

ISSN 1607-419X
ISSN 2411-8524 (Online)
УДК 616.12-008.331:612.821

Корреляции артериального давления и одновалентных катионов плазмы крови и их выведения почками у больных гипертонической болезнью при психоэмоциональной нагрузке

Н. А. Кручинина¹, И. Е. Ганелина²,

А. А. Панов², Е. Е. Порошин³

¹ Медико-санитарная часть № 50 федерального государственного унитарного предприятия «Центральный научно-исследовательский институт имени академика А. Н. Крылова», Санкт-Петербург, Россия

² Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт эволюционной физиологии и биохимии имени И. М. Сеченова» Российской академии наук, Москва, Россия

³ Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт имени А. П. Карпинского», Санкт-Петербург, Россия

Контактная информация:

Кручинина Наталья Алексеевна,
МСЧ № 50 ФГУП ЦНИИ
им. акад. А. Н. Крылова,
Московское ш., д. 44,
Санкт-Петербург, Россия, 196158.
E-mail: Kruchinina.nataly@yandex.ru

*Статья поступила в редакцию
31.08.16 и принята к печати 08.11.16.*

Резюме

Цель исследования — изучение влияния психоэмоциональной нагрузки (ПЭН) на корреляции между артериальным давлением (АД) и Na^+ и K^+ плазмы крови и их выведением почками у больных артериальной гипертензией (АГ). **Материалы и методы.** 18 мужчинам с нормальным АД (НАД) и 20 мужчинам с АГ II стадии (средний возраст в обеих группах 57 ± 3 года) проводилась ПЭН, на которую все испытуемые отвечали подъемом АД, увеличением диуреза, натрийуреза, выведением почками ионов K^+ , очищением от $\text{Na}^+-\text{C}_{\text{Na}^+}$. Определяли: Na^+ и K^+ на пламенном фотометре Флафо-40 (Германия), активность ионов Na^+ и K^+ плазмы крови — потенциометрическим методом, миниатюрными ионселективными электродами ИСЭ-М-К и ИСЭ-М-Na. **Результаты.** При воздействии ПЭН не выявлено корреляции АД ни с Na^+ плазмы крови, ни с выведением Na^+ почками, ни у лиц с НАД, ни у больных АГ. У нормотензивных лиц АД отрицательно коррелировало только с выведением K^+ почками: чем выше систолическое АД (САД) и диастолическое АД (ДАД) во все стадии эксперимента (5 связей: $-0,57, -0,52, -0,64, -0,56, -0,54$), тем ниже было выведение почками калия после ПЭН. У лиц с НАД не было корреляций между АД и K^+ плазмы крови. У больных АГ связи между АД и выведением почками K^+ отсутствовали, но выявлены отрицательные связи между АД (особенно с САД) и K^+ плазмы крови. При этом у больных АГ, чем выше САД исходно и при воздействии ПЭН ($-0,42, -0,51$), тем ниже исходная концентрация калия плазмы крови. Чем выше САД во все три стадии эксперимента, тем ниже активный калий исходно и при нагрузке (5 связей: $-0,52, -0,45, -0,46, -0,53, -0,48$). Чем выше САД и ДАД во время ПЭН и после нее, тем ниже коэффициент активности калия во время ПЭН (4 связи: $-0,58, -0,47, -0,58, -0,45$). **Выводы.** 1. При воздействии ПЭН корреляции между АД и Na^+ плазмы крови и выведением Na^+ почками отсутствуют, как у лиц с НАД, так и у больных АГ. 2. При воздействии ПЭН у лиц с НАД повышение АД коррелирует с уменьшением выведения K^+ почками, а у лиц с АГ коррелирует с уменьшением содержания K^+

плазмы крови, активным калием и его коэффициентом активности. 3. Ионы калия играют значительную роль в регуляции АД, и механизмы этих регуляций различны у лиц с НАД и больных АГ.

Ключевые слова: артериальная гипертензия, стресс, артериальное давление, ионы натрия и калия

Для цитирования: Кручинина Н. А., Ганелина И. Е., Панов А. А., Порошин Е. Е. Корреляции артериального давления и одновалентных катионов плазмы крови и их выведения почками у больных гипертонической болезнью при психоэмоциональной нагрузке. *Артериальная гипертензия*. 2016;22(6):581–588. doi:10.18705/1607-419X-2017-23-6-581-588

Correlation between blood pressure and plasma monovalent cations and their renal excretion in hypertensive patients at psychoemotional stress

N. A. Krouchinina¹, I. E. Ganelina²,
A. A. Panov², E. E. Poroshin³

¹ Krylov State Research Centre, St Petersburg, Russia

² I. M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia

³ A. P. Karpinsky Russian Geological Research Institute, St Petersburg, Russia

Corresponding author:

Natalia A. Krouchinina,
Krylov State Research Centre,
44 Moskovsky avenue, St Petersburg,
196158 Russia.
E-mail: Krouchinina.natalya@yandex.ru

Received 31 August 2016;
accepted 8 November 2016.

Abstract

Objective. To study the impact of psycho-emotional stress (PES) on the correlation between blood pressure (BP) and plasma sodium and potassium ions, and their renal excretion in patients with arterial hypertension (HTN). **Design and methods.** We examined 18 men with normal BP and 20 men with HTN of the second stage (mean age in both groups — 57 ± 3 years) who were exposed to PES. All the subjects responded by the increase in BP, pulse, diuresis, natriuresis, renal excretion of K^+ , clearance from $Na^+-C_{Na^+}$. We evaluated Na^+ and K^+ by the flame photometer Flafo-40 (Germany), and the activity of plasma Na^+ and K^+ by potentiometric method with ion-selective minielectrodes ISE-M-K and the ISE-M-Na. **Results.** At PES, neither normotensives nor HTN patients showed any correlation between BP and either plasma sodium ions or their renal excretion. BP correlated negatively only with renal excretion of potassium ions in normotensives: the higher systolic (SBP) and diastolic (DBP) BP at all stages of the experiment (5 ties: $-0,57$, $-0,52$, $-0,64$, $-0,56$, $-0,54$) the lower renal excretion of potassium after PES. Normotensive subjects showed no correlation between BP and plasma potassium ions. Unlike the normotensive subjects, patients with HTN had no correlation between BP and renal excretion of potassium ions. However, patients with HTN showed negative correlation between BP (especially systolic) and plasma potassium ions: the higher SBP at baseline and at PES exposure ($-0,42$, $-0,51$), the lower the baseline concentration of plasma potassium. The higher SBP at all three stages of the experiment, the lower active potassium at baseline and at PES exposure (5 relations: $-0,52$, $-0,45$, $-0,46$, $-0,53$, $-0,48$). The higher SBP and DBP during and after PES exposure, the lower the coefficient of activity of potassium at PES (4 relations, $-0,58$, $-0,47$, $-0,58$, $-0,45$). **Conclusions.** 1) Correlation between BP and plasma sodium ions and renal sodium excretion was absent in both normotensives and HTN patients at PES exposure. 2) BP elevation negatively correlated with the renal excretion of potassium ions in normotensive subjects during PES exposure. 3) BP increase negatively correlated with the plasma potassium ions (potassium ions, active potassium and its coefficient of activity) in hypertensive patients during the PES. 4) In normotensive subjects BP negatively correlated only with the renal

excretion of potassium ions during the PES. In HTN patients BP correlated negatively only with potassium ions, active potassium and potassium coefficient of activity. 5) Potassium ions play a significant role in the BP regulation and the mechanisms are different in normotensive and hypertensive individuals.

Key words: arterial hypertension, stress, blood pressure, ions of sodium and potassium

For citation: Krouchinina NA, Ganelina IE, Panov AA, Poroshin EE. Correlation between blood pressure and plasma monovalent cations and their renal excretion in hypertensive patients at psychoemotional stress. Arterial'naya Gipertenziya = Arterial Hypertension. 2016;22(6):581–588. doi:10.18705/1607-419X-2017-23-6-581-588

Введение

В настоящее время склоняются к многофакторной теории артериальной гипертензии (АГ). Ранее Всемирной организацией здравоохранения была принята нейрогенная концепция патогенеза гипертонической болезни (эссенциальной артериальной гипертензии) Г. Ф. Ланга — А. Л. Мясникова [1]. По Г. Ф. Лангу гипертоническая болезнь — это «болезнь неотреагированных эмоций».

Доказательна объемно-солевая теория Гайтона [2] с первичным нарушением выделительной функции почек, которая приводит к задержке в организме воды и натрия. Согласно гипотезе Гайтона, повышение артериального давления (АД) на стрессорную ситуацию связано с активацией симпатoadrenalной системы, повышением общего периферического сопротивления. Для компенсации подъема АД на стресс развиваются гипертонивный диурез и натрийурез.

У больных АГ уровень АД находится в прямой зависимости от общего содержания натрия в организме и уровня ионообменного натрия [3].

Многочисленные рандомизированные контролируемые исследования свидетельствуют, что применение гипернатриевой диеты ведет к увеличению АД (способствует увеличению объема циркулирующей жидкости). Ограничение потребления поваренной соли приводит к уменьшению АД [3–8].

Напротив, увеличение потребления калия с пищей оказывает гипотензивный эффект. Этот эффект обусловлен несколькими механизмами: увеличением натрийуреза, усилением барорефлекторной чувствительности, прямым сосудорасширяющим действием, понижением сердечно-сосудистой реактивности к норэпинефрину и ангиотензину (ослабляется сосудосуживающий эффект ангиотензина) [8]. Пища, содержащая недостаточное количество калия, способствует повышению АД.

Показано также, что у больных АГ повышаются в плазме крови активный натрий, калий и их коэффициенты активности. Повышение активности натрия и его коэффициента активности связывают с уменьшением доли свободной воды плазмы крови [9].

Настоящая работа посвящена изучению корреляций между АД, пульсом, диурезом и ионами на-

трия и калия плазмы крови и их выведением почками у лиц с нормальным АД (НАД) и больных АГ, на диете, не содержащей ни избытка, ни дефицита потребления ионов натрия и калия. Исследование было выполнено при проведении психоэмоциональной нагрузки (ПЭН).

Материалы и методы

Обследовано 38 человек, 18 мужчин с НАД (АД в пределах от 110/65 до 130/80 мм рт. ст.) и 20 мужчин с АГ (АД в пределах от 160/90 до 179/109 мм рт. ст. по офисным данным). У отобранных больных была диагностирована АГ II стадии, риск сердечно-сосудистых осложнений 1–2 [10]. Включались только лица с гипертрофией левого желудочка (по критерию индекса Соколова–Лайона). Больные АГ 3-й степени повышения АД не включались в исследование в связи с опасностью для них высокого подъема АД при выраженном поражении органов-мишеней, как и больные АГ II степени с высоким риском сердечно-сосудистых осложнений. Больные АГ 1-й степени не включены в исследование в связи со стойкой компенсацией АД.

Все 38 испытуемых (от 50 до 60 лет, средний возраст в обеих группах 57 ± 3 года) тщательно отобраны из 514 мужчин-инженеров, которые систематически обследовались в течение 15 лет [11]. При отборе исключали лиц с симптоматической АГ, ишемической болезнью сердца, сахарным диабетом. В обследование входили: подробный анамнез, клинический осмотр, анализ мочи, клинический анализ крови, определение уровней глюкозы, креатинина, мочевины, холестерина, липопротеинов высокой плотности, липопротеинов низкой плотности, триглицеридов, регистрация электрокардиограммы (ЭКГ), велоэргометрия. Назначалось необходимое лечение.

Была использована методика ПЭН, на которую все испытуемые реагировали подъемом АД, пульса, диуреза [12]. Обследуемым в положении лежа предлагали удерживать стрелку прибора в среднем положении нажатием на кнопку, когда стрелка отклонялась влево, и отпусканием кнопки, когда стрелка падала вправо. Частота отклонений стрелки постепенно возрастала до пределов, когда ста-

новилось невозможным удержать ее в срединном положении. Экспериментатор создавал негативную ситуацию, постоянно упрекая испытуемого, что тот плохо справляется с элементарной работой. Эксперимент проводился в течение 3 часов и состоял из трех равных временных интервалов. Первый час — период покоя (1), второй — период ПЭН (2) и третий час — период отдыха после ПЭН (3). До нагрузочного теста и после него проводился забор крови из вены. В течение всего эксперимента в равные интервалы времени через 15 минут проводили измерение АД и пульса, регистрировали ЭКГ. В конце каждого этапа эксперимента определяли объем выделенной мочи (V), концентрации в плазме крови (P) и моче (U) натрия (Na^+) и калия (K^+) (на пламенном фотометре Флафо-40, Германия). Активность (A) ионов Na^+ и K^+ в плазме крови определяли потенциометрическим методом с помощью миниатюрных ионоселективных электродов ИСЭ-М-К и ИСЭ-М-Na [9]. О физико-химическом состоянии ионов в плазме крови судили по величине коэффициента активности (A/P).

Рассчитывали: концентрационный индекс (U/P) и выведение с мочой (UV) Na^+ , K^+ , очищение (C) от натрия (C_{Na^+}).

Статистическую обработку результатов исследования проводили по программам вычисления средних, средних квадратических отклонений, парных коэффициентов корреляций (доверительный интервал для коэффициента корреляций 0,38–0,846).

При анализе результатов учитывали только статистически значимые изменения, устанавливаемые с помощью критерия Фишера ($\tau = 0,95$), Стьюдента ($p < 0,05$). Для расчетов использовали программу обеспечения StatSoft Statistica.

Результаты

В таблице представлены данные средних и среднеквадратических отклонений изучаемых физиологических параметров для лиц с НАД и больных АГ в трех стадиях эксперимента. Они были описаны и обсуждены в предыдущей работе [13]. В данной работе мы анализируем только результаты корреляций между АД, пульсом, диурезом и ионами натрия и калия плазмы крови и их выведением почками.

Во время проведения ПЭН ни у нормотензивных лиц, ни у больных АГ не было выявлено корреляций АД ни с содержанием ионов натрия плазмы крови, ни с выведением ионов натрия почками.

При воздействии ПЭН у нормотензивных лиц АД отрицательно коррелировало только с выведением ионов калия почками: чем выше систолическое АД (САД) и диастолическое АД (ДАД) во все стадии эксперимента (5 связей: $-0,57$, $-0,52$, $-0,64$,

$-0,56$, $-0,54$), тем ниже было выведение почками калия после ПЭН. Во время ПЭН у лиц с НАД не было корреляций между АД и ионами калия плазмы крови. У больных АГ, в отличие от лиц с нормальным уровнем АД, корреляции между АД и выведением почками ионов калия отсутствовали. Наоборот, во время ПЭН у больных АГ отмечены отрицательные связи между АД (особенно с САД) и ионами калия плазмы крови. Более того, чем выше САД исходно и при ПЭН ($-0,42$, $-0,51$) у больных АГ, тем ниже исходная концентрация калия плазмы крови. Чем выше САД во все три стадии эксперимента, тем ниже активный калий исходный и на нагрузку (5 связей: $-0,52$, $-0,45$, $-0,46$, $-0,53$, $-0,48$). Чем выше САД и ДАД при воздействии ПЭН и после нее, тем ниже коэффициент активности калия на ПЭН (4 связи: $-0,58$, $-0,47$, $-0,58$, $-0,45$).

Частота пульса. У нормотензивных лиц частота пульса не коррелирует с содержанием ионов натрия плазмы крови. У лиц с НАД исходная частота пульса отрицательно коррелирует с выведением почками натрия и очищением от натрия после ПЭН (2 связи: $-0,54$, $-0,52$). В отличие от нормотензивных лиц, частота пульса у больных АГ не связана с выведением почками ионов натрия. Напротив, у больных АГ частота пульса связана отрицательно с уровнем элементарного натрия исходно и при воздействии ПЭН (2 связи: $-0,45$, $-0,49$) и положительно коррелирует с исходным активным натрием плазмы крови и его коэффициентом активности (2 связи: $+0,45$, $+0,55$).

У лиц с НАД частота пульса не коррелирует ни с выведением калия почками, ни с содержанием ионов калия плазмы. У больных АГ, напротив, частота пульса при воздействии ПЭН и после нее отрицательно связан с активным калием плазмы крови и его коэффициентом активности во время ПЭН (3 связи: $-0,46$, $-0,44$, $-0,45$). Связи частоты пульса с выведением ионов калия почками у больных АГ не выявлено.

Диурез. У лиц с НАД при высоком диурезе выше выведение почками натрия до ПЭН и после нее (2 связи: $+0,66$, $+0,47$) и очищение от натрия во все стадии эксперимента (3 связи: $+0,68$, $+0,49$, $+0,51$). У больных АГ так же, как у нормотензивных лиц, при высоком диурезе при ПЭН и после нее выше выведение натрия почками и выше очищение от натрия в обоих случаях во все стадии эксперимента (по 6 связей: $+0,64$, $+0,76$, $+0,70$, $+0,49$, $+0,49$, $+0,84$ и $+0,47$, $+0,61$, $+0,71$, $+0,77$, $+0,84$, $+0,84$). В то же время у лиц с НАД, чем выше диурез во все три стадии эксперимента, тем выше элементарный натрий исходно и при воздействии ПЭН (5 связей: $+0,57$, $+0,54$, $+0,51$, $+0,57$, $+0,56$). У больных АГ,

Таблица

СРЕДНИЕ ЗНАЧЕНИЯ (X) И СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКИЕ ОТКЛОНЕНИЯ ($\pm \sigma$) ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ГРУППАХ ЛИЦ С НОРМАЛЬНЫМ ДАВЛЕНИЕМ И АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕНЗИЕЙ В ТРЕХ СТАДИЯХ ЭКСПЕРИМЕНТА

| Стадии эксперимента | САД, мм рт. ст. | | | ДАД, мм рт. ст. | | | Диурез, л | | | Частота пульса, уд/мин | | | U _{Na} V | | |
|----------------------------------|-----------------------------------|------|--|-----------------------------------|----------------------------------|------|-----------------------------------|------|--|-----------------------------------|------|------|----------------------------------|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| У лиц с НАД X $\pm \sigma$ | | (x) | (x) | | (x) | (x) | | (x) | (x) | | (x) | (x) | | (x) | (x) |
| | 121 | 152 | 144 | 76 | 97 | 93 | 1,26 | 2,39 | 1,98 | 60 | 68 | 58 | 4,6 | 8,2 | 6,8 |
| | 10 | 16 | 13 | 6 | 8 | 6 | 0,8 | 0,9 | 0,7 | 7 | 9,5 | 7 | 3 | 3,7 | 2,4 |
| У лиц с АГ X $\pm \sigma$ | (xx) | (xx) | (xx) | (xx) | (x) | (x) | | (x) | (xx) | | (x) | | | (x) | |
| | 155 | 196 | 184 | 96 | 120 | 112 | 1,5 | 2,7 | 1,6 | 63 | 76 | 62 | 5,0 | 8,4 | 6,2 |
| | 24 | 29 | 28 | 10 | 16 | 14 | 1,2 | 1,9 | 0,9 | 7 | 10 | 8 | 3,0 | 5,7 | 2,9 |
| Параметр | P_{Na}⁺ | | | A_{Na}⁺ | | | U_{Na}⁺ | | | C_{Na}⁺ | | | P_K⁺ | | |
| Стадии эксперимента | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | |
| | | | | (x) | | (x) | | | | | | | | | |
| | 136 | 137 | 106 | 111 | 0,78 | 0,81 | 181 | 165 | 166 | 1,24 | 2,39 | 2,08 | 4,0 | 3,8 | |
| У лиц с НАД X $\pm \sigma$ | 6 | 6 | 6 | 18 | 0,02 | 0,1 | 75 | 73 | 70 | 0,88 | 1,29 | 0,85 | 0,5 | 0,4 | |
| | | | | (xx) | (xx) | (xx) | | | (x) | | | | | | |
| | 138 | 138 | 130 | 128 | 0,94 | 0,93 | 150 | 163 | 187 | 1,31 | 2,57 | 1,82 | 4,2 | 4,0 | |
| У лиц с АГ X $\pm \sigma$ | 5 | 5 | 20 | 25 | 0,14 | 0,18 | 68 | 56 | 43 | 0,98 | 1,89 | 0,86 | 0,5 | 0,6 | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| Параметр | A_K⁺ | | A_K⁺/P_K⁺ | | U_K⁺ | | U_K⁺V | | U_K⁺/P_K⁺ | | | | | | |
| Стадии эксперимента | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 3,1 | 3,1 | 0,78 | 0,83 | 41 | 40 | 39 | 1,5 | 3,07 | 2,66 | 10,6 | 10,9 | 10,7 | | |
| У лиц с НАД X $\pm \sigma$ | 0,4 | 0,5 | 0,1 | 0,1 | 18 | 18 | 15 | 0,87 | 1,35 | 1,12 | 5,2 | 5,6 | 4,8 | | |
| | (xx) | | (xx) | (x) | | | | | (xx) | (x) | | | | | |
| | 3,8 | 3,4 | 0,92 | 0,84 | 34 | 34 | 40 | 1,35 | 2,3 | 1,98 | 8 | 8,5 | 10 | | |
| У лиц с АГ X $\pm \sigma$ | 0,8 | 0,8 | 0,15 | 0,11 | 19 | 19 | 18 | 6,61 | 1,13 | 1,04 | 4,7 | 4,8 | 4,1 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |

Примечание: САД — систолическое артериальное давление; ДАД — диастолическое артериальное давление; НАД — нормальное артериальное давление; АГ — артериальная гипертензия; 1–2–3 — величины параметров: до нагрузки — 1, на нагрузку — 2, отдых после нагрузки — 3; P — концентрация вещества в плазме мМоль/л; A — активность ионов Na⁺ и K⁺ в плазме крови (мМоль/л); U — концентрация Na⁺ и K⁺ в моче; UV — выведение исследуемого вещества с мочой (мМоль/мин); U/P — концентрационный индекс; C — отношение плазмы от исследуемого вещества; x — p < 0,05 по сравнению с исходной величиной параметра той же группы; xx — p < 0,05 при сравнении величин между группами в той же стадии эксперимента.

напротив, чем ниже диурез после ПЭН, тем выше элементарный натрий исходно и при воздействии ПЭН (2 связи: $-0,49$, $-0,49$).

Обсуждение

В основе патогенеза АГ одну из важных ролей играет недостаточность почечных механизмов гипертензивного натрийуреза [2]. Наибольшее внимание уделяется изучению избыточного и недостаточного употребления натрия в пище [3–7].

Калий чаще рассматривается как относительно менее значимый фактор в патогенезе АГ. Хотя установлено, что дефицит калия в рационе способствует повышению АД, а его усиленное потребление снижает АД. Повышенное отношение K^+/Na^+ в диете не только понижает АД в общей популяции, но и снижает смертность от сердечно-сосудистых заболеваний [1, 2, 6–8].

В настоящей работе мы изучили корреляции АД, частоты пульса, диуреза с содержанием ионов натрия и калия плазмы крови и их выведением почками у лиц с НАД и больных АГ, не получающих специальную диету с избытком или дефицитом натрия или калия в рационе. Все обследуемые были подвергнуты ПЭН. Установлено, что при воздействии ПЭН корреляции АД и ионов натрия плазмы крови и выведение ионов натрия почками отсутствуют, как у лиц с НД, так и больных АГ. У нормотензивных лиц, чем выше АД (САД и ДАД), тем меньше выведение почками калия при воздействии ПЭН. Связи АД с содержанием ионов калия плазмы крови у нормотензивных лиц не выявлено.

У больных АГ, наоборот, АД не связано с выведением почками ионов калия, как у здоровых. Чем выше АД у больных АГ, тем ниже концентрация калия плазмы крови, активный калий и его коэффициент активности. То есть при воздействии ПЭН АД связано с уровнем ионов калия: у лиц с НАД — с их выведением почками, а у больных АГ — с их содержанием в плазме крови. Таким образом, установлена связь АД не с содержанием ионов натрия, а с содержанием ионов калия. Механизмы, лежащие в основе связи АД и ионов калия, различаются у лиц с НАД и больных АГ. Мы предполагаем, что ионы калия имеют гораздо большее значение в регуляции АД, чем это принято считать. Нарушение регуляции АД при его повышении в ответ на ПЭН у больных АГ связано с понижением концентрации ионов калия плазмы крови, активного калия и его коэффициента активности, что может способствовать удержанию повышенного АД у больных АГ. У лиц с НАД подобные корреляции отсутствуют. Интересно отметить, что у боль-

ных АГ, по данным средних величин (см. табл.), наблюдалось уменьшение коэффициента $Ак^+/Рк^+$ при воздействии ПЭН за счет уменьшения $Ак^+$, так как $Рк^+$ не изменялось после ПЭН. Повышение АД (САД) у больных АГ коррелировало с уменьшением $Ак^+$ и коэффициентом активности калия (САД и ДАД). Вероятно, что уменьшение $Ак^+$ и $Ак^+/Рк^+$ играет большую роль в поддержании высокого АД (САД и ДАД) у больных АГ при воздействии ПЭН. И, напротив, более высокие величины $Ак^+$ и $Ак^+/Рк^+$, исходные у больных АГ по сравнению с лицами с НАД (см. табл.), могут быть компенсаторными и поддерживать АД на более низком уровне у больных АГ. Можно также предположить, что уменьшение коэффициента $Ак^+/Рк^+$ при воздействии ПЭН у больных АГ связано с изменением физико-химического состояния ионов калия плазмы крови, с которым связывают этот коэффициент [9].

Таким образом, при воздействии ПЭН парные корреляции АД с содержанием ионов натрия плазмы крови и его выведение почками отсутствуют как у лиц с НАД, так и у больных АГ. Вероятно, одним из основных механизмов нормализации АД при воздействии ПЭН является гипертензивный диурез и, для поддержания осмоляльности, натрийурез. Таким образом, повышение АД связано с задержкой жидкости в организме, а не с содержанием натрия. Содержание натрия плазмы крови, по результатам нашей работы, оставалось (по данным средних величин) на одном уровне и у лиц с НАД, и у больных АГ. Это предположение подтверждается опытом применением диуретиков для купирования гипертонических кризов и лечения АГ.

В то же время при воздействии ПЭН у лиц с НАД, чем выше элементарный натрий плазмы крови, тем выше диурез, то есть натрий выводился более интенсивно. Напротив, у больных АГ после ПЭН наблюдалось уменьшение диуреза, и чем ниже был диурез, тем выше элементарный натрий плазмы крови, то есть задерживались и жидкость, и натрий. Таким образом, у больных АГ при высоком АД после ПЭН создавалась ситуация задержки жидкости и натрия, то есть нарушались гипертензивный диурез и натрийурез.

Интересно также отметить, что частота пульса при воздействии ПЭН у нормотензивных лиц коррелировала только с выведением почками ионов натрия и не была связана с содержанием ионов натрия плазмы крови. Напротив, у больных АГ при воздействии ПЭН частота пульса коррелировала с уровнем ионов натрия плазмы крови и не связана с их выведением почками. То есть как и АД, частота

пульса у нормотензивных лиц коррелировала с выведением ионов почками, а у больных АГ — с их содержанием в плазме. У нормотензивных лиц частота пульса не связана ни с выведением ионов калия почками, ни с их содержанием в плазме.

Выводы

1. При воздействии ПЭН корреляции между АД и ионами натрия плазмы крови и выведением ионов натрия почками отсутствуют, как у лиц с НАД, так и у больных АГ.

2. При ПЭН у лиц с НАД АД отрицательно коррелирует только с выведением ионов калия: чем выше АД, тем ниже выведение ионов калия почками.

3. В ответ на ПЭН у больных АГ АД отрицательно коррелирует только с содержанием ионов калия плазмы крови: чем выше АД, тем ниже концентрация ионов калия плазмы крови, активный калий и коэффициент активности калия.

4. Ионы калия играют значительную роль в регуляции АД в ответ на ПЭН, и механизмы этих регуляций различны: у лиц с НАД АД связано с выведением ионов калия почками, а у больных АГ — с содержанием ионов калия плазмы крови.

5. И у лиц с НАД, и у больных АГ увеличение диуреза в ответ на ПЭН связано с увеличением выведения почками ионов натрия и калия. У больных АГ после ПЭН отмечается нарушение гипертензивного диуреза и натрийуреза: уменьшение выведения жидкости и увеличение элементарного натрия плазмы крови.

Конфликт интересов / Conflict of interest

Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.

Список литературы / References

1. Мясников А. Л. Гипертоническая болезнь и атеросклероз. М.: Медицина, 1965. 589 с. [Myasnikov AL. Hypertensive heart disease and atherosclerosis. M.: Medicine, 1965. 589 p. In Russian].
2. Гайтон А. К., Холл Дж. Э. Медицинская физиология/пер. с англ. под ред. В. И. Кобрин. М.: Изд-во «Логосфера», 2008. 235–253, 378–395 с. [Guyton AK, Hall GE. Medical physiology. Trans. from English by Kobrin VI. M.: Logosfera, 2008. 235–253, 378–395 pp. In Russian].
3. Якименко Е. А., Дець В. В., Артеменко А. В. Роль минеральных ионов K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} в этиологии и патогенезе артериальной гипертензии. *Врачебное дело*. 2000;6:13–18. [Yakimenko EA, Dets VV, Artemenko AV. Role of mineral ions K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} in the etiology and pathogenesis of hypertension. *Vrachebnoye Delo = Medical Business*. 2000;6:13–18. In Russian].
4. Horacio J, Adroque MD, Nicolaos E, Madias MD. Sodium and potassium in the pathogenesis of hypertension. *N Engl J Med*. 2007;356(19):12965–78.

5. Krishna G. Effect of potassium intake on blood pressure. *J Am Soc Nephrol*. 1990;1(1):43–52.

6. He J, Gu D, Chen J, Jaquish CE, Rao DC, Hixson JE et al. Gender difference in blood pressure responses to dietary sodium intervention in the GenSalt study. *J Hypertens*. 2009;27(1):48–54.

7. Бабкин А. П., Гладких В. В., Першуков И. В. Чувствительность к соли больных артериальной гипертензией. *Кардиология*. 2010;9:57–62. [Babkin AP, Gladkih VV, Pershukov IV. Sensibility to salt in hypertensive patients. *Kardiologiya*. 2010;9:57–62. In Russian].

8. Котова О. В., Рябоконт И. В. Патогенетическая роль дефицита калия и магния в развитии неврологических заболеваний. *РМЖ. Неврология*. 2012;29:1486–1492. [Kotova OV, Ryabokon IV. Patogenetic role of potassium and magnesium deficiency in the development of neurological diseases. *Russkiy Meditsinskiy Zhurnal. Nevrologiya = Russian Medical Journal. Neurology*. 2012;29:1486–1492. In Russian].

9. Тогузов Р. Т., Соколова М. М., Савина М. И. Современные методы определения компонентов минерального обмена в биологических образцах. *Клиническая лабораторная диагностика*. 2007;9:81. [Torguzov RT, Sokolova MM, Savina MI. Modern methods of determining the components of mineral metabolism in biological samples. *Klinicheskaya Laboratornaya Diagnostika = Clinical Laboratory Diagnostics*. 2007;9:81. In Russian].

10. Российское медицинское общество по артериальной гипертензии, Всероссийское общество кардиологов. Диагностика и лечение артериальной гипертензии. Москва, 2010. 12 с. [Russian medical society of arterial hypertension. Russian scientific society of cardiologists. *Diagnosis and treatment of arterial hypertension*. Moscow, 2010. 12 p. In Russian].

11. Кручинина Н. А., Черниговская С. В. Сравнительная оценка факторов риска сердечных катастроф и новых случаев ИБС у молодых мужчин, занятых напряженным умственным трудом (результаты 10-летнего проспективного наблюдения). Острая форма коронарной недостаточности. Л.: Наука, 1989. С. 98–103. [Kruchina NA, Chernigovskaya SV. Comparative evaluation of risk factors for cardiovascular accidents and new cases of IHD in young men engaged in intense brainwork (the results of a 10-year prospective survey). *Acute form of Coronary Insufficiency*. Leningrad: Science, 1989. P. 98–103. In Russian].

12. Кручинина Н. А., Порошин Е. Е. Влияние психоэмоциональной нагрузки на сердечно-сосудистую систему и катехоламины у лиц с разным уровнем артериального давления. *Физиологический журнал СССР*. 1990;76(1):33–40. [Kruchina NA, Poroshin EE. The affect of psychological and emotional stress onto the cardiovascular system and catecholamines in patients with different levels of blood pressure. *Fiziologicheskiy Zhurnal SSSR = Physiological Journal of the USSR*. 1990;76(1):33–40. In Russian].

13. Ганелина И. Е., Кручинина Н. А., Маслова М. Н., Панов А. А., Порошин Е. Е. Изменение водно- и ионовывделительной функции почки и физико-химического состояния одновалентных катионов плазмы крови у больных гипертензивной болезнью при психоэмоциональной нагрузке. *Артериальная гипертензия*. 2012;18(5):406–411. [Ganelina IE, Kruchina NA, Maslova MN, Panov AA, Poroshin EE. Change of water- and ions extraction function of the kidney and physico-chemical state of monovalent cations of blood plasma in patients with hypertension under psychoemotional stress. *Arterial'naya Gipertenziya = Arterial Hypertension*. 2012;18(5):406–411. In Russian].

Информация об авторах

Кручинина Наталья Алексеевна — кандидат медицинских наук, врач-кардиолог МСЧ ФГУП ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова;

Ганелина Ирина Ефимовна — доктор медицинских наук, профессор ФГБОУН «Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И. М. Сеченова» РАН;

Панов Александр Александрович — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник ФГБУН «Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И. М. Сеченова» РАН;

Порошин Евгений Евгеньевич — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского».

Author information

Nataliia A. Krouchinina, MD, PhD, Krylov State Research Centre;

Irina E. Ganelina, MD, PhD, DSc, Professor, Institution Evolution Physiology and Biochemistry n. a. J. M. Sechenov;

Aleksandr A. Panov, PhD in Biology Sciences, Senior Researcher, Institution Evolution Physiology and Biochemistry n. a. J. M. Sechenov;

Evgeniy E. Poroshin, PhD, (Geology and Mineralogy), Senior Researcher, A. P. Karpinsky Russian Geological Research Institute.