

УДК 616-534.292

DOI: 10.24884/1682-6655-2020-19-4-12-19

И. Н. МУШКАМБАРОВ<sup>1</sup>, Н. Ф. БЕРЕСТЕНЬ<sup>2</sup>,  
С. Б. ТКАЧЕНКО<sup>2</sup>

## Клинико-инструментальные корреляции локальных упругоэластических свойств грудной аорты у пациентов с коронарным атеросклерозом

<sup>1</sup> Государственное бюджетное учреждение здравоохранения «Городская клиническая больница имени С. П. Боткина» Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия  
125284, Россия, Москва, 2-й Боткинский пр-д, д. 5

<sup>2</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Россия  
125993, Россия, Москва, ул. Баррикадная, д. 2/1, стр. 1  
E-mail: loop182@rambler.ru

Статья поступила в редакцию 05.06.20; принята к печати 17.08.20

### Резюме

**Введение.** Данное исследование проведено в контексте работы по повышению эффективности эхокардиографии (Эхо-КТ) у пациентов с коронарным атеросклерозом путем оценки упругоэластических свойства грудной аорты современными ультразвуковыми технологиями. **Цель** – проанализировать корреляционные связи между ухудшением локальных упругоэластических свойств грудного отдела аорты, снижением фильтрационной функции почек, нарастанием степени гипертрофии левого желудочка, факторами риска ишемической болезни сердца у пациентов с коронарным атеросклерозом. **Материалы и методы.** В период с 2016 по 2019 г. обследованы 109 пациентов в возрасте от 39 лет до 82 лет, которые разделены на две группы по результатам инвазивной коронарографии: 64 пациента с коронарным атеросклерозом и 45 пациентов без коронарного атеросклероза. С помощью трансторакальной эхокардиографии получены коэффициент растяжимости, коэффициент податливости, модуль эластичности (жесткости) Петерсона, индекс жесткости восходящего отдела грудной аорты. Проведен анализ корреляционных связей между данными показателями, показателями факторов риска ИБС, индексом массы миокарда (ИММЛЖ), показателем скорости клубочковой фильтрации (СКФ). **Результаты.** В группе без коронарного атеросклероза – отрицательные корреляционные связи коэффициента податливости с ИММЛЖ ( $r=-0,421$ ), положительные корреляционные связи модуля эластичности (жесткости) Петерсона и индекса жесткости с ИММЛЖ ( $r=0,304$  и  $r=0,397$ ). В группе с коронарным атеросклерозом отрицательные корреляционные связи коэффициента растяжимости с ИММЛЖ ( $r=-0,331$ ), модуля эластичности (жесткости) Петерсона и индекса жесткости с СКФ ( $r=-0,473$  и  $r=-0,469$  соответственно). Положительные корреляционные связи у коэффициентов податливости и растяжимости с СКФ ( $r=0,418$  и  $r=0,473$ ), модуля эластичности (жесткости) Петерсона и индекса жесткости с ИММЛЖ ( $r=0,331$  и  $r=0,304$ ). **Заключение.** Исследование показывает взаимосвязь локальных упругоэластических свойств аорты, СКФ и степени гипертрофии миокарда левого желудочка у пациентов с коронарным атеросклерозом и эффективность технологий Эхо-КТ в их оценке.

**Ключевые слова:** эхокардиография, упругоэластические свойства, грудная аорта, тканевой доплер, коронарный атеросклероз, скорость клубочковой фильтрации, гипертрофия миокарда левого желудочка

**Для цитирования:** Мушкambarов И. Н., Берестень Н. Ф., Ткаченко С. Б. Клинико-инструментальные корреляции локальных упругоэластических свойств грудной аорты у пациентов с коронарным атеросклерозом. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2020;19(4):12–19. Doi: 10.24884/1682-6655-2020-19-4-12-19.

UDC 616-534.292

DOI: 10.24884/1682-6655-2020-19-4-12-19

I. N. MUSHKAMBAROV<sup>1</sup>, N. F. BERESTEN<sup>2</sup>,  
S. B. TKACHENKO<sup>2</sup>

## Clinical-instrumental correlations of local elastic properties of the thoracic aorta in patients with coronary atherosclerosis

<sup>1</sup> Botkin state hospital, Moscow, Russia

1, 2-nd Botkin's proezd, Moscow, Russia, 125284

<sup>2</sup> Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Moscow, Russia

2/1, str. 1, Barrikandnaya street, Moscow, Russia, 125993

E-mail: loop182@rambler.ru

Received 05.06.20; accepted 17.08.20

### Summary

**Introduction.** This is part of research with aim of increasing the effectiveness of echocardiography in patients with coronary atherosclerosis by assessing local elastic properties of the thoracic aorta using modern ultrasound technologies. **Aim.** To analyze

correlations between deterioration of local elastic properties of the thoracic aorta, impairment of renal filtration function, severity of left ventricular hypertrophy and ischemic heart disease (IHD) risk factors in patients with coronary atherosclerosis. *Materials and methods.* From 2016 to 2019, 109 patients aged 39 to 82 years, who were divided into 2 groups according to the results of invasive coronarography, were examined: 64 patients with coronary atherosclerosis and 45 patients without coronary atherosclerosis. Using transthoracic echocardiography, the following were obtained: coefficient of distensibility, compliance coefficient, Peterson's elasticity modulus, stiffness index of the ascending thoracic aorta. Analysis of correlations between these indices, indicators of IHD risk factors, left ventricular mass index (LVMI), glomerular filtration rate (GFR) was done. *Results.* Group without coronary atherosclerosis showed negative correlations of compliance coefficient with LVMI ( $r=-0.421$ ), positive correlations of Peterson's elasticity modulus and stiffness index with LVMI ( $r=0.304$ ,  $r=0.397$ ). Group with coronary atherosclerosis showed negative correlations of the coefficient of distensibility with LVMI ( $r=-0.331$ ), Peterson's elasticity modulus and stiffness index with GFR ( $r=-0.473$ ,  $r=-0.469$ ). Positive correlations were found between coefficients of compliance and distensibility with GFR ( $r=0.418$ ,  $r=0.473$ ), Peterson's elasticity modulus and the stiffness index with LVMI ( $r=0.33$ ,  $r=0.304$ ). *Conclusion.* Research reveals relationship between the local elastic properties of the thoracic aorta, GFR and severity of LV hypertrophy in patients with coronary atherosclerosis and the effectiveness of echocardiographic technologies in their assessment.

**Keywords:** echocardiography, elastic properties, thoracic aorta, tissue doppler, coronary atherosclerosis, glomerular filtration rate, left ventricle hypertrophy

**For citation:** Mushkambarov I. N., Beresten N. F., Tkachenko S. B. Clinical-instrumental correlations of local elastic properties of the thoracic aorta in patients with coronary atherosclerosis. *Regional hemodynamics and microcirculation.* 2020;19(4):11–19. Doi: 10.24884/1682-6655-2020-19-4-12-19.

## Введение

В настоящее время ухудшение упругоэластических свойств артерий рассматривается как неотъемлемая часть сердечно-сосудистых заболеваний [1, 2]. По мнению ряда авторов [3, 4], ухудшение упругоэластических свойств аорты является не только причиной таких сердечно-сосудистых заболеваний, как артериальная гипертензия, атеросклероз, хроническая почечная недостаточность, но и причиной таких сердечно-сосудистых осложнений, как инфаркт и инсульт. В силу того, что в настоящее время накоплены сведения о взаимосвязи степени ухудшения упругоэластических свойств грудного отдела аорты с атеросклеротическим поражением коронарных артерий, отдельный интерес представляет оценка упругоэластических свойств аорты у пациентов с гемодинамически значимым коронарным атеросклерозом [5]. Основной массив данных в структуре исследований упругоэластических свойств артерий принадлежит анализу скорости распространения пульсовой волны (СРПВ). Однако статистические данные об использовании в Российской Федерации СРПВ у пациентов с коронарным атеросклерозом, как и данные о распространении данной методики, отсутствуют. В нашем исследовании мы использовали возможности эхокардиографии (Эхо-КГ) для оценки стандартных локальных показателей упругоэластических свойств восходящего отдела грудной аорты, по-новому используя комбинацию тканевой цветовой доплерографии и стандартного М-режима.

Данное исследование проходило в контексте работы по повышению эффективности Эхо-КГ у пациентов с коронарным атеросклерозом путем оценки упругоэластических свойства грудной аорты современными ультразвуковыми технологиями. Ранее нами были опубликованы данные [6] о том, что ухудшение показателей упругоэластических свойств грудного отдела аорты ассоциировано с наличием коронарного атеросклероза. Упругоэластические свойства грудной аорты в работе исследовались по трем направлениями: стандартные локальные показатели упругоэластических свойств восходящего отдела грудной аорты (коэффициент растяжимости, коэффициент податливости, индекс эластичности

(жесткости) Петерсона, индекс жесткости), скоростные показатели движения ближней стенки восходящего отдела аорты (S – систолическое смещение, E – раннее диастолическое смещение, A – позднее диастолическое смещение), скорость распространения потока в нисходящей аорты, оцененная с помощью цветового М-режима. По мере анализа данных работы были выявлены корреляционные связи между ухудшением стандартных локальных показателей упругоэластических свойств восходящей аорты и его вероятными гемодинамическими последствиями – снижением фильтрационной функции почек, нарастание степени гипертрофии миокарда левого желудочка (ЛЖ). Скоростные показатели движения ближней стенки восходящего отдела аорты и скорость распространения потока в нисходящей аорте корреляционные связи со степенью гипертрофии ЛЖ и функцией почек не показали и в данное исследование включены не были.

**Цель** исследования – проанализировать корреляционные связи между ухудшением локальных упругоэластических свойств грудного отдела аорты, снижением фильтрационной функции почек, нарастанием степени гипертрофии левого желудочка, факторами риска ишемической болезни сердца (ИБС) у пациентов с коронарным атеросклерозом.

## Материалы и методы исследования

Проведено обсервационное аналитическое поперечное клиническое исследование на базе отделений кардиохирургии и ультразвуковой диагностики ГКБ им. С. П. Боткина ДЗ Москвы в период с 2016 по 2019 г. В исследование включены данные 109 пациентов, которые были госпитализированы в отделение кардиохирургии для проведения диагностической коронарографии либо плановой реваскуляризации миокарда. В течение госпитализации им проведена эхокардиография с оценкой локальных упругоэластических свойств восходящего отдела грудной аорты. При госпитализации для плановой реваскуляризации миокарда, условием было проведение эхокардиографии до реваскуляризации.

Критерии включения: подписанная форма информированного согласия; возраст 18 лет и старше; проведение инвазивной коронарографии в течение

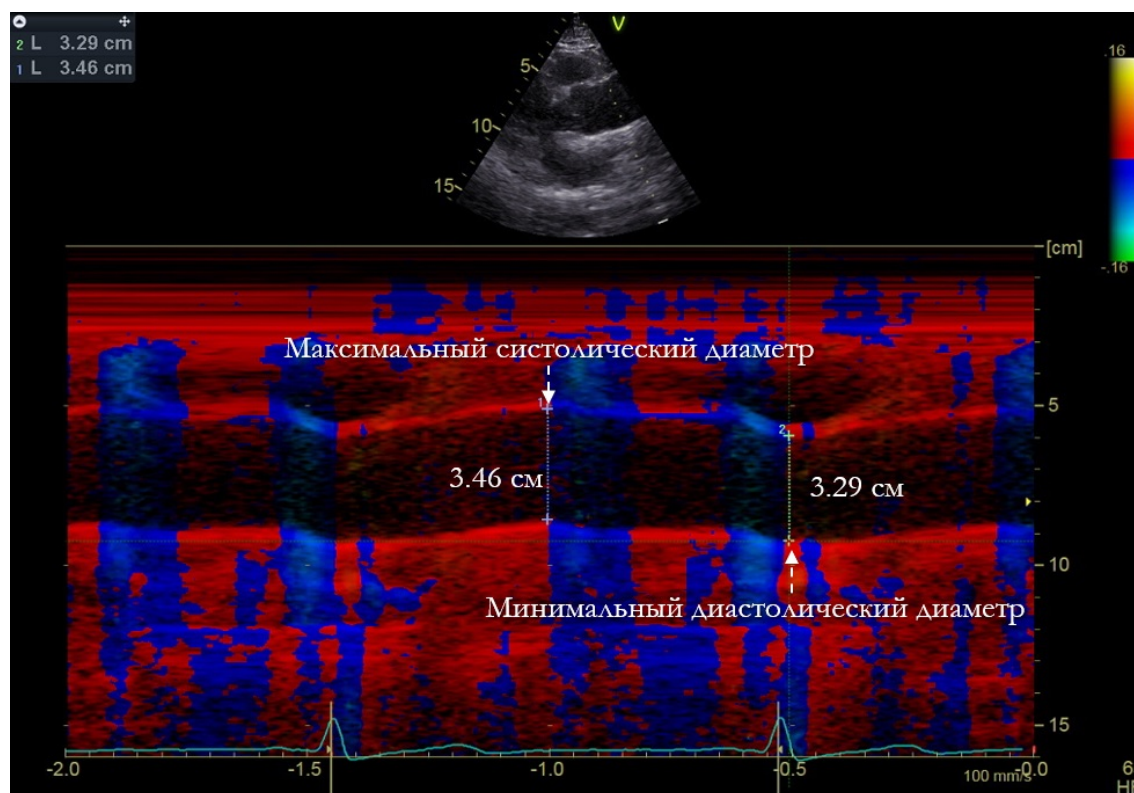


Рис. 1. Измерение максимального систолического и минимального диастолического диаметров. Восходящий отдел грудной аорты 3 см над уровнем аортального клапана (модифицированная парастеральная позиция по длинной оси)

Fig. 1. Measurement of maximal systolic and minimal diastolic diameters. Ascending aorta 3 cm above the level of the aortic valve (modified parasternal long axis view)

последних 6 месяцев. Критерии невключения: подтвержденные медицинской документацией осложнения коронарного атеросклероза, диагностированные в соответствии с международными рекомендациями (инфаркт миокарда); предшествующее оперативное лечение атеросклеротического поражения коронарных артерий; электрокардиостимуляция; постоянная форма фибрилляции предсердий; гемодинамически значимые клапанные пороки; неишемические кардиомиопатии; аневризма восходящего отдела аорты ( $>45$  мм); наличие зон нарушения локальной сократимости в покое; фракция выброса в покое  $<50\%$ ; врожденные пороки сердца (гемодинамически значимые); предшествующие операции на сердце (за исключением радиочастотной абляции); отсутствие данных инвазивной ангиографии; анамнестические данные о перенесенном гломерулонефрите, наследственном заболевании почек, мальформации, аутоиммунном заболевании с поражением почек, повторяющихся мочевых инфекциях, обструктивном нарушении уродинамики; прием препаратов, снижающих скорость клубочковой фильтрации (СКФ); сахарный диабет, диагностированный до поступления в стационар.

Всем пациентам была проведена стандартная трансторакальная эхокардиография, дополненная оценкой локальных упругоэластических свойств грудной аорты.

Трансторакальная эхокардиография (Эхо-КГ) проводилась в М-/В- и доплеровских режимах по стандартной методике на ультразвуковом сканере VIVID E90 (GE, США), Aloka prosound alpha 7 (Aloka,

Япония) с использованием матричного секторного фазированного датчика 1–4 МГц с синхронной записью монитрного отведения электрокардиограммы (ЭКГ). При Эхо-КГ используются стандартные эхокардиографические позиции [7].

Исследование восходящего отдела грудной аорты проводилось из модифицированной левой парастеральной позиции, используемой для исследования по длинной оси левого желудочка. Модифицированной левой парастеральной позицией называется позиция на одно межреберье выше стандартной парастеральной позиции по длинной оси левого желудочка. В сочетании М-режима и тканевой цветовой доплерографии измеряется максимальный систолический диаметр восходящего отдела грудной аорты ( $D_s$ ) и минимальный диастолический диаметр восходящего отдела грудной аорты ( $D_d$ ) за 3 последовательных сердечных цикла при скорости развертки 50–100 мм/с при параллельной записи ЭКГ с курсором, перпендикулярным к стенке сосуда. За диаметр принимается расстояние между внутренними поверхностями ближней и дальней стенок восходящего отдела грудной аорты. Максимальный систолический диаметр измеряется на границе перехода красного цвета тканевой цветовой доплерографии в синий, что отображает окончание движения и максимальное смещение восходящего отдела грудной аорты. Минимальный диастолический диаметр измеряется на границе перехода синего цвета тканевой цветовой доплерографии в красный, что отображает окончание движения и максимальное смещение восходящего



отдела грудной аорты. Измерение диаметра восходящего отдела грудной аорты проводится на участке на 3 см выше фиброзного кольца аортального клапана (рис. 1).

Особенностью нашего нового метода явилось определение точек для измерения максимального систолического и минимального диастолического диаметров восходящей аорты с помощью цветового тканевого доплера. Преимуществом данного метода является то, что с помощью визуализации направления движения стенок восходящей аорты можно напрямую наблюдать адаптацию восходящей аорты к колебанию давления, обусловленного интермиттирующим желудочковым выбросом, и, таким образом, выбрать наилучшие точки для измерения максимального и минимального диаметров. При традиционной ориентации на ЭКГ определяются электрические, а не механические систола и диастола, в случае с восходящей аортой не учитывается расстояние между точками электрической регистрации ЭКГ и измерением диаметров восходящей аорты, а следовательно, и разница во времени между фактом электрической систолы или диастолы левого желудочка и демпфированием восходящей аортой колебаний давления. Стоит также отметить, что в рутинной клинической практике синхронизация с ЭКГ используется далеко не всегда, что дает данной методике дополнительное преимущество.

У всех пациентов непосредственно перед эхокардиографией оценивался уровень клинического систолического артериального давления (САД), диастолического артериального давления (ДАД), определяемый по методу Короткова сфигманометром на плечевой артерии, в положении сидя, трижды, с интервалом 1 мин, учитывалось среднее значение АД. Далее рассчитывался уровень пульсового артериального давления (ПАД) по формуле:  $ПАД = САД - ДАД$ .

Используя полученные значения систолического и диастолического диаметра восходящего отдела грудной аорты, артериального давления, вычисляли стандартные показатели упругоэластических свойств аорты, предложенные на Первой Международной конференции согласия, прошедшей в Париже в 2000 г. под председательством М. Safar и Е. Frohlich: коэффициент растяжимости ( $CD = 2\Delta D / (D_d \cdot \Delta P_d)$ ), коэффициент податливости ( $CS = \pi \cdot (D_c^2 - D_d^2) / 4 \cdot \Delta P_d$ ), модуль эластичности (жесткости) Петерсона ( $E_p = \Delta P_d \cdot D_d / \Delta D$ ), индекс жесткости ( $SI = \ln(САД/ДАД) / ((D_c - D_d) / D_d)$ ) [8].

С помощью данных, полученных при проведении Эхо-КГ, рассчитывалась масса миокарда ЛЖ по формуле:  $ММЛЖ = 0,8 - 1,04 \cdot [ТМЖП_d + КДР_3 + ТСЛЖ_d] \cdot 3 - КДР_3 + 0,6$ . Далее рассчитывался индекс массы миокарда левого желудочка по формуле:  $ИММЛЖ = ММЛЖ / \text{площадь поверхности тела (ППТ)}$  [7].

Используя лабораторные данные, скорость клубочковой фильтрации рассчитывали по формулам [9]:

$СКФ = 144 \cdot (\text{креатинин}/0,7) - 0,329 \cdot (0,993)^{\text{возраст}}$  (для женщин с уровнем креатинина  $\leq 62$  ммоль/л);

$СКФ = 144 \cdot (\text{креатинин}/0,7) - 0,329 \cdot (0,993)^{\text{возраст}}$  (для женщин с уровнем креатинина  $> 62$  ммоль/л);

$СКФ = 141 \cdot (\text{креатинин}/0,7) - 0,411 \cdot (0,993)^{\text{возраст}}$  (для женщин с уровнем креатинина  $\leq 80$  ммоль/л);

$СКФ = 141 \cdot (\text{креатинин}/0,7) - 1,209 \cdot (0,993)^{\text{возраст}}$  (для женщин с уровнем креатинина  $> 80$  ммоль/л).

Пациенты разделены на две группы по результатам инвазивной коронарографии: 64 пациента с коронарным атеросклерозом и 45 пациентов без ангиографических признаков коронарного атеросклероза. Дополнительная градация по степени поражения коронарных артерий в контексте данного исследования не проводилась по причине того, что необходимой точкой сопоставления мы выбрали наличие субстрата для ишемической болезни сердца – гемодинамически значимого стеноза коронарных артерий. В группу пациентов с коронарным атеросклерозом попали пациенты со стенозом  $\geq 50\%$ , который может быть субстратом ИБС. Создание дополнительных подгрупп по возрасту в данном исследовании не проводилось, так как для достоверности исследования был выбран «золотой стандарт» диагностики ИБС с наибольшей доказательной базой – инвазивная коронарография [10]. Пациенты для данного исследования отбирались клиническими специалистами по наличию показаний. Таким образом, пациенты без факторов риска ИБС в данное исследование не попадали. Выделение возраста как основы для формирования подгрупп дискриминировало бы воздействие остальных факторов риска. Поэтому возраст был включен в корреляционный анализ, а не в критерий формирования подгрупп. В то же время возраст в группах статистически значимо не различался, что создавало равные условия для анализа. Влияние медикаментозной терапии на показатели упругоэластических свойств грудной аорты не было предметом настоящего исследования, так как формат поперечного клинического исследования не позволяет выявлять медикаментозные влияния. Однако в нашем исследовании, по аналогии с нагрузочными тестами для верификации ИБС, перед проведением эхокардиографии пациенты выдерживали временной интервал без терапии.

Данные эхокардиографии, коронарографии, лабораторные данные вносили в регистр пациентов, который велся в программе «Microsoft Excel». Расчет показателей упругоэластических свойств также осуществляли с помощью программы «Microsoft Excel».

Одобрение на выполнение работы получено в Этическом комитете ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России (протокол № 8 от 10.10.2018 г.). Исследование выполнено в соответствии со стандартами принципами Хельсинкской декларации и надлежащей клинической практики (Good Clinical Practice). Все пациенты подписали добровольное информированное согласие на участие в исследовании.

Обработка полученных данных проводилась с использованием программы «Statistica» (версии 12.0, StatSoft Inc., США). Ввиду неподтверждения гипотезы о нормальном распределении для выявления

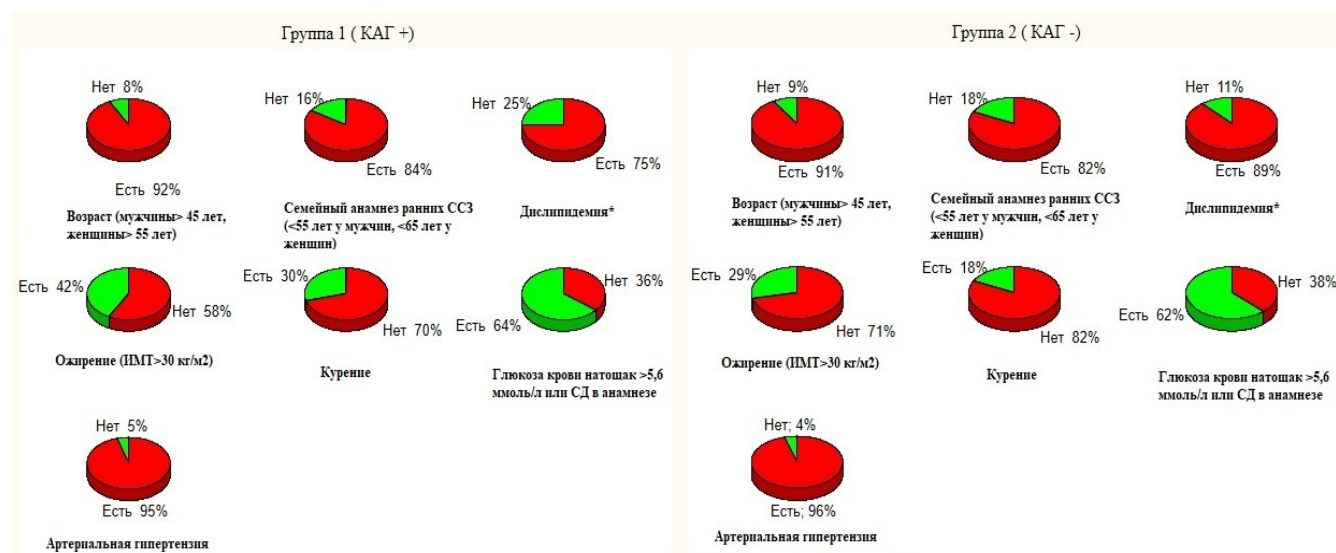


Рис. 2. Распространенность факторов риска в исследованных группах

Fig. 2. Frequency of CAD risk factors in groups

корреляционных связей применялся коэффициент корреляции Спирмена. Критический уровень значимости при проверке статистических гипотез принимался равным 0,05.

### Результаты исследования и их обсуждение

Всего были обследованы 109 пациентов, 50 женщин (46 %) и 59 мужчин (54 %), в возрасте от 39 лет до 82 лет (средний возраст –  $65 \pm 9$  года, медиана – 66 лет).

В группе 1 из 64 пациентов: 41 мужчина (64 %) и 23 женщины (36 %). Средний возраст всей группы –  $66 \pm 8$  лет (медиана 66 лет), средний возраст мужчин в группе –  $65 \pm 8$  лет (медиана – 65 лет), средний возраст женщин в группе –  $67 \pm 8$  лет (медиана – 68 лет). Среднее САД –  $130 \pm 16$  мм рт. ст., среднее ДАД –  $76 \pm 9$  мм рт. ст., среднее ПАД –  $55 \pm 14$  мм рт. ст., средняя ППТ –  $1,98 \pm 0,18$  м².

В группе 2 из 45 пациентов: 18 мужчин (40 %) и 27 женщин (60 %). Средний возраст всей группы –  $64 \pm 9$  лет (медиана 66 лет), средний возраст мужчин –  $60 \pm 11$  лет (62 года), средний возраст женщин –  $66 \pm 7$  лет (медиана – 67 лет). Среднее САД –  $130 \pm 8$  мм рт. ст., среднее ДАД –  $77 \pm 8$  мм рт. ст., среднее –  $54 \pm 12$  мм рт. ст. средняя – ППТ  $1,93 \pm 0,21$  м².

Данные о распространенности факторов риска в исследованных группах показаны на рис. 2.

Ввиду того, что степень артериальной гипертензии зачастую попадает в диагноз на основании данных опроса пациента и его самостоятельных измерений, точность и условия которых неизвестны, данный фактор не был включен в анализ. Вместо этого были включены данные о показателях давления, которые были измерены исследователями и отвечали стандартам, описанным выше.

Так как данное исследование по своему дизайну и целям направлено не на сравнение показателей двух групп, а на анализ корреляционных связей в двух группах, значения показателей в данном исследовании не приведено. Разницу показателей в двух группах мы публиковали ранее [6].

По результатам Эхо-КГ был проведен анализ корреляционных связей между стандартными локальными показателями упругоэластических свойств восходящего отдела грудной аорты, показателями гипертрофии ЛЖ, показателем СКФ (таблица).

В группе пациентов без коронарного атеросклероза выявлены статистически достоверные отрицательные корреляционные связи коэффициента податливости с САД ( $r = -0,316$ ), ПАД ( $r = -0,415$ ), возрастом пациента ( $r = -0,355$ ); коэффициента растяжимости с САД ( $r = -0,436$ ), ПАД ( $r = -0,568$ ), возрастом пациента ( $r = -0,365$ ), ИММЛЖ ( $r = -0,421$ ). Статистически достоверные положительные корреляционные связи выявлены у модуля эластичности (жесткости) Петерсона с САД ( $r = 0,436$ ), ПАД ( $r = 0,568$ ), возрастом пациента ( $r = 0,365$ ), индексом массы миокарда (ИММ) ЛЖ ( $r = 0,304$ ); индекса жесткости с ПАД ( $r = 0,484$ ), возрастом пациента ( $r = 0,383$ ), ИММЛЖ ( $r = 0,397$ ).

В группе пациентов с коронарным атеросклерозом выявлены статистически достоверные отрицательные корреляционные связи коэффициента податливости с САД ( $r = -0,403$ ), ПАД ( $r = -0,415$ ), возрастом пациента ( $r = -0,405$ ); коэффициента растяжимости – с САД ( $r = -0,312$ ), ПАД ( $r = -0,271$ ), возрастом пациента ( $r = -0,344$ ), ИММЛЖ ( $r = -0,331$ ); модуля эластичности (жесткости) Петерсона – с СКФ ( $r = -0,473$ ); индекса жесткости – с СКФ ( $r = -0,469$ ). Положительные статистически достоверные корреляционные связи в данной группе выявлены у коэффициента податливости с СКФ ( $r = 0,418$ ); коэффициента растяжимости – с СКФ ( $r = 0,473$ ); модуля эластичности (жесткости) Петерсона – с САД ( $r = 0,312$ ), ПАД ( $r = 0,271$ ), возрастом пациента ( $r = 0,365$ ), ИММЛЖ ( $r = 0,331$ ); индекса жесткости – с возрастом пациента ( $r = 0,293$ ), ИММЛЖ ( $r = 0,304$ ).

Корреляционные связи между стандартными локальными показателями упругоэластических свойств восходящего отдела грудной аорты и ДАД, общим холестерином, ЛПНП, ЛПВП, триглицеридами, глюкозой крови, ИМТ не выявлены ни в одной из групп.

Корреляция ухудшения фильтрационной функции почек с ухудшением локальных стандартных

## Анализ корреляционных связей показателей упругоэластических свойств восходящего отдела грудной аорты

## Analysis of correlations of elastic properties of the ascending thoracic aorta

Показатель	Коэффициент податливости (СС), см·мм рт. ст. <sup>-1</sup> ·10 <sup>3</sup>		Коэффициент растяжимости (CD), мм рт. ст. <sup>-1</sup> ·10 <sup>-1</sup>		Модуль эластичности (жесткости) Петерсона, мм рт. ст.		Индекс жесткости	
	группа 1 (КАГ+) n=64	группа 2 (КАГ-) n=45	группа 1 (КАГ+) n=64	группа 2 (КАГ-) n=45	группа 1 (КАГ+) n=64	группа 2 (КАГ-) n=45	группа 1 (КАГ+) n=64	группа 2 (КАГ-) n=45
Систолическое АД (САД), мм рт. ст.	<b>-0,403*</b>	<b>-0,316*</b>	<b>-0,312*</b>	<b>-0,436*</b>	<b>0,312*</b>	<b>0,436*</b>	0,115	0,263
Диастолическое АД (ДАД), мм рт. ст.	-0,146	0,176	-0,189	0,089	0,189	-0,089	-0,012	-0,262
Величина пульсового АД (ПАД)	<b>-0,415*</b>	<b>-0,509*</b>	<b>-0,271*</b>	<b>-0,568*</b>	<b>0,271*</b>	<b>0,568*</b>	0,147	<b>0,484*</b>
Возраст	<b>-0,405*</b>	<b>-0,355*</b>	<b>-0,344*</b>	<b>-0,365</b>	<b>0,344*</b>	<b>0,365*</b>	<b>0,293*</b>	<b>0,383*</b>
Общий холестерин, ммоль/л	-0,006	-0,116	-0,014	0,001	0,014	-0,001	-0,021	0,007
ЛПНП, ммоль/л	-0,002	-0,162	-0,022	-0,035	0,022	0,035	-0,006	0,026
ЛПВП, ммоль/л	-0,091	-0,029	0,135	0,043	-0,135	-0,043	-0,176	-0,038
Триглицериды, ммоль/л	-0,089	-0,088	-0,111	-0,147	0,111	0,147	0,066	0,155
Глюкоза крови натощак, ммоль/л	0,012	-0,057	0,0328	-0,185	-0,033	0,185	-0,041	0,152
ИММЛЖ, г/м <sup>2</sup>	<b>-0,231</b>	<b>-0,153</b>	<b>-0,331*</b>	<b>-0,421*</b>	<b>0,331*</b>	<b>0,421*</b>	<b>0,304*</b>	<b>0,397</b>
СКФ (CKD-EPI Creatinine Equation 2009), мл/мин/1,73 м <sup>2</sup>	<b>0,418*</b>	0,269	<b>0,473*</b>	0,106	<b>-0,473*</b>	-0,106	<b>-0,469*</b>	-0,078
Индекс массы тела (ИМТ), кг/м <sup>2</sup>	-0,015	-0,040	0,012	-0,045	0,078	0,045	-0,131	0,004

Примечание: \* – статистическая достоверность (p<0,05); ЛПНП – липопротеины низкой плотности; ЛПВП – липопротеины высокой плотности; СКФ – скорость клубочковой фильтрации; ИММЛЖ – индекс массы миокарда левого желудочка.

показателей упругоэластических свойств грудной аорты наблюдалась в группе пациентов с коронарным атеросклерозом и не наблюдалась в группе без коронарного атеросклероза. Корреляция нарастания степени гипертрофии ЛЖ с ухудшением данных показателей наблюдалась в обеих группах. В группе пациентов с коронарным атеросклерозом степень корреляции с выраженностью гипертрофии ЛЖ снижалась.

У нашего исследования есть два основных вывода. Во-первых, ухудшение Эхо-КГ показателей локальных упругоэластических свойств грудной аорты, ассоциированное с коронарным атеросклерозом, коррелирует со снижением СКФ. Во-вторых, данное ухудшение в меньшей степени ассоциировано с нарастанием степени гипертрофии ЛЖ у пациентов с коронарным атеросклерозом.

T. Woodard et al. [11] показали, что ухудшение упругоэластических свойств аорты может стать причиной снижения СКФ за счет чрезмерного увеличения пульсации потока, направленного в чувствительную почечную микроциркуляторную сеть. Наше исследование подтверждает взаимосвязь упругоэластических свойств аорты с СКФ, однако T. Woodard использовали для оценки упругоэластических свойств аорты СРПВ и не исследовали снижение функции почек у пациентов с коронарным атеросклерозом. D. Fukuda et al. [12] рассмотрели связь коронарного атеросклероза с ухудшением упругоэластических свойств через снижение коронарного кровотока. Наше исследование напрямую не рассматривало связь коронарного

атеросклероза и ухудшения локальных упругоэластических свойств грудной аорты, однако разница в корреляционных связях двух исследованных групп косвенно указывает на это.

B. Güngör et al. [13] использовали Эхо-КГ для оценки локальных упругоэластических свойств грудной аорты. Наше исследование подтверждает возможности Эхо-КГ в диагностике локальных упругоэластических свойств грудного отдела аорты. Однако B. Güngör et al. не оценивали корреляционные связи с СКФ и степенью гипертрофии ЛЖ и не использовали возможности цветового тканевого доплера для оценки диаметров. Также стоит отметить несколько существенных ограничений в исследовании B. Güngör et al. Отсутствие ИБС в контрольной группе не доказано так как этот вывод сделан на основании данных физикального осмотра, ЭКГ покоя и Эхо-КГ покоя, что не может полностью исключить ИБС. Исследование проведено на ограниченной выборке относительно молодых людей (средний возраст – 35 лет). Сделано это для исключения влияния возраста, гипертонической болезни и сахарного диабета на упругоэластические свойства аорты и определения «чистой корреляции ИБС и упругоэластических свойств аорты». Ограничение выборки в данном случае не отражает «чистой корреляции», а лишь элиминирует один из факторов риска нарушения упругоэластических свойств аорты. При анализе группы с ИБС: 20 % страдают артериальной гипертензией, 8 % – сахарным диабетом, а 78 % курят.



Таким образом, выборка ограничена относительно молодыми, в основном курящими людьми, что весьма специфично. Исследователями особо отмечается приблизительно равное число курящих в группах (78 % в группе с ИБС и 68 % в группе без ИБС), однако в группе с ИБС все перенесли инфаркт миокарда, который, с учетом возраста, часто является первым проявлением ИБС. Кажется вероятным, что в контрольной группе пациенты еще просто не перенесли свое первое проявление ИБС, а необходимые диагностические исследования для исключения ИБС проведены не были. Также единицы измерения показателей локальных упругоэластических свойств не соответствовали рекомендованным на Первой Международной конференции согласия, прошедшей в Париже в 2000 г. под председательством М. Safar и Е. Frohlich [8].

Причиной развития гипертрофии ЛЖ считают длительные гемодинамические и нейрогуморальные нарушения при артериальной гипертензии [14]. Е. В. Плохова и др. [15] указывают на возможность возрастного характера гипертрофии ЛЖ без значимой артериальной гипертензии. И артериальная гипертензия, и возраст являются факторами, ухудшающими упругоэластические свойства аорты. В то же время ухудшение упругоэластических свойств может стать причиной систолической артериальной гипертензии [2, 3]. Наше исследование подтверждает взаимосвязь упругоэластических свойств и степени гипертрофии миокарда ЛЖ. Снижение степени корреляции у пациентов с коронарным атеросклерозом может быть связано с достижением некоего уровня ухудшения, после которого гемодинамические нарушения далее не прогрессируют, как и их гемодинамические последствия. Однако данное предположение требует дополнительных исследований.

Дизайн поперечного клинического исследования позволяет нам установить ассоциированность, но не позволяет установить причинно-следственную связь между ухудшением локальных упругоэластических свойств грудного отдела аорты, СКФ и коронарным атеросклерозом. Также исследование не может рекомендовать использование в клинической практике данных показателей локальных упругоэластических свойств грудной аорты для оценки риска или степени выраженности поражения почек или степени прогрессирования гипертрофии ЛЖ.

### Заключение

Результаты нашего исследования показывают взаимосвязь упругоэластических свойств аорты, СКФ и степени гипертрофии миокарда ЛЖ у пациентов с коронарным атеросклерозом. Широкодоступные технологии Эхо-КГ показывают эффективность в оценке локальных упругоэластических свойств восходящего отдела аорты. Их использование позволит соотносить данные показатели с другими маркерами сердечно-сосудистых заболеваний и осложнений. Требуется дополнительные исследования для оценки причинно-следственной связи между упругоэластическими свойствами грудной аорты, СКФ и коронарным атеросклерозом.

### Конфликт интересов/Conflict of interest

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов. / The authors declare no conflict of interest.

### Литература / References

1. Lee JG, Joo SJ. Arterial stiffness and cardiovascular risk. *Korean J Intern Med.* 2019;34(3):504–506. Doi: 10.3904/kjim.2019.110.
2. Cecelja M, Chowienzyk P. Role of arterial stiffness in cardiovascular disease. *JRSM Cardiovascular Disease.* 2012;1(4):1–10. Doi: 10.1258/cvd.2012.012016.
3. Cheol UC, Eun BP, Soon YS, Jin WK, Eung JK, Seung-Woon R, Hong SS, Dong JO, Chang GP. Impact of aortic stiffness on cardiovascular disease in patients with chest pain: assessment with direct intra-arterial measurement. *American Journal of Hypertension.* 2007;20(11):1163–1169. Doi: 10.1016/j.amjhyper.2007.07.004.
4. Mikael LR, Paiva AMG, Gomes MM. Vascular Aging and Arterial Stiffness. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia.* 2017;109(3):253–258. Doi: 10.36660/ijcs.20190068.
5. Bonarjee VVS. Arterial Stiffness: A Prognostic Marker in Coronary Heart Disease. *Available Methods and Clinical Application. Front Cardiovasc Med.* 2018;5:64. Doi: 10.3389/fcvm.2018.00064.
6. Мушкамбаров И. Н., Берестень Н. Ф., Ткаченко С. Б. и др. Современные возможности эхокардиографии в обследовании пациентов с ишемической болезнью сердца // *Соврем. проблемы науки и образования.* – 2020. – № 2. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=29600> (дата обращения: 11.04.2020). [Mushkambarov IN, Beresten NF, Tkachenko SB, Romanov SN, Kolesnikov VN. Modern Opportunities of echocardiography in the examination of patients with coronary heart disease. *Modern problems of science and education.* 2020;2. Available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=29600> (accessed 11.04.2020). (In Russ.)]. Doi: 10.17513/spno.29600.
7. Отто К. Клиническая эхокардиография: практ. рук. / пер. с англ.; под ред. М. М. Галагудзы, Т. М. Домницкой, М. М. Зеленикина, Т. Б. Кулагиной, В. С. Никуфорова, В. А. Сандрикова. – М.: Логосфера, 2019. – 1352 с. [Otto K. *Klinicheskaya ekhokardiografiya: prakticheskoe rukovodstvo.* Perevod s angl.; pod redaktsiei Galagudza M. M., Domnitskaya T. M., Zelenikin M. M., Kulagina T. Yu., Nikiforov V. S., Sandrikov V. A. Moscow, Logosfera, 2019:1352. (In Russ.)].
8. O'Rourke MF, Staessen JA, Vlachopoulos C, Duprez D. Clinical applications of arterial stiffness: definitions and reference values. *American journal of hypertension.* 2002;15(5):426–44. Doi: 10.1016/s0895-7061(01)02319-6.
9. Levey AS, Stevens LA, Schmid CH. A new equation to estimate glomerular filtration rate [published correction appears in *Ann Intern Med.* 2011 Sep 20;155(6):408]. *Ann Intern Med.* 2009;150(9):604–612. Doi: 10.7326/0003-4819-155-6-201109200-00024.
10. Masoud AM, Topping WT, Lynch ML. Diagnostic yield and accuracy of CT coronary angiography compared to invasive coronary angiography: real world data from a district general hospital in the United Kingdom. *European Heart Journal-Cardiovascular Imaging.* 2020;21(1):319–865. Doi: 10.1093/ehjci/jez319.865.
11. Woodard T, Sigurdsson S, Gotal JD, Torjesen AA, Inker LA. Mediation analysis of aortic stiffness and renal microvascular function. *Journal of the American Society of Nephrology.* 2015;26(5):1181–1187. Doi: 10.1681/asn.2014050450.
12. Fukuda D, Yoshiyama M, Shimada K, Yamashita H, Ehara S, Nakamura Y, Kamimori K, Tanaka A, Kawarabayashi

T, Yoshikawa J. Relation between aortic stiffness and coronary flow reserve in patients with coronary artery disease. *Heart*. 2006;92:759–762. Doi: 10.1136/hrt.2005.067934.

13. Güngör B, Yılmaz H, Ekmekçi A, Özcan KS, Tijani M, Osmonov D, Karatas B, Alper AT, Mutluer FO, Gürkan U, Bolca O. Aortic stiffness is increased in patients with premature coronary artery disease: A tissue Doppler imaging study. *Journal of Cardiology*. 2014;63(3):223–229. Doi: 10.1016/j.jjcc.2013.08.008.

14. Барсуков А. В., Багаева З. В., Пронина Е. В. и др. Гипертрофия левого желудочка при эссенциальной гипертензии: актуальные вопросы патогенеза, диагностики и лечения // *Артер. гипертензия*. – 2009. – Т. 15, № 4. – С. 436–439. [Barsukov AV, Bagaeva ZV, Pronina EV, Kizyshin VP, Lokshina TR, Shustov SB. Left ventricular hypertrophy in essential hypertension: current aspects of pathogenesis, diagnosis and treatment. *Arterial'naya Gipertenziya (Arterial Hypertension)*. 2009;15(4):436–439. (In Russ.)]. Doi: 10.18705/1607-419X-2009-15-4-436-439.

15. Плохова Е. В., Акашева Д. У., Ткачева О. Н. и др. Возрастное ремоделирование миокарда левого желудочка: есть ли связь с клеточным старением? // *Кардиоваскуляр. терапия и профилактика*. – 2015. – Т. 14, № 2. – С. 52–57. [Plokhova EV, Akasheva DU, Tkacheva ON, Strazhesko ID, Dudinskaya EN, Kruglikova AS, Pykhtina VS, Agaltsov MV, Sharashkina NV, Brailova NV, Skvortsov DA, Boytsov SA. Age-related left ventricle myocardial remodeling: is there a link with normal aging? *Cardiovascular Therapy and Prevention*.

2015;14(2):52–57. (In Russ.)]. Doi: 10.15829/1728-8800-2015-2-52-57.

### Информация об авторах

**Мушкамбаров Илья Николаевич** – врач отделения ультразвуковой диагностики, ГКБ им. С. П. Боткина Департамента здравоохранения г. Москвы, Москва, Россия, e-mail: loop182@rambler.ru.

**Берестень Наталья Федоровна** – д-р мед. наук, профессор кафедры клинической физиологии и функциональной диагностики, Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования, Москва, Россия, e-mail: nberesten@yandex.ru.

**Ткаченко Сергей Борисович** – чл.-корреспондент РАН, д-р мед. наук, профессор, зав. кафедрой клинической физиологии и функциональной диагностики, Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования, Москва, Россия, e-mail: nberesten@yandex.ru.

### Authors information

**Mushkambarov Ilya N.** – MD, Ultrasound diagnostic department, Botkin Hospital, Moscow, Russia, e-mail: loop182@rambler.ru.

**Beresten Natalya F.** – MD, PHD, Chair of clinical physiology and functional diagnostic, Russian Medical Academy of Postgraduate Education, Moscow, Russia, e-mail: nberesten@yandex.ru.

**Tkachenko Sergey B.** – MD, PHD, Head of chair of clinical physiology and functional diagnostic, Russian Medical Academy of Postgraduate Education, Moscow, Russia, e-mail: nberesten@yandex.ru.