5,0 МГц – в режиме сканирования «сонные артерии». Пациента укладывали на спину и просили опрокинуть голову назад слегка в контрлатеральную сторону. Идентифицировали общую сонную артерию и ВСА. Оценку состояния сосудов проводили в режимах серой шкалы, цветного доплеровского картирования и импульсно-волнового доплера.

Исследование осуществлялось в 2 этапа (рис.):

1. Задача первого этапа – выявить деформации ВСА, исключить из анализа пациентов с гемодинамически значимыми стенозами и/или с петлеобразными деформациями ВСА. Для выполнения задачи 427 пациентам в амбулаторно-поликлинических условиях выполнено УЗИ сонных артерий.

2. Задача второго этапа – проанализировать значимость различных УЗ параметров при оценке локальной гемодинамики деформаций ВСА. Для выполнения

задачи осуществлен кластерный анализ всей выборки пациентов ($n = 386$) с учетом коэффициента деформации (КД), УД, ТК в месте максимальной деформации и ПСК в месте максимальной деформации. Далее по результатам кластерного анализа выполнен дискриминантный анализ.

Для оценки степени сужения ВСА измерения производились по площади, диаметру на основании метода European Carotid Surgery Trial (ESCT) и лишь при наличии атеросклеротических бляшек (АСБ), стенозирующих просвет по ESCT более 50%, сужения измеряли по диаметру на основании метода North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial (NASCET).

При обнаружении деформаций ВСА осуществлялась оценка следующих параметров: УД, наличие ТК в месте максимальной деформации, значения ПСК в месте максимальной деформации и подсчитывался КД.

Подсчет коэффициента деформации

Коэффициент деформации является разработанным нами дополнительным параметром для оценки локальной гемодинамики деформаций ВСА (патент на изобретение: «Способ дифференциальной диагностики гемодинамического состояния сонных артерий» № 2783301 от 14.12.2021 г.). При подсчете данного коэффициента во время УЗИ рассчитывается истинная длина сосуда в деформированном участке ($D_{и}$). Далее выявляется кратчайшее расстояние от начала до конца деформированного участка, измеряется его длина. Это предполагаемая длина сосуда при его прямолинейном ходе ($D_{к}$). КД получается путем соотношения $D_{и}$ к $D_{к}$, по формуле $КД = D_{и} / D_{к}$ [19].

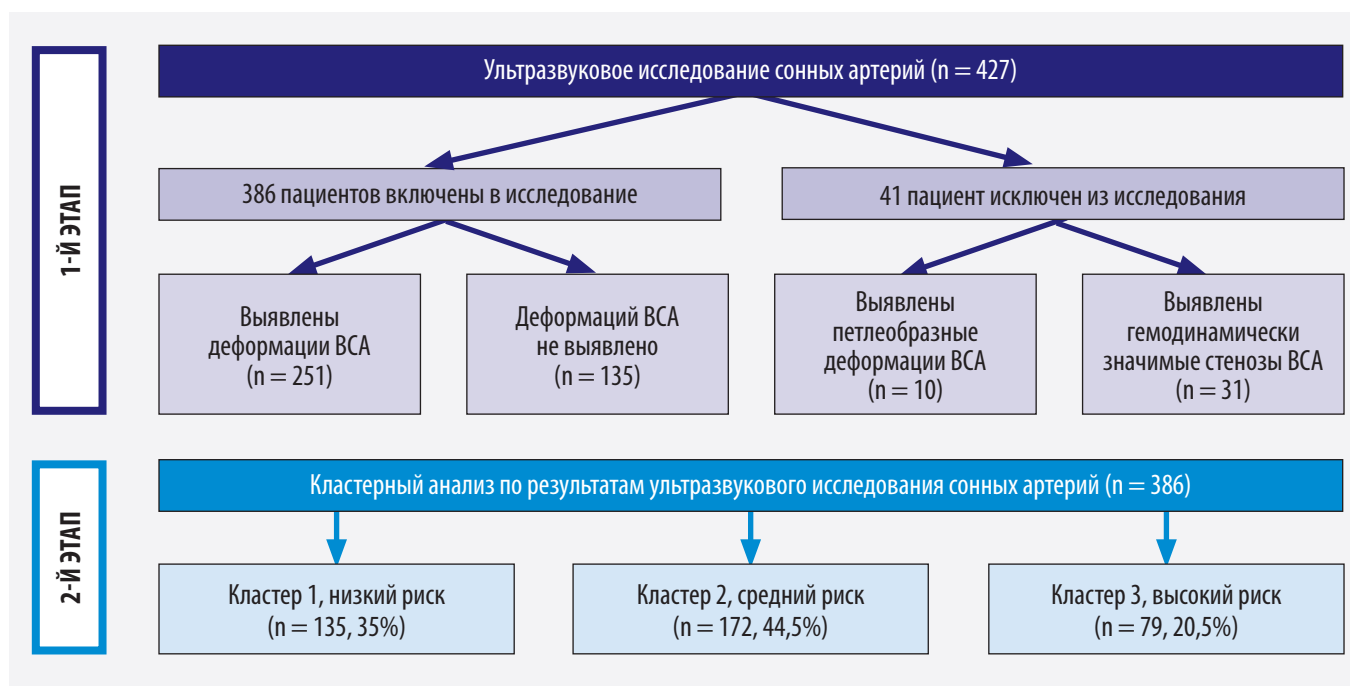


Рисунок. Схема дизайна исследования
Figure. Study design scheme

Статистический анализ

Статистический анализ проводился с помощью программного пакета StatSoft STATISTICA v.12.

Кластерный анализ

Для кластеризации пациентов на основании данных УЗИ использовался метод k-средних. Кластеры формируются таким образом, чтобы минимизировать суммарное квадратичное отклонение всех элементов каждого кластера от центра этого кластера. Центр – это точка, полученная усреднением положений всех точек в кластере. В нашем случае центр можно интерпретировать как усредненную модель «типичного пациента», относящегося к данному кластеру.

Дискриминантный анализ

Для оценки значимости различных УЗ параметров использовался метод пошагового дискриминантного анализа. В процессе анализа определяются наиболее значимые признаки, которые можно использовать для дискриминации (разделения) пациентов по кластерам. Дискриминационная функция строится последовательно. На каждом этапе оценивается вклад в функцию дискриминации параметров, которые еще не включены в модель. Параметр, дающий наибольший вклад, включается в модель, далее система переходит к следующему шагу. Для оценки результатов использовали коэффициент лямбда Уилкса (Wilks' Lambda), который показывает вклад каждого показателя в общую дискриминацию результатов. Чем меньше значение коэффициента, тем больше вклад показателя. Показатель толерантности (Toler.) – это доля дисперсии переменной, не объясняемой другими независимыми переменными, то есть это мера независимости переменной от других переменных. Переменная со слишком низкой толерантностью вносит в модель мало информации.

Для оценки дискриминирующей способности модели оценивали расстояние Махаланобиса, которое является мерой расстояния между центральными точками в пространстве признаков классификации. Чем больше расстояние между центроидами кластеров, тем легче дискриминировать элементы и тем выше дискриминационная способность модели.

Результаты

В рамках первого этапа исследования при наличии гемодинамически значимых стенозов ВСА (АСБ со степенью стеноза более 60% по NASCET) пациенты исключались из дальнейшего анализа во избежание влияния на оценку локальной гемодинамики деформаций сонных артерий.

В таблице 2 представлены результаты выявления АСБ ВСА по степени сужения.

Таблица 2
Результаты выявления АСБ ВСА по степени сужения по NASCET

Table 2
Results of atherosclerotic plaques detection in the ICA using NASCET degree of narrowing

Количество пациентов	Стенозов не выявлено	Стеноз до 60%	Стеноз более 60%
Всего (n = 427)	229 (53,6%)	167 (39,1%)	31 (7,3%)

Учитывая вышеизложенное, 31 пациент был исключен из дальнейшего анализа.

При выявлении деформаций ВСА осуществлялась ее оценка по форме и степени нарушения локальной гемодинамики.

В таблице 3 представлена распространенность деформаций ВСА.

Учитывая вышеописанное, 10 пациентов с петлеобразными деформациями ВСА исключены из дальнейшего анализа.

Вторым этапом исследования являлся анализ значимости различных УЗ-параметров при оценке локальной гемодинамики деформаций ВСА.

Для выполнения этой задачи была выполнена кластеризация пациентов из генеральной выборки (n = 386) на основании 4-х показателей, полученных при УЗИ: КД, УД, ТК и ПСК. Для кластеризации использовался метод k-средних.

В ходе кластеризации было сформировано 3 кластера, результаты кластеризации приведены в табл. 4, где КД – значение коэффициента деформации, УД – значение угла деформации, ТК 0 – отсутствие турбулентности в деформированном участке, ТК 1 – наличие турбулентности в деформированном участке,

Таблица 3
Распространенность деформаций ВСА
Table 3
Prevalence of ICA anomalies

Количество пациентов	Деформации ВСА		Деформаций ВСА не выявлено
	Петлеобразные деформации ВСА	Другие формы деформации ВСА	
n = 396	10 (2,5%)	251 (63,4%)	135 (34,1%)

ПСК 0 – пиковая скорость кровотока в месте максимальной деформации менее 150 см/сек, ПСК 1 – пиковая скорость кровотока в месте максимальной деформации более 150 см/сек.

Таблица 4
Значения показателей центроидов выявленных кластеров

Table 4
Parameters of centroids for identified clusters

Кластер	КД	УД	ТК	ПСК	Число элементов	Доля, %
1	1,00	180	0	0	135	35,0
2	1,34	98	0	0	172	44,5
3	2,26	47	1	1	79	20,5

Характеристики полученных кластеров были проанализированы, полученные результаты интерпретированы.

Интерпретация полученных кластеров:

1) Кластер 1. Характеристики центроида: КД – 1,00, УД – 180, отсутствие ТК, ПСК – ниже 150 см/сек. В этот кластер попали 135 человек (35,0% от всей выборки), которых можно охарактеризовать как пациентов с низким риском возникновения сосудистой мозговой недостаточности (здоровые).

2) Кластер 2. Характеристики центроида: КД – 1,34, УД – 98, отсутствие ТК, ПСК – ниже 150 см/сек. В этот кластер попали 172 пациентов (44,5% от всей выборки), которых можно отнести к группе пациентов со средним риском возникновения сосудистой мозговой недостаточности.

3) Кластер 3. Характеристики центроида: КД – 2,26, УД – 47, наличие ТК, ПСК – выше 150 см/сек. В этот кластер попали 79 пациентов (20,5% от всей выборки), которых можно отнести к группе пациентов с высоким риском возникновения сосудистой мозговой недостаточности.

Для оценки дискриминационной способности полученной модели определили попарно расстояния Махаланобиса между центроидами классификационных групп (табл. 5).

Таблица 5
Значение расстояния Махаланобиса между центроидами классификационных групп

Table 5
Mahalanobis distance between the centroids of the classification groups

Объединения	Кластер 1	Кластер 2	Кластер 3
Кластер 1	0,00000	11,67870	37,16631
Кластер 2	11,67870	0,00000	9,44159
Кластер 3	37,16631	9,44159	0,00000

Значения, приведенные в таблице 5, соответствуют уровню значимости $p < 0,001$, что указывает на высокую дискриминирующую способность построенной модели.

Далее для оценки использованных показателей был проведен дискриминантный анализ, позволяющий определить вклад каждого показателя в общую дискриминацию результатов диагностики.

В процессе пошагового анализа были получены следующие результаты (табл. 6).

Таблица 6
Результаты дискриминантного анализа в общей выборке (n = 386)

Table 6
Discriminant function analysis results for the total sample (n = 386)

Параметры	Wilks' Lambda	Toler.	p
КД	0,26	0,67	< 0,001
УД	0,30	0,58	< 0,001
ТК	0,36	0,38	< 0,001
ПСК	0,32	0,46	< 0,001

Все указанные показатели имеют небольшое значение лямбды Уилкса, что говорит об их высоком вкладе в дискриминацию, однако у КД она наименьшая (0,26), что свидетельствует о том, что КД – самый значимый из параметров. Показатели УД, ТК и ПСК имеют более высокие значения лямбды Уилкса (0,30, 0,36 и 0,32 соответственно), но поскольку их значения достаточно низкие, они тоже считаются достаточно значимыми.

Анализ параметра «толерантность» указывает, что наиболее независимым показателем в данной модели выступает КД (0,67). Показатели УД, ТК и ПСК имеют более низкое значение толерантности (0,58, 0,38 и 0,46 соответственно), но поскольку их толерантность достаточно велика, они тоже были включены в функцию дискриминации.

Для верификации результатов, полученных при помощи УЗИ, 159 пациентам выполнена КТ-ангиография сонных артерий. Чувствительность ультразвукового метода составила 98,4%, специфичность – 88,6%, диагностическая точность – 96,2%, положительная прогностическая ценность – 96,8%, отрицательная прогностическая ценность – 93,9%.

Обсуждение

Ультразвуковой метод закрепил свое лидирующее место при оценке патологий сонных артерий. УЗИ сонных артерий позволяет оценить диаметры сонных артерий, измерить скоростные параметры в сонных артериях, выявить как начальные признаки атеросклероза, так и наличие атеросклеротических бляшек, диагностировать деформации сонных артерий

и охарактеризовать их. Ультразвуковое исследование сонных артерий может быть единственным используемым методом как при первичной диагностике деформаций сонных артерий, так и при динамическом наблюдении за ранее выявленными деформациями. А дополнительные методы исследований применяются при недостаточном объеме информации, полученной при УЗИ, и при противоречивости ранее использованных данных диагностики.

Учитывая высокую информативность ультразвукового метода и отсутствие общепринятого единого подхода к обследованию и лечению пациентов с деформациями ВСА, изучение УЗ параметров для оценки локальной гемодинамики деформаций ВСА остается особенно актуальной задачей.

Результаты нашего исследования показали, что наиболее значимыми и независимыми параметрами при оценке локальной гемодинамики деформаций ВСА являются КД и УД. Анализ современной литературы подтверждает полученные данные. В.П. Куликов и соавт. (2015) приводят УД как один из основных критериев [20], а М.Л. Каплан и соавт. (2013) считают, что в сосудах с углом изгиба менее 90 ° церебральная гемодинамика зависит только от угла изгиба [21].

Несмотря на то что в результате нашего исследования у ПСК и ТК получились более высокие показатели лямбды Уилкса, но, тем не менее, поскольку их значения достаточно низкие, они тоже считаются значимыми показателями. Это не противоречит данным современной литературы. В Институте хирургии им. А.В. Вишневского основными критериями локальной гемодинамической значимости деформации ВСА считают наличие ТК и значения ПСК [22, 23]. В.П. Куликов и соавт. (2015) тоже приводят данные ТК и значения ПСК как основных критериев [20].

Небольшой объем выборки исследования не позволяет уверенно экстраполировать полученные результаты на генеральную совокупность.

Заключение

Таким образом, в результате нашего исследования показано, что все 4 параметра: КД, УД, ПСК и ТК являются значимыми для оценки локальной гемодинамики деформаций ВСА. Самым значимым и независимым параметром является КД, наименее значимым параметром – ТК.

Литература/References

1. *Здравоохранение в России. 2019: статистический сборник*. Федеральная служба государственной статистики; 2019. *Public Health in Russia. 2019: Statistical Compendium*. Federal State Statistics Service; 2019. (In Russ.).
2. Савина А.А., Фейгинова С.И. Динамика заболеваемости болезнями системы кровообращения взрослого населения Российской Федерации в 2007-2019 гг. *Социальные аспекты*

здоровья населения. 2021;67(2):1. <https://doi.org/10.21045/2071-5021-2021-67-2-1>

Savina AA, Feyginova SI. Dynamics in incidence of diseases of the circulatory system among adults in the Russian Federation in 2007-2019. *Social Aspects of Population Health*. 2021;67(2):1. (In Russ.). <https://doi.org/10.21045/2071-5021-2021-67-2-1>

3. Вайсман Д.Ш., Александрова Г.А., Леонов С.А., Савина А.А. Достоверность показателей и структуры причин смерти от болезней системы кровообращения в Российской Федерации при международных сопоставлениях. *Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики*. 2019;(3):69–84.

Vaysman DSh, Aleksandrova GA, Leonov SA, Savina AA. The accuracy of indicators and the structure of causes of death from diseases of the circulatory system in the Russian Federation in international comparisons. *Current Problems of Health Care and Medical Statistics*. 2019;(3):69–84. (In Russ.).

4. Вешкина Л.П., Носова М.В., Усанова Т.А. Факторы риска ишемического инсульта с учетом гендерных особенностей. *Norwegian Journal of Development of the International Science*. 2019;(3–1):3–6.

Weshkina LP, Nosova MV, Usanova TA. Risk factors for ischemic stroke with a gender features. *Norwegian Journal of Development of the International Science*. 2019;(3–1):3–6. (In Russ.).

5. Benson JC, Brinjikji W, Messina SA, Lanzino G, Kallmes DF. Cervical internal carotid artery tortuosity: a morphologic analysis of patients with acute ischemic stroke. *Interv Neuroradiol*. 2020;26(2):216–221. PMID: 31766962. PMCID: PMC7507229. <https://doi.org/10.1177/1591019919891295>

6. Noh SM, Kang HG. Clinical significance of the internal carotid artery angle in ischemic stroke. *Sci Rep*. 2019;9(1):4618. PMID: 30905965. PMCID: PMC6431677. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37783-1>

7. Strecker C, Krafft AJ, Kaufhold L, et al. Carotid geometry is an independent predictor of wall thickness – a 3D cardiovascular magnetic resonance study in patients with high cardiovascular risk. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2020;22(1):67. PMID: 32912285. PMCID: PMC7488078. <https://doi.org/10.1186/s12968-020-00657-5>

8. Aber A, Howard A, Woods HB, Jones G, Michaels J. Impact of carotid artery stenosis on quality of life: a systematic review. *Patient*. 2019;12(2):213–222. PMID: 30328068. <https://doi.org/10.1007/s40271-018-0337-1>

9. Baradaran H, Demissie S, Himali JJ, et al. The progression of carotid atherosclerosis and imaging markers of dementia. *Alzheimers Dement (N Y)*. 2020;6(1):e12015. PMID: 32296732. PMCID: PMC7154591. <https://doi.org/10.1002/trc2.12015>

10. Kliś KM, Krzyżewski RM, Kwinta BM, Stachura K, Gaśowski J. Tortuosity of the internal carotid artery and its clinical significance in the development of aneurysms. *J Clin Med*. 2019;8(2):237. PMID: 30759737. PMCID: PMC6406528. <https://doi.org/10.3390/jcm8020237>

11. Казанцев А.Н., Виноградов Р.А., Ерофеев А.А. и др. Проблема выбора метода реваскуляризации при сочетанном поражении коронарных и сонных артерий. Обзор действующих рекомендаций и серии статей. *Журнал им. Н.В. Склифосовского «Неотложная медицинская помощь»*. 2022;11(1):147–157. <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2022-11-1-147-157>

Kazantsev AN, Vinogradov RA, Erofeev AA, et al. The problem of the choice of revascularization in combined lesion of the coronary and carotid arteries. Review of current recommendations and article series. *Russian Sklifosovsky Journal “Emergency Medical Care”*. 2022;11(1):147–157. (In Russ.). <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2022-11-1-147-157>

12. Gorican K, Chochola M, Kocik M, Zak A. Diagnostic criteria for the determination of clinically significant internal carotid artery stenosis using duplex ultrasound. *Biomed Pap Med Fac Univ Palacky Olomouc Czech Repub.* 2020;164(3):255–260. PMID: 31219103. <https://doi.org/10.5507/bp.2019.029>

13. Saxena A, Ng EYK, Lim ST. Imaging modalities to diagnose carotid artery stenosis: progress and prospect. *Biomed Eng Online.* 2019;18(1):66. PMID: 31138235. PMCID: PMC6537161. <https://doi.org/10.1186/s12938-019-0685-7>

14. Brouwers JJWM, Jiang JFY, Feld RT, et al. A new Doppler-derived parameter to quantify internal carotid artery stenosis: maximal systolic acceleration. *Ann Vasc Surg.* 2022;81:202–210. PMID: 34780944. <https://doi.org/10.1016/j.avsg.2021.09.056>

15. Welby JP, Kim ST, Carr CM, et al. Carotid artery tortuosity is associated with connective tissue diseases. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2019;40(10):1738–1743. PMID: 31558499. PMCID: PMC7028570. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A6218>

16. Dilba K, van Dam-Nolen DHK, Crombag GAJC, et al. Dolichoarteriopathies of the extracranial internal carotid artery: The Plaque At RISK study. *Eur J Neurol.* 2021;28(9):3133–3138. PMID: 34133824. PMCID: PMC8457194. <https://doi.org/10.1111/ene.14982>

17. Valvano A, Bosso G, Apuzzi V, et al. Long-term follow-up in high risk hypertensive patients with carotid dolichoarteriopathies. *Int Angiol.* 2020;39(1):24–28. PMID: 31782281. <https://doi.org/10.23736/S0392-9590.19.04229-9>

18. Sacco S, Totaro R, Baldassarre M, Carolei A. Morphological variations of the internal carotid artery: prevalence, characteristics and association with cerebrovascular disease. *Int J Angiol.* 2007;16(2):59–61. PMID: 22477273. PMCID: PMC2733006. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1278249>

19. Поморцев А.В., Багдасарян К.А. Дополнительные возможности ультразвукового исследования при оценке локальных гемодинамически значимых деформаций сонных артерий: одномоментное наблюдательное исследование. *Кубанский научный медицинский вестник.* 2022;29(3):30–45. <https://doi.org/10.25207/1608-6228-2022-29-3-30-45>

Pomortsev AV, Baghdasaryan KA. Additional ultrasound capabilities for local haemodynamically significant carotid deformity: a one-stage observational study. *Kuban Scientific Medical Bulletin.* 2022;29(3):30–45. (In Russ.). <https://doi.org/10.25207/1608-6228-2022-29-3-30-45>

20. Куликов В.П. *Основы ультразвукового исследования сосудов.* Видар-М; 2015.

Kulikov VP. *Fundamentals of Vascular Ultrasound.* Vidar-M; 2015. (In Russ.).

21. Каплан М.Л., Бонцевич Д.Н. Влияние формы патологической извитости внутренней сонной артерии на церебральную гемодинамику. *Ангиология и сосудистая хирургия.* 2013;19(3):102–106.

Kaplan ML, Bontsevich DN. Effect of the form of pathological tortuosity of the internal carotid artery on cerebral haemo-

dynamics. *Angiology and Vascular Surgery.* 2013;19(3):102–106. (In Russ.).

22. Бокерия Л.А., Покровский А.В., Сокуренок Г.Ю. и др. *Национальные рекомендации по ведению пациентов с заболеваниями брахиоцефальных артерий.* МЗ РФ; 2013.

Bokeriya LA, Pokrovskii AV, Sokurenko GYu, et al. *National Guidelines for The Management of Patients With Brachiocephalic Artery Diseases.* MZ RF; 2013. (In Russ.).

23. Покровский А.В., Белоярцев Д.Ф., Тимина И.Е., Адырхаев З.А. Когда нужно оперировать патологическую деформацию внутренней сонной артерии? *Ангиология и сосудистая хирургия.* 2010;16(4):116–124.

Pokrovsky AV, Beloyartsev DF, Timina IE, Adyrkhaev ZA. When should a pathological deformity of the internal carotid artery be operated on? *Angiology and Vascular Surgery.* 2010;16(4):116–124. (In Russ.).

Сведения об авторах

Поморцев Алексей Викторович, д. м. н., профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики № 1, Кубанский государственный медицинский университет (Краснодар, Россия). <https://orcid.org/0000-0003-4129-3930>

Багдасарян Карпет Акопович, заочный аспирант кафедры лучевой диагностики № 1, Кубанский государственный медицинский университет; врач ультразвуковой диагностики, Городская поликлиника города-курорта Геленджик (Краснодар, Россия). <https://orcid.org/0000-0002-9649-2198>

Сенча Александр Николаевич, д. м. н., заведующий отделом визуальной диагностики, Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии им. акад. В.И. Кулакова (Москва, Россия). <https://orcid.org/0000-0002-1188-8872>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Author credentials

Alexey V. Pomortsev, Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of Diagnostic Radiology Department No. 1, Kuban State Medical University (Krasnodar, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0003-4129-3930>

Karpet A. Bagdasaryan, Postgraduate Student (correspondence course), Diagnostic Radiology Department No. 1, Kuban State Medical University; Ultrasonographer, Gelendzhik City Polyclinic (Gelendzhik, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-9649-2198>

Alexander N. Sencha, Dr. Sci. (Med.), Head of Imaging Division, National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology Named After Academician V.I. Kulakov (Moscow, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-1188-8872>

Conflict of interest: none declared.