

# ОРИГИНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

## Влияние экзогенного источника нитрат-ионов — порошка корнеплода свеклы на артериальное давление и показатели артериальной жесткости в пилотном доклиническом исследовании

Саматова К. С., Гуманова Н. Г.\*, Королев А. И., Богданова Н. Л., Горшков А. Ю., Киселев А. Р., Драпкина О. М.

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр терапии и профилактической медицины» Минздрава России, Москва

**Цель.** Провести доклиническое испытание влияния порошка корнеплода свеклы (Beta-NO-БУСТ), как экзогенного источника нитрат- и нитрит-ионов (NOx), на уровень артериального давления (АД) и показателей артериальной жесткости у пациентов с артериальной гипертензией (АГ).

**Материал и методы.** В пилотное доклиническое исследование было включено 22 добровольца мужского пола ( $49 \pm 10$  лет) с АГ. Участники принимали свекольный порошок «Beta-NO-БУСТ», разработанный по заказу ФГБУ «НИМЦ ТПМ» в дозе 20 г/день, эквивалентной 650-700 мг NOx перорально в течение недели дополнительно к терапии, если таковая была назначена. У участников проводили контроль АД путем СМАД, а также объемную сфигмографию, включающую измерение АД на 4-х конечностях с расчетом индекса CAVI (cardio-ankle vascular index) или сердечно-лодыжечного сосудистого индекса и лодыжечно-плечевого индекса до и после приема порошка свеклы. Проводилось взятие крови для анализа суммарной концентрации нитрат- и нитрит-ионов (NOx, мкМ) колориметрическим методом, основанным на реакции Грисса с одноэтапным восстановлением ионов нитрата в нитрит с помощью раствора хлорида ванадия III в 1N соляной кислоте.

**Результаты.** По завершении приема свекольного порошка «Beta-NO-БУСТ», концентрация NOx в сыворотке крови участников возросла в среднем в 2,7 раз, что подтверждает выполнение ими условий протокола исследования. Значимых различий в уровне АД до и после приема Beta-NO-БУСТ выявлено не было, но отмечалось значимое снижение на 0,3 единицы показателя артериальной жесткости — CAVI. Также, после недельного курса Beta-NO-БУСТ были выявлены отрицательные корреляции между концентрацией NOx и параметрами АД с высоким коэффициентом  $r$ , достигавшим величины -0,66.

**Закключение.** В ходе доклинического испытания было показано, что при повышении концентрации NOx в крови наблюдалось снижение показателя артериальной жесткости. На основании выраженных отрицательных корреляций между уровнями NOx в сыворотке и уровнем АД, убедительно показано, что именно NOx в составе свекольного порошка способствует снижению АД. Результаты доклинического испытания указывают на целесообразность проведения рандомизированного перекрестного контролируемого клинического испытания разработанного свекольного порошка «Beta-NO-БУСТ» в качестве лечебного питания у пациентов с АГ.

**Ключевые слова:** доклиническое испытание свеклы, маркеры воспаления, артериальная гипертензия, Beta-NO-БУСТ, свекла, экзогенные источники нитрат- и нитрит-ионов.



**Для цитирования:** Саматова К. С., Гуманова Н. Г., Королев А. И., Богданова Н. Л., Горшков А. Ю., Киселев А. Р., Драпкина О. М. Влияние экзогенного источника нитрат-ионов — порошка корнеплода свеклы на артериальное давление и показатели артериальной жесткости в пилотном доклиническом исследовании. *Рациональная Фармакотерапия в Кардиологии*. 2025;21(6):536-541. DOI: 10.20996/1819-6446-2025-3270. EDN: HIUNIP

### The effect of an exogenous source of nitrate ions — beetroot powder — on blood pressure and arterial stiffness in a pilot preclinical study

Samatova K. S., Gumanova N. G.\*, Korolev A. I., Bogdanova N. L., Gorshkov A. Yu., Kiselev A. R., Drapkina O. M.

National Medical Research Center for Therapy and Preventive Medicine, Moscow, Russia

**Aim.** To conduct a preclinical trial of the effect of beetroot powder (Beta-NO-BOOST), as an exogenous source of nitrate and nitrite ions (NOx), on blood pressure (BP) and arterial stiffness in patients with arterial hypertension (AH).

**Material and methods.** The pilot preclinical study included 22 male volunteers ( $49 \pm 10$  years) with AH who completed the protocol. Participants took Beta-NO-BOOST beetroot powder, developed for the National Research Center for Therapeutic and Mechanical, at a dose of 20 g/day, equivalent to 650-700 mg NOx, orally for a week in addition to prescribed therapy. Blood pressure was monitored by 24-hour BP monitoring and volumetric sphygmography, which included measuring blood pressure in all four limbs and calculating the cardio-ankle vascular index (CAVI) and ankle-brachial index before and after beetroot powder intake. Blood was collected to analyze the total concentration of nitrate and nitrite ions (NOx,  $\mu\text{M}$ ) using a colorimetric method based on the Griess reaction with single-step reduction of nitrate to nitrite using a vanadium (III) chloride solution in 1N hydrochloric acid.

**Results.** Serum NOx concentrations increased by an average of 2.7 times after completing the Beta-NO-BOOST beetroot powder regimen, confirming adherence to the study protocol. No significant difference in BP levels was observed before and after Beta-NO-BOOST, but a significant decrease of 0.3 units in the arterial stiffness index (CAVI) was noted. Furthermore, after a week of Beta-NO-BOOST regimen, negative correlations were found between NOx concentrations and blood pressure parameters, with a high  $r$  coefficient reaching -0.66.

**Conclusion.** This preclinical trial demonstrated that increased NOx concentrations in the blood were associated with decreased arterial stiffness. Based on the significant negative correlations between serum NOx levels and blood pressure, it is demonstrated that the NOx in beetroot powder contributes to lowering blood pressure. The results of the preclinical trial support the feasibility of a randomized crossover controlled clinical trial of the developed beetroot powder, Beta-NO-BOOST, as a therapeutic nutritional supplement for patients with AH.

**Keywords:** preclinical trial of beetroot, inflammation markers, arterial hypertension, BETA-NO-BOOST, beetroot, exogenous nitrate and nitrite ions.

**For citation:** Samatova K. S., Gumanova N. G., Korolev A. I., Bogdanova N. L., Gorshkov A. Yu., Kiselev A. R., Drapkina O. M. The effect of an exogenous source of nitrate ions — beetroot powder — on blood pressure and arterial stiffness in a pilot preclinical study. *Rational Pharmacotherapy in Cardiology*. 2025;21(6):536-541. DOI: 10.20996/1819-6446-2025-3270. EDN: HIUNIP

\*Corresponding Author (Автор, ответственный за переписку): gumanova@mail.ru

Received/Поступила: 06.11.2025

Review received/Рецензия получена: 19.11.2025

Accepted/Принята в печать: 25.11.2025

## Введение

Согласно исследованию I. Tzoulaki и соавт., смертность от сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) в мире составляет 17,5 млн случаев в год [1], что эквивалентно ежегодному исчезновению с поверхности земли взрослого населения не менее чем двух крупных столичных городов. Усилия мирового кардиологического сообщества направлены на преломление этого тренда, значимая роль в котором отводится профилактике ССЗ. Среди направлений профилактики ССЗ, важное место занимает рациональное питание с преобладанием продуктов растительного происхождения, благотворное влияние которых на здоровье сердечно-сосудистой системы во многом объясняется активностью содержащихся в них ионов нитрата и нитрита (экзогенные нитрат- и нитрит-ионы, NOx) [2]. Снижение артериального давления (АД) под действием экзогенного нитрата или богатого нитратом свекольного сока было показано в ряде зарубежных клинических испытаний [3-5].

Источники нитрата растительного происхождения широко применяются во всем мире для поддержания здоровья сердечно-сосудистой системы [6], поскольку являются резервным пулом синтеза биоактивного NO — мощного регулятора сосудистого тонуса и других жизненно важных функций организма [7, 8].

При этом, по нашим сведениям, не было проведено ни одного клинического испытания эффективности нитрата в составе растительного продукта питания на территории России.

Цель исследования: провести доклиническое испытание влияния порошка корнеплода свеклы (Beta-NO-БУСТ), как экзогенного источника нитрат- и нитрит-ионов (NOx), на уровень АД и показатели артериальной жесткости у пациентов с артериальной гипертензией (АГ).

## Материал и методы

### Описание группы пациентов

В доклиническое исследование были включены добровольцы-мужчины в возрасте 18-60 лет с первично выявленной, начальной стадией АГ или достигшие целевого уровня АД по данным суточного

мониторирования АД (СМАД) на фоне регулярной антигипертензивной терапии (АГТ), подписавших информированное согласие на участие в испытании сухого порошка корнеплода свеклы в дозе 20 г/день, эквивалентной 650-700 мг NOx перорально, курс 7 дней. Протокол исследования выполнялся в соответствии с этическими принципами Хельсинкской декларации 1964 г. Выписка из протокола заседания НМИЦ ТПМ» МЗ РФ № 01 — 07/24 от 28.10.2024.

**Критерии включения в исследование:** мужской пол, возраст 18-60 лет, АГ первично выявленная или с достижением целевого уровня АД по данным СМАД на фоне приема регулярной АГТ, подписание информированного согласия на участие в исследовании.

**Критерии исключения из исследования:** переносимость порошка свеклы, любое острое воспалительное заболевание или отказ от участия в исследовании на любом этапе.

### Клинико-инструментальное обследование

#### Объемная сфигмография

Объемную сфигмографию проводили на приборе VaSera-1500N (Fukuda Denshi, Япония). Данная методика основана на осциллометрическом методе измерения АД. АД на плечах и голених измеряли у пациента в положении лежа на спине с вытянутыми ногами и руками вдоль туловища. При этом манжеты накладывали соответственно меткам на них на 2-3 см выше локтевого сгиба и 2-3 см выше мыщелков с двух сторон с регистрацией пульсовой волны (на сонной, бедренной артериях и артериях 4 конечностей), электрокардиограммы и фонокардиограммы. Определяли индекс CAVI (cardio-ankle vascular index) (сердечно-лодыжечный сосудистый индекс) и лодыжечно-плечевой индекс справа и слева. CAVI — показатель жесткости сосудистой стенки магистральных артерий, рассчитываемый по параметру жесткости  $\beta$  с учетом модифицированного уравнения Bramwell-Hill's [9], нивелирующего влияние на артериальную жесткость уровня АД в момент исследования, в связи с чем CAVI отражает истинную жесткость сосудистой стенки. Индекс CAVI рассчитывается по электрокардиограмме, регистрирующей электрическую активность сердца, и фонокардиограмме, записывающей звуковые шумы, возникающие при сокращениях сердца в плечевой и большеберцовой артериях, с использованием специального

алгоритма. Этот показатель зависит в большей степени от жесткости и податливости восходящей аорты. В итоговые таблицы были включены показатели систолического АД (САД) на правой руке, диастолического АД (ДАД) на правой руке, САД на левой руке, ДАД на левой руке, CAVI справа, CAVI слева.

#### Суточный мониторинг артериального давления (СМАД)

СМАД производилось в амбулаторных условиях с использованием аппарата VpLab (ООО «Петр Телегин», Россия) согласно стандартной методике после проведения всех этапов обследования (начало мониторинга в 11:00-12:00). Манжету тонометра располагали на левом плече. Интервал измерения АД в активное время суток составлял 20 мин, в ночные часы — 40 мин. Метод регистрации — осциллометрический. Критерий качества: отсутствие пробелов в записи данных длительностью более 60 мин, количество успешных проанализированных измерений  $\geq 70\%$ . Стандартные показатели СМАД рассчитывали с помощью программного обеспечения автоматически. К стандартным показателям СМАД относили: средние значения САД, ДАД, среднего и пульсового АД, а также среднюю частоту сердечных сокращений (ЧСС) (за сутки, день и ночь; почасовые средние значения АД и ЧСС максимальные и минимальные значения АД и ЧСС за различные периоды, суточный индекс (степень снижения систолического и диастолического АД в ночные часы). В итоговые таблицы были внесены данные САД день, САД ночь, САД сутки, ДАД сутки, САД день. Для количественной оценки величины и длительности повышения АД в течение суток использовали индексы времени (ИВ), ИП — индекс площади, нормированные индексы площади (НИП). ИВ определяли как процент времени, в течение которого величины АД превышают дневное АД 140/90 мм рт.ст. и ночное — 120/80 мм рт.ст. В итоговые таблицы были включены ИП САД сутки, НИП САД сутки, ИВ САД сутки, НИП ДАД сутки.

#### Порошок корнеплода свеклы

Мелкодисперсный порошок корнеплода свеклы, полученный путем инфракрасного дегидратирования с последующим измельчением, был разработан по заказу ФГБУ «НИМЦ ТПМ» Минздрава России Научно-производственным центром технологий здорового питания ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России. Концентрация NOx в порошке была измерена, как описано ранее [10]. Испытанию подвергалась доза 20 г сухого порошка свёклы, эквивалентная 650-700 мг NOx. Порошок принимали в виде напитка, разводя его водой, или употребляли, высыпая в порцию еды.

#### Определение NOx в сыворотке крови пациентов

В сыворотке крови, депротеинизированной с помощью концентраторов для ультрафильтрации Spin-X UF Corning (США) с мембраной MWCO (Molecular Weight Cut-Offs) 5,000, суммарную концентрацию нитрат- и нитрит-ионов (NOx, мкМ) определяли колориметрическим методом, основанным на реакции Грисса с одноэтапным восстановлением ионов нитрата в нитрит с помощью раствора хлорида ванадия III в 1N соляной кислоте, как описано ранее [11]. Оптическую плотность измеряли спектрофотометрически с помощью прибора TECAN Infinite 200Pro при  $\lambda=540$  нм и длине референсной волны 690 нм. Методика измерения NOx в сыворотке аттестована в Федеральном агентстве по техническому регулированию и метрологии: №205-19/RA.RU.311787/2024 от 5 декабря 2024г.

#### Статистический анализ

Статистический анализ выполняли с помощью программного обеспечения SPSS IBM статистики 23 (USA) и Statistica release 7 (USA). Размер выборки оценивали с помощью онлайн-калькулятора Sampsizе<sup>1</sup>. Для проверки различий между группами в уровне количественного признака, измеренного в непрерывной шкале, применяли тест Уилкоксона (Wilcoxon signed-rank test), представляющего собой непараметрический статистический тест, используемый для сравнения двух связанных выборок, когда данные не распределены нормально. Для выявления взаимосвязей между NOx и другими непрерывными переменными применяли корреляционный анализ с расчётом коэффициента Спирмена. Данные представлены в виде медианы (25%;75%) и среднего (стандартного отклонения (SD)).  $p<0,05$  считали значимыми.

## Результаты

В пилотное доклиническое исследование было включено 22 мужчины в возрасте 46,5 (40,0-52,0) лет, с низким (2,23%) сердечно-сосудистым риском по шкале SCORE (Systematic Coronary Risk Evaluation), из которых в качестве антигипертензивной терапии получали блокаторы рецепторов ангиотензина — 36,3% (N=8) пациентов. Из них диуретики принимали 9% (N=2), гиполипидемические препараты — 13,6%, из них статины — 13,6% (N=3) и эзетимиб — 4,5% (N=1). Антикоагулянты и антиагреганты не принимал никто из участников. Все участники в течение первой недели исследования ежедневно принимали 20 г порошка свеклы, эквивалентные 650-700 мг NOx. В течение второй недели участники не принимали порошок свеклы. Анализ основывали на сравнении результатов измерений, проведенных на этапах включения в исследование (базовые характеристики) и по завершении курса приема порошка свеклы в течение недели.

<sup>1</sup> <https://sampsizе.sourceforge.net/iface/s2.html#nm>.

Табл. 1 демонстрирует, что по завершении приема свекольного порошка, концентрация NOx в сыворотке крови участников возросла в среднем в 2,7 раз, что подтверждает выполнение ими условий ежедневного приема свекольного порошка.

В табл. 1 приведена лишь часть ключевых параметров, измеренных с помощью СМАД и Vasera. После курса приема свекольного порошка в течение недели значимых различий в уровне АД, регистрируемо-

го методом СМАД, выявлено не было (табл. 1). При этом было отмечено значимое снижение измеряемого с помощью прибора Vasera индекса артериальной жесткости- CAVI на 0,3 единицы, причем на правой руке снижение CAVI было статистически надежнее, чем на левой (табл. 1).

В табл. 2 приведены корреляции между уровнем NOx в сыворотке и показателями АД и артериальной жесткости исходно и после недельного приема

Таблица 1. Параметры АД и артериальной жесткости, полученные путем аппаратного измерения СМАД и Vasera, до и после курсового приема сухого порошка дегидратированного корнеплода свеклы, в дозе 20 г, эквивалентной 650-700 мг NOx/день, курс 7 дней

Параметры (ед.изм)	Исходный уровень		Плюс свекольный порошок		Р*
	Mean (SD)	Median [25%;75%]	Mean (SD)	Median [25%;75%]	
Возраст, лет		46,5 (6,5)			
<b>Параметры СМАД</b>					
САД день, мм рт.ст.	131,7 (10,4)	135,00 [122; 140]	130,05 (10,3)	132,00 [121; 137]	0,4
САД ночь, мм рт.ст.	112 (12,5)	112,00 [103; 119]	110,0 (9,9)	111,50 [103;116]	
САД сутки, мм рт.ст.	127,5 (12,6)	131,00 [120; 135]	125,6 (8,5)	127,00 [119;132]	0,3
ДАД сутки, мм рт.ст.	82,3 (8,6)	82,00 [73; 88]	81,1 (9,3)	83,00 [73;87]	0,2
ИП САД сут.	54,18 (61,07)	24,50 [9; 47]	40,94 (75,7)	18,00 [2;45]	0,2
НИП САД сут.	3,09 (3,58)	2,00 [1; 4]	1,88 (3,3)	1,00 [0;2]	0,4
ИБ САД сут.	27 (22,32)	23,00 [10; 47]	23,38 (22,3)	20,00 [3,0; 39]	0,6
НИП ДАД сут.	2,91 (3,62)	2,00 [0; 4]	3,5 (4,6)	1,00 [0;6]	0,6
<b>Параметры Vasera</b>					
CAVI справа	7,2 (0,9)	7,25 [6,4; 7,85]	6,9 (0,9)	7,10 [6,3; 7,8]	0,044; 0,02**
CAVI слева	7,2 (0,9)	7,20 [6,7; 7,8]	6,9 (1,0)	7,10 [6,2; 7,7]	0,047; 0,1**
САД ПР, мм рт.ст.	141,04 (18,8)	138,00 [132; 146]	135,9 (11,5)	136,00 [129; 144]	0,7
ДАД ПР, мм рт.ст.	87,18 (10,04)	86,50 [81; 96]	83,52 (10,4)	83,00 [74;00; 91,00]	0,4
САД ЛР, мм рт.ст.	131,45 (12,35)	129,50 [125; 140]	133,28 (13,5)	133,00 [125; 139]	0,4
ДАД ЛР, мм рт.ст.	81,90 (9,77)	82,00 [76; 88]	80,33 (10,8)	82,00 [70; 86]	0,8
<b>NOx в сыворотке</b>					
NOx, мкМ	36,6 (20,9)	28,92 [22,2; 47,4]	83,3 (60,0)	69,76 [46,23; 105;82]	0,008
*Р согласно Wilcoxon Matched Pairs Test для сравнения двух зависимых переменных; **Р — коэффициент согласия Кендалла ИБ — индекс времени, ИП — индекс площади, НИП — нормированный индекс площади, ПР — правая рука, ЛР — левая рука, САД — систолического артериальное давление, ДАД — диастолическое артериальное давление, NOx — суммарная концентрация нитрат- и нитрит-ионов в сыворотке крови					

Таблица 2. Взаимосвязь NOx в сыворотке крови с параметрами АД до и после курсового приема сухого порошка дегидратированного корнеплода свеклы, в дозе 20 г, эквивалентной 650-700 мг NOx/день, курс 7 дней. Корреляции Спирмена

Прибор		Vasera				СМАД				
		САД ПР	САД ЛР	CAVI справа	CAVI слева	САД день	ИП САД сут.	НИП САД сут.	ИБ САД сут.	НИП ДАД сут.
Курсовой прием свекольного порошка	г	0,07	-0,10	-0,41	-0,47	-0,22	-0,27	-0,15	-0,32	-0,36
	р	>0,05	>0,05	0,87	0,048	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05
NOx после курсового приема	г	-0,55*	-0,49*	0,41	0,3	-0,49*	-0,62*	-0,66*	-0,46*	-0,54*
	р	0,013	0,032	>0,05	>0,05	0,044	0,031	0,009	0,005	0,03
*p<0,05, г – коэффициент корреляции Спирмена ИБ – индекс времени, ИП – индекс площади, НИП – нормированный индекс площади, ПР – правая рука, ЛР – левая рука, САД – систолического артериальное давление, ДАД – диастолическое артериальное давление, NOx – суммарная концентрация нитрат- и нитрит-ионов в сыворотке крови										



свекольного порошка. Значимых корреляций между уровнем NOx исходно и измеренными параметрами выявлено не было, за исключением отрицательной корреляции с CAVI (слева) на границе статистической значимости ( $p=0,047$ ) (табл. 2). После недельного курса приема свекольного порошка были выявлены достаточно высокие отрицательные корреляции между концентрацией NOx в сыворотке крови и параметрами АД, измеренными с помощью приборов Vasera и СМАД. Выявленные корреляции указывают на взаимосвязь между повышением концентрации NOx и снижением как дневного САД (САД на правой руке; САД на левой руке; САД день), так и за сутки (ИП САД сутки). Также отмечены отрицательные корреляции уровня NOx с показателем, отражающим общую гипертоническую нагрузку (ИП САД; НИП САД) и процентом времени за сутки, в течение которого АД было выше нормальных значений (ИБ САД). Отрицательная корреляция выявлена также с нормализованным индексом площади ДАД (ИП ДАД). Важно отметить, что коэффициенты корреляции Спирмена  $r$  между уровнем циркулирующих NOx и измеряемыми параметрами, были достаточно высоки для биологической системы — до 0,66 в случае НИП САД сутки (табл. 2).

Таким образом, убедительно показано, что именно NOx, как один из активных компонентов свекольного порошка, вносит вклад в снижение АД, хотя значимых различий по уровню АД между группами не наблюдалось. И напротив, было выявлено снижение показателя артериальной жесткости CAVI по окончании курса приема свекольного порошка, хотя корреляций между CAVI и NOx по окончании курса выявлено не было.

## Обсуждение

До сегодняшнего дня на территории Российской Федерации клинических испытаний источников экзогенного нитрата растительного происхождения не проводилось. Для объективной оценки сосудистых изменений использовали автоматизированные технологии с акцентом на вычислении суррогатных параметров для определения артериальной ригидности [12]. В исследовании использовали СМАД, как метод диагностики, позволяющий многократно измерять АД пациента в течение суток чтобы определить АГ, выявить нарушения суточного ритма АД и индексы артериальной жесткости, измеряемые прибором Vasera, поскольку в настоящее время измерение каротидно-феморальная скорость распространения пульсовой волны (СРПВ) является «золотым стандартом» для оценки эластических свойств артериальных сосудов [13]. В приборе Vasera (Fukuda Denshi) СРПВ определяется плечелодыжечным методом. В большинстве исследований для измерения жесткости сосудов используют аортальную СРПВ, которая, соглас-

но консенсусу [13], является эталонным методом оценки артериальной ригидности. Оценку жесткости всего артериального сегмента, состоящего из аорты, бедренной и большеберцовых артерий, проводили путем измерений введенного разработчиками прибора VaSera параметра CAVI. CAVI — сердечно-лодыжечный сосудистый индекс, позволяющий нивелировать воздействие АД. Он отражает истинную жесткость аорты, бедренной и большеберцовой артерии. CAVI зарекомендовал себя также как критерий риска развития сердечно-сосудистых событий при величине  $>7,8$  (относительный риск: 5,06; 95% доверительный интервал: 2,32-11,06) ( $p<0,001$ ) и (относительный риск: 3,95; 95% доверительный интервал: 2,37-6,58) ( $p<0,001$ ), который сохранял свою прогностическую ценность и при поправке на традиционные факторы риска [14].

Согласно нашим данным, индекс CAVI значительно снижался после курсового приема свекольного порошка, по сравнению с базовыми измерениями. Однако в клиническом плацебо-контролируемом испытании, в котором анализировали влияние пищевого нитрата в свекольном соке на параметры артериальной жесткости у 126 человек, было показано, что прием сока не влиял на CAVI, при этом САД снизилось по сравнению с плацебо на -2,6 [-4,5, -0,8] мм рт. ст.,  $P=0,007$ , в то время как уровень циркулирующих NOx вырос в 1,5 раза [15]. Напротив, согласно нашим данным, снижения АД и показателей, характеризующих гипертензивную нагрузку (ИП, ИВ, НИП), измеренных с помощью СМАД, по истечении курсового приема свекольного порошка, зафиксировано не было. Но наблюдались отрицательные корреляции между уровнем NOx по завершении курсового приема свекольного порошка и показателями гипертензивной нагрузки, измеренными с помощью СМАД и Vasera. Отсутствие различий в уровне гипертензивной нагрузки и АД до и после приема свекольного порошка при наличии отрицательных корреляций с высоким коэффициентом с показателями гипертензивной нагрузки и САД скорее всего объясняются высокой вариабельностью переменных (табл. 1). Возможно, это будет преодолено при увеличении численности участников в планируемом рандомизированном перекрестном контролируемом исследовании. Высокий коэффициент корреляции между показателями гипертензивной нагрузки и АД свидетельствуют о правильном выборе дозировки NOx и продолжительности курсового приема. Влияние добавок нитратов на АД и сосудистую функцию интенсивно изучается и было продемонстрировано у пациентов с гипертонией, принимающих антигипертензивные препараты [16]. В группе, принимавших экзогенный нитрат, наблюдалось снижение САД, однако корреляции между параметрами не исследовались [17]. Влияние экзогенного нитрата объясняется его преобразованием в нитрит-ион под действием ферментативных систем, с по-

следующим образованием биоактивного оксида азота, являющегося мощным вазодилататором сосудов.

## Заключение

В ходе пилотного доклинического испытания было показано, что по завершении курсового приема 20 г свекольного порошка ежедневного в течение недели, содержащего в среднем 650-700 мг NOx, способствующего подъему концентрации NOx в крови, наблюдалось снижение CAVI и были выявлены отрицательные корреляции между уровнем NOx и показателями АД, что убедительно указывает на то, что именно

NOx в составе свекольного порошка способствует снижению АД. Полученные результаты указывают на целесообразность проведения рандомизированного перекрестного контролируемого исследования разработанного свекольного порошка, включающего большее количество участников.

**Отношения и Деятельность.** Исследование проведено в рамках Государственного задания № 124013100892-7.

**Relationships and Activities.** The study was conducted within the framework of State Assignment No. 124013100892-7.

## References / Литература

1. Tzoulaki I, Elliott P, Kontis V, Ezzati M. Worldwide Exposures to Cardiovascular Risk Factors and Associated Health Effects: Current Knowledge and Data Gaps. *Circulation*. 2016;133(23):2314-33. DOI:10.1161/CIRCULATIONAHA.115.008718.
2. Gumanova NG. The significance of exogenous nitrate and nitrite of plant origin for vascular health. *Russian Journal of Preventive Medicine*. 2024;27(11):141-6. (In Russ.) [Гуманова Н.Г. Значимость экзогенного нитрата и нитрита растительного происхождения для здоровья сосудов. Профилактическая медицина. 2024;27(11):141-6]. DOI:10.17116/profmed20242711141.
3. Sobko T, Marcus C, Govoni M, Kamiya S. Dietary nitrate in Japanese traditional foods lowers diastolic blood pressure in healthy volunteers. *Nitric Oxide*. 2010;22(2):136-40. DOI:10.1016/j.niox.2009.10.007.
4. Coles LT, Clifton PM. Effect of beetroot juice on lowering blood pressure in free-living, disease-free adults: a randomized, placebo-controlled trial. *Nutr J*. 2012;11:106. DOI:10.1186/1475-2891-11-106.
5. Hobbs DA, Kaffa N, George TW, et al. Blood pressure-lowering effects of beetroot juice and novel beetroot-enriched bread products in normotensive male subjects. *Br J Nutr*. 2012;108(11):2066-74. DOI:10.1017/S0007114512000190.
6. Pinaffi-Langley A, Dajani RM, Prater MC, et al. Dietary Nitrate from Plant Foods: A Conditionally Essential Nutrient for Cardiovascular Health. *Adv Nutr*. 2024;15(1):100158. DOI:10.1016/j.advnut.2023.100158.
7. Gumanova NG. Nitrogen oxide and its circulating NOx metabolites, their role in human body functioning and cardiovascular death risk prediction [Part II]. *The Russian Journal of Preventive Medicine*. 2021;24(10):119-25. (In Russ.) [Гуманова Н.Г. Оксид азота и его циркулирующие метаболиты NOx, их роль в функционировании человеческого организма и прогнозе риска сердечно-сосудистой смерти [Часть II]. Профилактическая медицина. 2021;24(10):119-25]. DOI:10.17116/profmed202124101119.
8. Gumanova NG. Nitric oxide and its circulating NOx metabolites, their role in human body functioning and cardiovascular death risk prediction [part I]. *The Russian Journal of Preventive Medicine*. 2021;24(9):102-9. (In Russ.) [Гуманова Н.Г. Оксид азота, его циркулирующие метаболиты NOx и их роль в функционировании человеческого организма и прогнозе риска сердечно-сосудистой смерти [часть I]. Профилактическая медицина. 2021;24(9):102-9]. DOI:10.17116/profmed202124091102.
9. Shirai K, Hiruta N, Song M, et al. Cardio-ankle vascular index (CAVI) as a novel indicator of arterial stiffness: theory, evidence and perspectives. *J Atheroscler Thromb*. 2011;18(11):924-38. DOI:10.5551/jat.7716.
10. Bogdanova NL, Gumanova NG, Kiselev AR, et al. Pharmacokinetic study and phytochemical analysis of beetroot powder as an initial stage of the development of an NO-boosting formulation as a food supplement with cardioprotective properties and potential donor of nitric oxide. *Russian Open Medical Journal*. 2024;13(4):e0410. DOI:10.15275/rusomj.2024.0410.
11. Gumanova NG, Klimushina MV, Metelskaya VA. Optimization of a onestep method for determining circulating nitrite and nitrate ions (NOx) as a risk factor for cardiovascular death. *Bull Exp Biol Med*. 2018;165(2):252-6. DOI:10.1007/s10517-018-4149-z.
12. Matrosova IB, Borisocheva NV, Oleynikov VE. The cardio-ankle vascular index (CAVI) is a new non-invasive parameter for assessing vascular rigidity. *University proceedings. Medical sciences*. 2009;2(10):90-101. (In Russ.) [Матросова И.Б., Борисочева Н.В., Олейников В.Э. Сердечно-лодыжечный сосудистый индекс (CAVI) новый неинвазивный параметр оценки сосудистой ригидности. Медицинские науки. Обзоры литературы. 2009;2(10):90-101].
13. Laurent S, Cockcroft J, Van Bortel L, et al.; European Network for Non-invasive Investigation of Large Arteries. The European Network for Noninvasive Expert consensus document on arterial stiffness: methodological issues and clinical applications. *Eur Heart J*. 2006;27(21):2588-605. DOI:10.1093/eurheartj/ehl254.
14. Zairova AR, Rogozha 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.) [Заирова А.Р., Порожа 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 ЭССЕ-РФ, Томск). Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2021;20(5):2967]. DOI:10.15829/1728-8650-700-2021-2967.
15. Mills CE, Govoni V, Faconti L, et al. A randomised, factorial trial to reduce arterial stiffness independently of blood pressure: Proof of concept? The VaSera trial testing dietary nitrate and spironolactone. *Br J Clin Pharmacol*. 2020;86(5):891-902. DOI:10.1111/bcp.14194.
16. Kapil V, Khambata RS, Robertson A, et al. Dietary nitrate provides sustained blood pressure lowering in hypertensive patients: a randomized, phase 2, double-blind, placebo-controlled study. *Hypertension*. 2015;65(2):320-27. DOI:10.1161/HYPERTENSIONAHA.114.04675.
17. Broxterman RM, La Salle DT, Zhao J, et al. Influence of dietary inorganic nitrate on blood pressure and vascular function in hypertension: prospective implications for adjunctive treatment. *J Appl Physiol* (1985). 2019;127(4):1085-94. DOI:10.1152/jappphysiol.00371.2019.

### Сведения об Авторах/About the Authors

**Саматова Камилла Саматовна [Kamila S. Samatova]**

eLibrarySPIN 3465-3890, ORCID 0000-0001-7116-9805

**Гуманова Надежда Георгиевна [Nadezhda G. Gumanova]**

eLibrarySPIN 9687-8182, ORCID 0000-0002-6108-3538

**Королев Андрей Игоревич [Andrei I. Korolev]**

eLibrarySPIN 4644-7848, ORCID 0000-0001-9830-8959

**Богданова Наталья Леонидовна [Natalya L. Bogdanova]**

eLibrarySPIN 1900-2629, ORCID 0000-0002-3124-5655

**Горшков Александр Юрьевич [Aleksandr Yu. Gorshkov]**

eLibrarySPIN 6786-8438, ORCID:0000-0002-1423-214X

**Киселев Антон Робертович [Anton R. Kiselev]**

eLibrarySPIN 4097-9744, ORCID 0000-0003-3967-3950

**Драпкина Оксана Михайловна [Oksana M. Drapkina]**

eLibrarySPIN 4456-1297, ORCID 0000-0002-4453-8430