

УДК 616.12-008.6-036.12-053.9

DOI: <https://doi.org/10.17816/PAVLOVJ375266>

Сосудистая жесткость у пациентов старческого возраста с хронической сердечной недостаточностью

Д. С. Грачев[✉], В. С. Петров, К. И. Намазова, Т. А. Максякова, В. И. Токарева

Рязанский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова, Рязань, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. Изучение сосудистой жесткости является методом оценки риска сердечно-сосудистых заболеваний. Одним из методов оценки артериальной жесткости является сердечно-лодыжечный сосудистый индекс (англ.: *cardio-ankle vascular index*, CAVI), отражающий степень структурных поражений сосудов. Данный индекс перспективен для изучения сосудистой жесткости у лиц старческого возраста с хронической сердечной недостаточностью (ХСН) с целью выявления новых предикторов сердечно-сосудистого риска.

Цель. Изучение индексов сосудистой жесткости (сердечно-лодыжечного и лодыжечно-плечевого) у пациентов старческого возраста (75–89 лет) с ХСН методом объемной сфигмографии.

Материалы и методы. В исследование включено 120 пациентов (87 женщин и 33 мужчины) с ХСН старческого возраста (средний возраст $81,3 \pm 4,2$ лет). Всем пациентам проводился анализ показателей эхокардиографии и сфигмографии с оценкой индекса CAVI и лодыжечно-плечевого индекса.

Результаты. У пациентов с ХСН IV функционального класса (ФК) наблюдался наибольший индекс CAVI справа, который превышал показатели групп ХСН II ФК и III ФК на 0,57 и 1,02 единицы соответственно ($p < 0,05$). Индекс CAVI слева был выше у пациентов с ХСН IV ФК по сравнению с группами ХСН II ФК и III ФК (на 0,47 и 0,6 единицы соответственно, $p < 0,05$). Также были выявлены корреляционные взаимосвязи сосудистой жесткости с возрастом пациента, ФК ХСН и с эхокардиографическими показателями: фракцией выброса левого желудочка, конечным диастолическим размером левого желудочка, конечным систолическим размером левого желудочка ($p < 0,05$).

Заключение. Сердечно-лодыжечный сосудистый индекс может использоваться для оценки сосудистой жесткости у пациентов старческого возраста с ХСН и может помочь определить риск сердечно-сосудистых заболеваний. Необходимы дальнейшие исследования на большей выборке пациентов.

Ключевые слова: сердечно-лодыжечный сосудистый индекс; хроническая сердечная недостаточность; лодыжечно-плечевой индекс

Для цитирования:

Грачев Д.С., Петров В.С., Намазова К.И., Максякова Т.А., Токарева В.И. Сосудистая жесткость у пациентов старческого возраста с хронической сердечной недостаточностью // Российский медико-биологический вестник имени академика И. П. Павлова. 2024. Т. 32, № 1. С. 65–72. DOI: <https://doi.org/10.17816/PAVLOVJ375266>

DOI: <https://doi.org/10.17816/PAVLOVJ375266>

Vascular Stiffness in Senile Patients with Chronic Heart Failure

Dmitriy S. Grachev✉, Vadim S. Petrov, Kamila I. Namazova, Tat'yana A. Maksyakova, Viktoriya I. Tokareva

Ryazan State Medical University, Ryazan, Russian Federation

ABSTRACT

INTRODUCTION: The study of vascular stiffness is a method of assessing the risk of cardiovascular diseases. One of methods of assessing arterial stiffness is the cardio-ankle vascular index (CAVI), which reflects the extent of structural lesion of vessels. This index has prospects in application for studying vascular stiffness in senile individuals with chronic heart failure (CHF) to identify new predictors of the cardiovascular risk.

AIM: To study the parameters of vascular stiffness (cardio-vascular and ankle-brachial indices) in senile patients (75–89 years) with CHF using the volume sphygmography method.

MATERIALS AND METHODS: The study included 120 patients (87 women and 33 men) with CHF of senile age (mean age 81.3 ± 4.2 years). In all patients, the electrocardiography and sphygmography data were analyzed with assessment of the CAVI and ankle-brachial index.

RESULTS: In patients with IV functional class (FC) CHF, the highest CAVI was found on the right exceeding the parameters of II FC CHF and III FC CHF groups by 0.57 and 1.02 units, respectively ($p < 0.05$). The CAVI on the left in patients with IV FC CHF was higher in comparison with II FC CHF and III FC CHF groups by 0.47 and 0.6 units, respectively. There were also identified correlation relationships of vascular stiffness with the age of patients, functional class of chronic heart failure and echocardiographic parameters: left ventricle ejection fraction, left ventricle end-diastolic diameter, left-ventricle end-systolic diameter ($p < 0.05$).

CONCLUSION: The cardio-ankle vascular index can be used to assess vascular stiffness in senile patients with CHF and can help determine the risk of cardiovascular diseases. Further studies are needed on a larger sample of patients.

Keywords: *cardio-ankle vascular index; chronic heart failure; ankle-brachial index*

For citation:

Grachev DS, Petrov VS, Namazova KI, Maksyakova TA, Tokareva VI. Vascular Stiffness in Senile Patients with Chronic Heart Failure. *I. P. Pavlov Russian Medical Biological Herald*. 2024;32(1):65–72. DOI: <https://doi.org/10.17816/PAVLOVJ375266>

Received: 02.05.2023

Accepted: 14.09.2023

Published: 31.03.2024

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АД — артериальное давление
ед. — единица
КДР — конечный диастолический размер
КСР — конечный систолический размер
ЛЖ — левый желудочек
ССЗ — сердечно-сосудистые заболевания
ФВ — фракция выброса

ФК — функциональный класс
ХСН — хроническая сердечная недостаточность
ABI — ankle-brachial index (лодыжечно-плечевой индекс)
CAVI — cardio-ankle vascular index (сердечно-лодыжечный сосудистый индекс)
L — слева
R — справа

ВВЕДЕНИЕ

Возраст является установленным фактором риска развития сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ), однако изменения, которые происходят в сосудах лиц одной возрастной группы, сильно варьируют и все чаще признается, что показатели *здоровья сосудов* обладают лучшим прогностическим индексом, чем *паспортный возраст* для прогнозирования неблагоприятных сердечно-сосудистых исходов [1–3].

Процесс старения обусловлен морфологическими изменениями во всех слоях сосудистой стенки. Они включают утолщение артериальной стенки даже при отсутствии атеросклеротического заболевания. Эти изменения приводят к увеличению жесткости сосудов, повышению центрального артериального давления (АД), увеличению систолического и пульсового давления со снижением диастолического АД [1]. Эндотелиальная дисфункция и снижение эластичности сосудистой стенки вне зависимости от коронарного атеросклероза обуславливают развитие таких сердечно-сосудистых катастроф, как инфаркт миокарда [2, 3].

Индексы объемной сфигмографии применяются для оценки первичной и вторичной профилактики ССЗ [4, 5]. Определение скорости пульсовой волны на участке от общей сонной до бедренной артерии является «золотым стандартом» для измерения артериальной жесткости.

В настоящее время имеются методы, в частности оценка сердечно-лодыжечного сосудистого индекса (англ.: *cardio-ankle vascular index*, CAVI), которые по данным многочисленных эпидемиологических и клинических исследований обладают независимой диагностической и прогностической значимостью [6]. На популяционном уровне было выявлено, что индекс CAVI с течением времени меняется медленно, поэтому этот показатель не чувствителен к модификации факторов риска или фармакологическим вмешательствам [7]. Накопленные данные об индексах объемной сфигмографии свидетельствуют о том, что артериальная жесткость и индекс CAVI коррелируют с атеросклеротической нагрузкой и являются предикторами ССЗ [7, 8].

В проведенных лонгитюдных исследованиях снижение индекса CAVI более чем на 0,15 единиц (ед.)

в течение трех лет ассоциируется с повышением риска смерти в 2,4 раза и смертности от ССЗ — в 2,8 раза [8–10]. В некоторых исследованиях была обнаружена связь между индексом CAVI > 9 ед. и повышенным риском ССЗ, в то время как в других исследованиях индекс CAVI > 8 ед. был зарегистрирован как фактор риска сердечно-сосудистых катастроф [11, 12].

По материалам исследования ЭССЭ-РФ, в популяционной выборке взрослого населения г. Томска показатель артериальной жесткости имел независимое прогностическое значение в отношении ССЗ, а показатель индекса более 7,8 ед. являлся реклассификатором сердечно-сосудистого риска [13]. В других исследованиях ССЗ индекс CAVI менее 7,8 ед. по сравнению с индексом CAVI более 7,8 ед. коррелировал с более высоким риском развития хронической сердечной недостаточности (ХСН) у пациентов без ишемической болезни сердца (отношение шансов 1,61, 95% доверительный интервал 1,14–2,29) [7, 14]. В настоящее время индекс CAVI применяется для прогнозирования смертности от ССЗ (ишемическая болезнь сердца, инсульт) [15].

Цель — изучение индексов сосудистой жесткости (сердечно-лодыжечного и лодыжечно-плечевого) у пациентов старческого возраста (75–89 лет) с хронической сердечной недостаточностью методом объемной сфигмографии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Протокол исследования рассмотрен и одобрен на заседании Локального этического комитета Рязанского государственного медицинского университета имени академика И. П. Павлова (Протокол № 3 от 10.10.2021).

Критерии включения: (1) наличие в медицинской карте указания на диагноз ХСН, (2) возраст пациента, соответствующей старческому по классификации Всемирной организации здравоохранения (75–89 лет), (3) ожидаемая продолжительность жизни больше года, (4) подписание Информированного согласия на участие в данном исследовании.

Критерии исключения: (1) возраст долгожителей (≥ 90 лет), (2) указание в медицинской документации на наличие активного онкологического процесса,

(3) признаки острого воспалительного процесса, в т. ч. новой коронавирусной инфекции, (4) клинически значимое обострение хронического заболевания, за исключением ХСН, (5) тяжелое психическое заболевание.

Эхокардиографическое исследование осуществлялось на аппарате экспертного класса Philips Affiniti 70 (Phillips Corp., Нидерланды) с оценкой линейных размеров полостей сердца, фракции выброса (ФВ) левого желудочка (ЛЖ), состояния клапанного аппарата сердца.

С помощью аппарата для объемной сфигмографии Vasera VS-2000 (Fukuda Denshi Corp., Япония) проводилась оценка сосудистой жесткости, в т. ч. индекса CAVI (показатель ригидности аорты и артериальных сосудов, оценочный показатель скорости распространения пульсовой волны и эластичности сосудистой стенки) и лодыжечно-плечевого индекса (англ.: *ankle-brachial index*, ABI; отражает отношение систолического АД на голени к систолическому АД на плече, демонстрирует степень стеноза/окклюзии в бассейне подключенной артерии).

В исследование включено 120 пациентов (87 женщин (72,5%) и 33 мужчины (27,5%)) старческого возраста (средний возраст $81,3 \pm 4,2$ лет) с ХСН.

В исследуемой когорте пациентов артериальная гипертензия была зарегистрирована в 99% случаев, ишемическая болезнь сердца — в 70% (в т. ч. перенесенный ранее инфаркт миокарда — в 26%), сахарный диабет 2 типа — в 18,3%, аортальный стеноз — в 19%, митральный стеноз — в 3,5%, полная блокада левой ножки пучка Гиса — в 21%, полная блокада правой ножки пучка Гиса — в 7,5%. У 10% пациентов в анамнезе было стентирование коронарных артерий, у 53% — фибрилляция предсердий, у 13% — острое нарушение мозгового кровообращения.

Средний рост исследуемых пациентов составил $163,09 \pm 7,86$ см, средняя масса тела — $75,18 \pm 13,36$ кг, средний индекс массы тела — $28,26 \pm 4,76$ кг/м², средняя окружность талии — $99,80 \pm 11,51$ см, средняя площадь поверхности тела — $1,80 \pm 0,18$ м², среднее систолическое — АД $147,8 \pm 23,5$ мм рт. ст., среднее диастолическое АД — $84,6 \pm 12,3$ мм рт. ст., среднее пульсовое давление — $63,6 \pm 20,0$ мм рт. ст.

Распределение пациентов по стадиям ХСН было следующим: у 10% зарегистрирована I стадия, у 73% — IIA стадия, у 17% — IIB стадии; III стадии не была зарегистрирована. Функциональный класс (ФК) I ХСН на момент включения в исследование имел место у 1,2% пациентов, ФК II — у 52,2%, ФК III — у 44,2%, ФК IV — у 2,4%. Сохраненная ФВ ЛЖ зарегистрирована в 78% случаев, умеренно сниженная — в 12%, низкая — в 10%. Признаки декомпенсации ХСН при поступлении в стационар были зафиксированы у 41% пациентов.

Анализ данных проводился при помощи программы Stat Soft 13.0 (DellInc., США). Для оценки нормальности распределения количественных данных

использовался критерий Колмогорова–Смирнова. Данные представлены в виде среднего значения (М) и стандартного отклонения (SD). Для сравнения средних значений использовался однофакторный дисперсионный анализ, для оценки возможной взаимосвязи между переменными — линейный регрессионный анализ. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В зависимости от ФК ХСН пациенты были разделены на три группы (табл. 1). Как видно из представленных в таблице данных у пациентов с ХСН ФК II индекс CAVI справа (R) был статистически выше на 0,45 ед., чем в группе пациентов с ХСН ФК III ($p = 0,04$). Наибольший индекс R-CAVI выявлялся в группе пациентов с ХСН ФК IV, при этом он был на 0,57 ед. выше, чем в группе пациентов с ХСН ФК II и на 1,02 ед. выше, чем у пациентов с ХСН ФК III ($p = 0,035$ и $p = 0,041$, соответственно).

При сравнении показателя индекса ABI справа группы пациентов ХСН ФК II и ХСН ФК III между собой не отличались, но отличались от группы пациентов с ХСН ФК IV на 0,37 ед. ($p = 0,05$ и $p = 0,04$, соответственно). Индекс CAVI слева был на 0,47 ед. выше в группе пациентов с ХСН ФК IV по сравнению с пациентами с ХСН ФК II и на 0,6 ед. выше по сравнению с пациентами с ХСН ФК III ($p = 0,021$ и $p = 0,03$, соответственно). Индекс ABI слева был статистически значимо ниже на 0,15 ед. и на 0,34 ед. в группе пациентов с ХСН ФК IV по отношению к группам пациентов с ХСН ФК II и ХСН ФК III соответственно ($p = 0,034$ и $p = 0,043$, соответственно).

При проведении линейного регрессионного анализа были выявлены статистически значимые взаимосвязи ФК ХСН с индексами:

- R-CAVI ($B = 9,316$ (8,814; 9,818); $p = 0,001$, $R^2 = 0,02$);
- R-ABI ($B = 1,361$ (1,071; 1,652); $p = 0,001$, $R^2 = 0,16$);
- L-CAVI ($B = 9,718$ (9,266; 10,170); $p = 0,001$, $R^2 = 0,001$);
- L-ABI ($B = 1,065$ (0,839; 1,291); $p = 0,001$, $R^2 = 0,001$).

Также были зафиксированы статистически значимые взаимосвязи возраста пациента с индексом R-ABI ($B = 4,267$ (0,693; 7,841); $p = 0,020$, $R^2 = 0,014$).

В зависимости от значения индекса CAVI и с учетом данных литературы [1] пациенты были разделены на две группы: **1 группу** составили пациенты с индексом CAVI меньше 7,8 ед. («нормальные» сосуды), во **2 группу** были включены пациенты с индексом CAVI больше 7,8 ед. («жесткие» сосуды). Была проведена сравнительная оценка показателей ультразвукового исследования сердца у пациентов с ХСН в зависимости от степени жесткости сосудов (табл. 2).

У пациентов **2 группы** («жесткие» сосуды) больше размер левого предсердия в состоянии покоя (на 0,1 см, $p = 0,006$), выше ФВ ЛЖ (на 4,4%, $p = 0,045$), толщина задней стенки ЛЖ в диастолу (на 0,02 см, $p = 0,05$), тогда как в **1 группе** («нормальные» сосуды) больше конечный

Таблица 1. Сравнительная характеристика индексов объемной сфигмографии у пациентов в зависимости от функционального класса хронической сердечной недостаточности

Наименование индекса		Значение индекса, ед.			p
		хроническая сердечная недостаточность функциональный класс II	хроническая сердечная недостаточность функциональный класс III	хроническая сердечная недостаточность функциональный класс IV	
		1	2	3	
Справа	R-CAVI	9,63 ± 1,68	9,18 ± 2,96	10,2 ± 0,85	$p_{1-2} = 0,04$ $p_{1-3} = 0,035$ $p_{2-3} = 0,041$
	R-ABI	1,17 ± 1,27	1,17 ± 1,51	0,80 ± 0,07	$p_{1-2} = 0,6$ $p_{1-3} = 0,05$ $p_{2-3} = 0,4$
Слева	L-CAVI	9,73 ± 1,53	9,60 ± 2,67	10,2 ± 1,14	$p_{1-2} = 0,71$ $p_{1-3} = 0,021$ $p_{2-3} = 0,03$
	L-ABI	1,02 ± 0,16	1,21 ± 1,56	0,87 ± 0,13	$p_{1-2} = 0,05$ $p_{1-3} = 0,034$ $p_{2-3} = 0,043$

Примечания: L-ABI — лодыжечно-плечевой индекс слева, L-CAVI — сердечно-лодыжечный сосудистый индекс слева, R-ABI — лодыжечно-плечевой индекс справа, R-CAVI — сердечно-лодыжечный сосудистый индекс справа

Таблица 2. Показатели эхокардиографии при нормальном и повышенном значении сердечно-лодыжечного индекса

Параметры	Справа			Слева		
	≥ 7,8 ед.	< 7,8 ед.	p	≥ 7,8 ед.	< 7,8 ед.	p
Левое предсердие, см	4,53 ± 0,66	4,43 ± 1,61	0,006	4,54 ± 0,68	4,42 ± 1,50	0,08
Конечный диастолический размер левого желудочка, см	5,18 ± 0,76	5,30 ± 0,51	0,005	5,19 ± 0,76	5,25 ± 0,53	0,031
Конечный систолический размер левого желудочка, см	3,59 ± 0,90	3,86 ± 0,70	0,045	3,59 ± 0,90	3,86 ± 0,70	0,03
Фракция выброса левого желудочка, %	56,57 ± 11,95	52,17 ± 11,57	0,045	56,43 ± 11,96	53,31 ± 11,87	0,07
Толщина межжелудочковой перегородки, см	1,13 ± 0,15	1,15 ± 0,23	0,005	1,12 ± 0,14	1,14 ± 0,26	0,055
Толщина задней стенки левого желудочка, см	0,99 ± 0,13	0,97 ± 0,16	0,05	0,99 ± 0,12	0,99 ± 0,17	0,05
Переднезадний размер правого желудочка, см	2,56 ± 0,35	2,78 ± 0,40	0,004	2,56 ± 0,35	2,72 ± 0,44	0,044

диастолический размер (КДР) ЛЖ (на 0,12 см, p = 0,005), конечный систолический размер (КСР) ЛЖ (на 0,27 см, p = 0,045), толщина межжелудочковой перегородки (на 0,03 см, p = 0,046), переднезадний размер правого желудочка (на 0,22 см, p = 0,05).

Зарегистрированы статистически значимые отличия между 1 и 2 группами по передне-заднему размеру правого желудочка, как для подгрупп индекса R-CAVI, так и индекса L-CAVI (p = 0,004 и p = 0,044, соответственно).

При проведении линейного регрессионного анализа выявлены статистически значимые взаимосвязи ФВ ЛЖ с индексами:

- R-CAVI (B = 7,253 (5,626; 8,880); p = 0,001, R²–0,039);
- L-CAVI (B = 8,154 (6,713; 9,595); p = 0,001, R²–0,024);
- L-ABI (B = 1,452 (0,659; 2,244); p = 0,001, R²–0,004).

Зарегистрированы статистически значимые корреляции КДР ЛЖ с индексами:

- R-CAVI (B = 10,154 (7,662; 12,646); p = 0,001, R²–0,002),
- L-CAVI (B = 10,192 (8,001; 12,382); p = 0,001, R²–0,002).

Выявлены статистически значимые корреляции КСР ЛЖ с индексами:

- R-CAVI ($B = 10,285 (8,814; 11,756)$; $p = 0,001$, $R^2 = 0,009$);
- R-ABI ($B = 1,373 (0,458; 2,289)$; $p = 0,004$, $R^2 = 0,001$);
- L-CAVI ($B = 10,671 (9,382; 11,959)$; $p = 0,001$, $R^2 = 0,015$).

ОБСУЖДЕНИЕ

Артериальная жесткость является значимым фактором риска сердечной недостаточности [16]. Следует отметить, что помимо предиктивной функции, показатели сосудистой жесткости также могут использоваться для подбора антигипертензивной терапии, могут стать мишенью для новых или уже существующих препаратов, а значит, *коррекция сосудистой жесткости может способствовать снижению сердечно-сосудистой смертности* [17].

Индекс CAVI перспективен в оценке артериальной жесткости, уже накоплены клинические данные о его клинической значимости, и одним из его преимуществ является *независимость от АД* [18].

В нашем исследовании при групповом анализе было выявлено, что *повышение артериальной жесткости происходило в соответствии с нарастанием тяжести ХСН*; повышенная артериальная жесткость влияет на постнагрузку ЛЖ, что предрасполагает к его гипертрофии и является независимым предиктором сердечно-сосудистой смерти [8].

В группе ХСН ФК IV при оценке индекса R-ABI и L-ABI были отмечены более низкие показатели данного индекса, что может свидетельствовать о *высокой вероятности стеноза или окклюзии сосудистого бассейна бедренной и подколенной артерий*.

Были зафиксированы статистически значимые взаимосвязи возраста пациента с ABI, значения которого были статистически значимо выше у пациентов с ХСН ФК IV. Статистически значимые взаимосвязи ХСН с индексами R-CAVI, R-ABI, L-CAVI, L-ABI *могут обусловить взаимосвязь сосудистой жесткости с развитием ССЗ*. Полученные нами данные подтверждаются недавно проведенными исследованиями, в которых отражены предиктивные возможности CAVI-индекса [19, 20].

При оценке ультразвуковых показателей сердца было зарегистрировано, что в группе с «жесткими» сосудами были статистически значимо больше линейные размеры левого предсердия и толщины задней стенки ЛЖ, а также ФВ ЛЖ, что, на наш взгляд, отражает наличие анамнеза артериальной гипертензии с поражением сердца как органа-мишени.

При проведении линейного регрессионного анализа наиболее зависимым от *возрастной жесткости сосудов и окклюзии оказался эхокардиографический показатель ФВ ЛЖ*. Эхокардиографические показатели КДР ЛЖ и КСР ЛЖ зависели только от жесткости сосудов. Более точные выводы о сосудистой жесткости

у пациентов старческого возраста с ХСН могут быть сделаны в ходе углубленных исследований на большей когорте пациентов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты измерения индекса сердечно-лодыжечного сосудистого индекса, отражающего эластические свойства сосудов, выявили более высокую сосудистую жесткость у пациентов с хронической сердечной недостаточностью функционального класса IV и высокий риск развития окклюзии в бедренно-подколенном сосудистом бассейне, особенно слева, по сравнению с более низкими функциональными классами хронической сердечной недостаточности.

Сердечно-лодыжечный сосудистый индекс статистически значимо коррелирует с возрастом пациента, с показателями эхокардиограммы: фракцией выброса левого желудочка, конечным систолическим и конечным диастолическим размерами левого желудочка. Было выявлено влияние сосудистой жесткости на дилатацию левого предсердия и правого желудочка. Вполне вероятно, что наличие заболеваний периферических артерий и сниженная фракция выброса левого желудочка связаны с ограниченной переносимостью физической нагрузки и нарушением сердечно-легочной функции, что является потенциальным механизмом повышенного риска сердечно-сосудистых заболеваний.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов: Грачев Д. С. — анализ и обобщение данных литературы, проведение экспериментального исследования, анализ результатов исследования, написание текста; Петров В. С. — концепция исследования, анализ результатов исследования, редактирование; Намазова К. И., Максыкова Т. А., Токарева В. И. — обработка материала. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

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

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

Contribution of the authors: D. S. Grachev — analysis and synthesis of literature data, conducting an experimental study, analysis of the study results, writing the text; V. S. Petrov — concept of the research, analysis of the study results, editing; K. I. Namazova, T. A. Maksyakova, V. I. Tokareva — processing the material. 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. Barodka V.M., Joshi B.L., Berkowitz D.E., et al. Implications of vascular aging // *Anesthesia & Analgesia*. 2011. Vol. 112, No. 5. P. 1048–1060. doi: [10.1213/ANE.0b013e3182147e3c](https://doi.org/10.1213/ANE.0b013e3182147e3c)
2. Фомина О.А., Якушин С.С. Оценка функции эндотелия, эластичности сосудистой стенки и их влияния на годовой прогноз у больных с инфарктом миокарда при обструктивном и необструктивном поражении коронарных артерий // *Российский медико-биологический вестник имени академика И. П. Павлова*. 2020. Т. 28, № 4. С. 488–496. doi: [10.23888/PAVLOVJ2020284488-496](https://doi.org/10.23888/PAVLOVJ2020284488-496)
3. Калинин Р.Е., Сучков И.А., Мжаванадзе Н.Д., и др. Эндотелиальная дисфункция при мышечных дистрофиях // *Наука молодых (Eruditio Juvenium)*. 2021. Т. 9, № 2. С. 326–334. doi: [10.23888/HMJ202192326-334](https://doi.org/10.23888/HMJ202192326-334)
4. Ankle Brachial Index Collaboration; Fowkes F.G.R., Murray G.D., Butcher I., et al. Ankle brachial index combined with Framingham Risk Score to predict cardiovascular events and mortality: a meta-analysis // *JAMA*. 2008. Vol. 300, No. 2. P. 197–208. doi: [10.1001/jama.300.2.197](https://doi.org/10.1001/jama.300.2.197)
5. Weatherley B.D., Nelson J.J., Heiss G., et al. The association of the ankle-brachial index with incident coronary heart disease: the Atherosclerosis Risk In Communities (ARIC) study, 1987–2001 // *BMC Cardiovasc. Disord.* 2007. Vol. 7. P. 3. doi: [10.1186/1471-2261-7-3](https://doi.org/10.1186/1471-2261-7-3)
6. Васюк Ю.А., Иванова С.В., Школьник Е.Л., и др. Согласованное мнение российских экспертов по оценке артериальной жесткости в клинической практике // *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2016. Т. 15, № 2. С. 4–19. doi: [10.15829/1728-8800-2016-2-4-19](https://doi.org/10.15829/1728-8800-2016-2-4-19)
7. Aboyans V., Criqui M.H., Abraham P., et al. Measurement and interpretation of the ankle-brachial index: a scientific statement from the American Heart Association // *Circulation*. 2012. Vol. 126, No. 24. P. 2890–2909. doi: [10.1161/CIR.0b013e318276fbc6](https://doi.org/10.1161/CIR.0b013e318276fbc6)
8. Cecelja M., Chowienzyk P. Role of arterial stiffness in cardiovascular disease // *JRSM Cardiovasc. Dis.* 2012. Vol. 1, No. 4. P. cvd.2012.012016. doi: [10.1258/cvd.2012.012016](https://doi.org/10.1258/cvd.2012.012016)
9. Wilkins J.T., McDermott M.M., Liu K., et al. Associations of noninvasive measures of arterial compliance and ankle-brachial index: the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis (MESA) // *Am. J. Hypertens.* 2012. Vol. 25, No. 5. P. 535–541. doi: [10.1038/ajh.2012.13](https://doi.org/10.1038/ajh.2012.13)
10. Costantino S., Paneni F., Cosentino F. Ageing, metabolism and cardiovascular disease // *J. Physiol.* 2016. Vol. 594, No. 8. P. 2061–2073. doi: [10.1113/JP270538](https://doi.org/10.1113/JP270538)
11. Budoff M.J., Alpert B., Chirinos J.A., et al. Clinical Applications Measuring Arterial Stiffness: An Expert Consensus for the Application of Cardio-Ankle Vascular Index // *Am. J. Hypertens.* 2022. Vol. 35, No. 5. P. 441–453. doi: [10.1093/ajh/hpab178](https://doi.org/10.1093/ajh/hpab178)
12. Park J.B., Sharman J.E., Li Y., et al. Expert Consensus on the Clinical Use of Pulse Wave Velocity in Asia // *Pulse (Basel)*. 2022. Vol. 10, No. 1–4. P. 1–18. doi: [10.1159/000528208](https://doi.org/10.1159/000528208)
13. Заирова А.Р., Рогоза А.Н., Ощепкова Е.В., и др. Значение показателя артериальной жесткости «сердечно-лодыжечный сосудистый индекс — CAVI» для прогноза сердечно-сосудистых событий в популяционной выборке взрослого городского населения (по материалам исследования ЭСЦЕ-РФ, Томск) // *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2021. Т. 20, № 5. С. 2967. doi: [10.15829/1728-8800-2021-2967](https://doi.org/10.15829/1728-8800-2021-2967)
14. Vlachopoulos C., Xaplanteris P., Aboyans V., et al. The role of vascular biomarkers for primary and secondary prevention. A position paper from the European Society of Cardiology Working Group on peripheral circulation: Endorsed by the Association for Research into Arterial Structure and Physiology (ARTERY) Society // *Atherosclerosis*. 2015. Vol. 241, No. 2. P. 507–532. doi: [10.1016/j.atherosclerosis.2015.05.007](https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2015.05.007)
15. Townsend R.R., Wilkinson I.B., Schiffrin E.L., et al. Recommendations for Improving and Standardizing Vascular Research on Arterial Stiffness: A Scientific Statement From the American Heart Association // *Hypertension*. 2015. Vol. 66, No. 3. P. 698–722. doi: [10.1161/HYP.0000000000000033](https://doi.org/10.1161/HYP.0000000000000033)
16. Saiki A., Ohira M., Yamaguchi T., et al. New Horizons of Arterial Stiffness Developed Using Cardio-Ankle Vascular Index (CAVI) // *J. Atheroscler. Thromb.* 2020. Vol. 27, No. 8. P. 732–748. doi: [10.5551/jat.RV17043](https://doi.org/10.5551/jat.RV17043)
17. Boutouyrie P., Chowienzyk P., Humphrey J.D., et al. Arterial Stiffness and Cardiovascular Risk in Hypertension // *Circ. Res.* 2021. Vol. 128, No. 7. P. 864–886. doi: [10.1161/CIRCRESAHA.121.318061](https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.121.318061)
18. Namba T., Masaki N., Takase B., et al. Arterial Stiffness Assessed by Cardio-Ankle Vascular Index // *Int. J. Mol. Sci.* 2019. Vol. 20, No. 15. P. 3664. doi: [10.3390/ijms20153664](https://doi.org/10.3390/ijms20153664)
19. Abdullah N., Blin J.A., Arifin A.S.K., et al. Cardiovascular risk prediction with cardio-ankle vascular index in the malaysian cohort study // *Curr. Probl. Cardiol.* 2023. Vol. 49, No. 3. P. 102192. doi: [10.1016/j.cpcardiol.2023.102192](https://doi.org/10.1016/j.cpcardiol.2023.102192)
20. Tomiyama H. Cardio-ankle vascular index in the management of hypertension // *Hypertens. Res.* 2023. Vol. 46, No. 2. P. 537–538. doi: [10.1038/s41440-022-01057-1](https://doi.org/10.1038/s41440-022-01057-1)

REFERENCES

1. Barodka VM, Joshi BL, Berkowitz DE, et al. Review article: implications of vascular aging. *Anesthesia & Analgesia*. 2011;112(5):1048–60. doi: [10.1213/ANE.0b013e3182147e3c](https://doi.org/10.1213/ANE.0b013e3182147e3c)
2. Fomina OA, Yakushin SS. Evaluation of endothelial function, of elasticity of vessel wall and their influence on one-year prognosis of patients with myocardial infarction with obstructive and non-obstructive coronary arteries. *I. P. Pavlov Russian Medical Biological Herald*. 2020;28(4): 488–96. (In Russ). doi: [10.23888/PAVLOVJ2020284488-496](https://doi.org/10.23888/PAVLOVJ2020284488-496)
3. Kalinin RE, Suchkov IA, Mzhavanadze ND, et al. Dysfunction in muscular dystrophies. *Nauka Molodykh (Eruditio Juvenium)*. 2021;9(2):326–34. (In Russ). doi: [10.23888/HMJ202192326-334](https://doi.org/10.23888/HMJ202192326-334)
4. Ankle Brachial Index Collaboration; Fowkes FGR, Murray GD, Butcher I, et al. Ankle brachial index combined with Framingham Risk Score to predict cardiovascular events and mortality: a meta-analysis. *JAMA*. 2008;300(2):197–208. doi: [10.1001/jama.300.2.197](https://doi.org/10.1001/jama.300.2.197)
5. Weatherley BD, Nelson JJ, Heiss G, et al. The association of the ankle-brachial index with incident coronary heart disease: the Atherosclerosis Risk In Communities (ARIC) study, 1987–2001. *BMC Cardiovasc Disord*. 2007;7:3. doi: [10.1186/1471-2261-7-3](https://doi.org/10.1186/1471-2261-7-3)
6. Vasyuk YuA, Ivanova SV, Shkolnik EL, et al. Consensus of Russian experts on the evaluation of arterial stiffness in clinical practice. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2016;15(2):4–19. (In Russ). doi: [10.15829/1728-8800-2016-2-4-19](https://doi.org/10.15829/1728-8800-2016-2-4-19)

7. Aboyans V, Criqui MH, Abraham P, et al. Measurement and interpretation of the ankle-brachial index: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2012;126(24):2890–909. doi: [10.1161/CIR.0b013e318276fbcb](https://doi.org/10.1161/CIR.0b013e318276fbcb)
8. Cecelja M, Chowienzyk P. Role of arterial stiffness in cardiovascular disease. *JRSM Cardiovasc Dis*. 2012;1(4):cvd.2012.012016. doi: [10.1258/cvd.2012.012016](https://doi.org/10.1258/cvd.2012.012016)
9. Wilkins JT, McDermott MM, Liu K, et al. Associations of noninvasive measures of arterial compliance and ankle-brachial index: the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis (MESA). *Am J Hypertens*. 2012;25(5):535–41. doi: [10.1038/ajh.2012.13](https://doi.org/10.1038/ajh.2012.13)
10. Costantino S, Paneni F, Cosentino F. Ageing, metabolism and cardiovascular disease. *J Physiol*. 2016;594(8):2061–73. doi: [10.1113/JP270538](https://doi.org/10.1113/JP270538)
11. Budoff MJ, Alpert B, Chirinos JA, et al. Clinical Applications Measuring Arterial Stiffness: An Expert Consensus for the Application of Cardio-Ankle Vascular Index. *Am J Hypertens*. 2022;35(5):441–53. doi: [10.1093/ajh/hpab178](https://doi.org/10.1093/ajh/hpab178)
12. Park JB, Sharman JE, Li Y, et al. Expert Consensus on the Clinical Use of Pulse Wave Velocity in Asia. *Pulse (Basel)*. 2022;10(1–4):1–18. doi: [10.1159/000528208](https://doi.org/10.1159/000528208)
13. Zairova AR, Rogoza AN, Oshchepkova EV, et al. Contribution of cardio-ankle vascular index to prediction of cardiovascular events in the adult urban population: data from the ESSE-RF study (Tomsk). *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2021;20(5):2967. (In Russ). doi: [10.15829/1728-8800-2021-2967](https://doi.org/10.15829/1728-8800-2021-2967)
14. Vlachopoulos C, Xaplanteris P, Aboyans V, et al. The role of vascular biomarkers for primary and secondary prevention. A position paper from the European Society of Cardiology Working Group on peripheral circulation: Endorsed by the Association for Research into Arterial Structure and Physiology (ARTERY) Society. *Atherosclerosis*. 2015;241(2):507–32. doi: [10.1016/j.atherosclerosis.2015.05.007](https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2015.05.007)
15. Townsend RR, Wilkinson IB, Schiffrin EL, et al. Recommendations for Improving and Standardizing Vascular Research on Arterial Stiffness: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Hypertension*. 2015;66(3):698–722. doi: [10.1161/HYP.0000000000000033](https://doi.org/10.1161/HYP.0000000000000033)
16. Saiki A, Ohira M, Yamaguchi T, et al. New Horizons of Arterial Stiffness Developed Using Cardio-Ankle Vascular Index (CAVI). *J Atheroscler Thromb*. 2020;27(8):732–48. doi: [10.5551/jat.RV17043](https://doi.org/10.5551/jat.RV17043)
17. Boutouyrie P, Chowienzyk P, Humphrey JD, et al. Arterial Stiffness and Cardiovascular Risk in Hypertension. *Circ Res*. 2021;128(7):864–86. doi: [10.1161/CIRCRESAHA.121.318061](https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.121.318061)
18. Namba T, Masaki N, Takase B, et al. Arterial Stiffness Assessed by Cardio-Ankle Vascular Index. *Int J Mol Sci*. 2019;20(15):3664. doi: [10.3390/ijms20153664](https://doi.org/10.3390/ijms20153664)
19. Abdullah N, Blin JA, Arifin ASK, et al. Cardiovascular risk prediction with cardio-ankle vascular index in the malaysian cohort study. *Curr Probl Cardiol*. 2023;49(3):102192. doi: [10.1016/j.cpcardiol.2023.102192](https://doi.org/10.1016/j.cpcardiol.2023.102192)
20. Tomiyama H. Cardio-ankle vascular index in the management of hypertension. *Hypertens Res*. 2023;46(2):537–8. doi: [10.1038/s41440-022-01057-1](https://doi.org/10.1038/s41440-022-01057-1)

ОБ АВТОРАХ

***Грачев Дмитрий Сергеевич;**

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5972-5631>;

eLibrary SPIN: 2202-3025; e-mail: dmitrygrachev@internet.ru

Петров Вадим Сергеевич, д.м.н., доцент;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8631-8826>;

eLibrary SPIN: 4553-3581; e-mail: dr.vspetrov@gmail.com

Намазова Камила Исмаиловна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6771-7151>;

eLibrary SPIN: 8219-1494; e-mail: kamila.namazowa@yandex.ru

Максякова Татьяна Анатольевна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3637-7435>;

eLibrary SPIN: 5088-9064; e-mail: tanyamaksyakova@gmail.com

Токарева Виктория Игоревна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2609-9937>;

eLibrary SPIN: 3423-0676; e-mail: vikusyaTok@mail.ru

AUTHOR'S INFO

***Dmitriy S. Grachev;**

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5972-5631>;

eLibrary SPIN: 2202-3025; e-mail: dmitrygrachev@internet.ru

Vadim S. Petrov, MD, Dr. Sci (Med.), Associate Professor;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8631-8826>;

eLibrary SPIN: 4553-3581; e-mail: dr.vspetrov@gmail.com

Kamila I. Namazova;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6771-7151>;

eLibrary SPIN: 8219-1494; e-mail: kamila.namazowa@yandex.ru

Tat'yana A. Maksyakova;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3637-7435>;

eLibrary SPIN: 5088-9064; e-mail: tanyamaksyakova@gmail.com

Viktoriya I. Tokareva;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2609-9937>;

eLibrary SPIN: 3423-0676; e-mail: vikusyaTok@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author