

## Особенности оценки локальных упруго-эластических свойств грудной аорты у пациентов с коронарным атеросклерозом при помощи эхокардиографии

<sup>1</sup>ГКБ им. С.П. Боткина Департамента здравоохранения г. Москва; <sup>2</sup>ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, Москва

Mushkambarov I.N., Beresten N.F., Tkachenko S.B.

### Features of the assessment of local elastic properties of the thoracic aorta in patients with coronary atherosclerosis using echocardiography

#### Резюме

Ухудшение упруго-эластических свойств артерий признается “возраст-зависимой эпидемией”, ведущей к повышению риска таких сердечно-сосудистых осложнений, как инфаркт миокарда, сердечная недостаточность, инсульт, деменция и почечная недостаточность. Несмотря на это, их оценка в реальной клинической практике крайне затруднена. На этом фоне оценка при помощи эхокардиографии является привлекательной опцией, а аорта эффективной локализацией. Было обследовано 109 пациентов и разделено на 2 группы по результатам инвазивной коронарографии: 64 пациента с коронарным атеросклерозом, 45 без коронарного атеросклероза. Всем пациентам при помощи эхокардиографии рассчитаны: коэффициент податливости, коэффициент растяжимости, модуль эластичности (жесткости) Петерсона, индекс жесткости и проведен корреляционный анализ с переменными для их расчёта. Ухудшение всех показателей упруго-эластических свойств восходящего отдела грудной аорты при коронарном атеросклерозе обусловлено уменьшением систолидиастолического прироста диаметра. Ухудшение коэффициента податливости обусловлено малым систолическим приростом диаметра на фоне увеличения пульсового АД. Ухудшение коэффициента растяжимости обусловлено увеличением диастолического диаметра на фоне увеличения пульсового АД. Ухудшение модуля эластичности (жесткости) Петерсона обусловлено увеличением диастолического диаметра на фоне увеличения пульсового АД. Во всех случаях повышение пульсового АД происходит за счет повышения систолического АД. Ухудшение индекса жесткости обусловлено увеличением как систолического, так и диастолического диаметров без влияния показателей АД.

**Ключевые слова:** эхокардиография, коронарный атеросклероз, грудная аорта, упруго-эластические свойства, тканевое доплеровское исследование, коэффициент податливости, коэффициент растяжимости, модуль эластичности Петерсона, индекс жесткости

**Для цитирования:** Мушкамбаров И.Н., Берестень Н.Ф., Ткаченко С.Б., Особенности оценки локальных упруго-эластических свойств грудной аорты у пациентов с коронарным атеросклерозом при помощи эхокардиографии, Уральский медицинский журнал, №05 (188) 2020, с. 46 -49 , DOI 10.25694/URMJ.2020.05.12

#### Summary

The deterioration of the elastic properties of arteries is recognized as an “age-dependent epidemic”, leading to an increased risk of cardiovascular complications, myocardial infarction, heart failure, stroke, dementia and renal failure. Despite this, their assessment in real clinical practice is extremely difficult. Against this background, evaluation using echocardiography is an attractive option, and the aorta is an effective localization. 109 patients were examined and divided into 2 groups according to the results of invasive coronarography: 64 patients with coronary atherosclerosis, 45 without coronary atherosclerosis. Using echocardiography, all patients were assessed for: compliance coefficient, distensibility coefficient, Peterson elastic modulus, stiffness index, and a correlation analysis with variables for their calculation was performed. The deterioration of all indices of the elastic properties of the ascending thoracic aorta in coronary atherosclerosis patients was due to decrease in systolodiastolic diameter increment. The deterioration of the compliance coefficient was due to small systolic diameter

increase accompanied by an increase in pulse blood pressure. The deterioration of the extensibility coefficient was due to diastolic diameter increase accompanied by an increase in pulse blood pressure. The deterioration of the Peterson elastic modulus was due to diastolic diameter increase accompanied by an increase in pulse blood pressure. In all cases pulse blood pressure increase was due to systolic blood pressure. The deterioration of the stiffness index was due to both systolic and diastolic diameters increase without the influence of blood pressure

**Keywords:** echocardiography, coronary atherosclerosis, thoracic aorta, elastic properties, tissue doppler, compliance coefficient, distensibility coefficient, Peterson elastic modulus, stiffness index

**For citation:** Mushkambarov I.N., Beresten N.F., Tkachenko S.B., Features of the assessment of local elastic properties of the thoracic aorta in patients with coronary atherosclerosis using echocardiography, Ural Medical Journal, No. 05 (188) 2020, p. 46 - 49, DOI 10.25694/URMJ.2020.05.12

## Введение

В последние годы всё больше внимания уделяется упруго-эластическим свойствам артерий в развитии сердечно-сосудистых заболеваний [1]. Причиной этого является то, что ухудшение упруго-эластических свойств артерий можно назвать “возраст-зависимой эпидемией”, ведущей к повышению сердечно-сосудистого риска. В основе данного процесса могут лежать как результаты процесса старения, так и многие заболевания, такие как артериальная гипертензия, диабет, атеросклероз, хроническая почечная недостаточность [2]. Непосредственными гемодинамическими последствиями ухудшения упруго-эластических свойств артерий являются: увеличение пульсового давления и изолированная систолическая артериальная гипертензия, а конечным результатом - повышение риска таких сердечно-сосудистых осложнений, как инфаркт миокарда, сердечная недостаточность, инсульт, деменция и почечная недостаточность [2,3,4].

Игнорируя несомненную ценность, оценка упруго-эластических свойств артерий достаточно редко используется в клинической практике [1,4]. Это, во многом, связано с тем, что несмотря на существование нескольких рекомендательных документов по оценке упруго-эластических свойств артерий, их применение в клинической практике крайне затруднено сложностью предлагаемых методик, отсутствием технической возможности для их определения [1].

На этом фоне, использование для этого аппаратов для рутинных ультразвуковых исследований является привлекательной опцией. Как показывают исследования, локальные упруго-эластические свойства грудной аорты могут быть определены с помощью ультразвуковой диагностики, в частности, с помощью эхокардиографии, которая является общедоступной методикой [4,5,6]. Аорта представляет собой наибольший интерес среди артерий для оценки упруго-эластических свойств по крайней мере по двум причинам: грудная и брюшная аорты вносят наибольший вклад в функцию артериального демпфирования и скорость распространения пульсовой волны в аорте является независимым предиктором прогноза в различных популяциях [7,8,9].

Одной из задач исследования авторов явилось изучить особенности стандартных показателей упруго-эластических свойств восходящего отдела грудной аорты у

пациентов с коронарным атеросклерозом, полученных с помощью режима тканевой цветовой доплерографии и M-режима.

## Материалы и методы

В исследование были включены 109 пациентов, которые проходили обследование и лечение в ГКБ им. С.П. Боткина ДЗ г. Москвы (2016-2019 гг.). Пациенты разделены на 2 группы по результатам инвазивной коронарографии: 64 пациентов с коронарным атеросклерозом и 45 пациентов без ангиографических признаков коронарного атеросклероза. Критерии включения: пациентами подписана форма информированного согласия; возраст 18 лет и старше; проведение инвазивной коронарографии в течении последних 6-и 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. Одобрение на выполнение работы получено в этическом комитете ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России. Исследование выполнено в соответствии со стандартами принципами Хельсинкской Декларации и надлежащей клинической практики (Good Clinical Practice).

Трансторакальная эхокардиография (ЭХОКГ) проводилась в M-/B- 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 мониторингового отведения ЭКГ. При ЭХОКГ используются стандартные эхокардиографические позиции.

Исследования восходящего отдела грудной аорты

проводилось из модифицированной левой парастернальной позиции, используемой для исследования по длинной оси левого желудочка.

В сочетании М-режима и тканевой цветовой доплерографии измеряется максимальный систолический диаметр восходящего отдела грудной аорты (Дс) и минимальный диастолический диаметр восходящего отдела грудной аорты (Дд) 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. Далее, используя полученные значения систолического и диастолического диаметра восходящего отдела грудной аорты, артериального давления, вычисляются стандартные показатели упруго-эластических свойств аорты, предложенные на

первой международной конференции согласия, прошедшей в Париже в 2000 г. под председательством M.Safar и E.Frohlich: коэффициент растяжимости ( $CD = 2\Delta D / D_d \times \text{ПАД}$ ), коэффициент податливости ( $CC = \pi \times (D_c^2 - D_d^2) / 4 \times \text{ПАД}$ ), модуль эластичности (жесткости) Петерсона ( $E_p = \text{ПАД} \times D_d / \Delta D$ ), индекс жесткости ( $SI = \ln(\text{САД} / \text{ДАД}) / [(D_c - D_d) / D_d]$ ) [10].

## Результаты и обсуждение

Была проведена оценка корреляционных связей между стандартными показателями упруго-эластических свойств восходящего отдела грудной аорты и переменными, используемыми для их расчёта (Табл. 1).

Коэффициент податливости в обеих группах имел отрицательную корреляцию с систолическим ( $r = -0,403$ ,  $r = -0,316$ ;  $p < 0,05$ ) и пульсовым АД ( $r = -0,415$ ,  $r = -0,509$ ;  $p < 0,05$ ) и не имел корреляционной связи с показателем диастолического АД ( $r = -0,146$ ,  $r = 0,176$ ;  $p > 0,05$ ). В тоже время, в обеих группах он не имел корреляции с минимальным диастолическим диаметром ( $r = 0,227$ ,  $r = 0,180$ ;  $p > 0,05$ ), но имел значительную положительную корреляцию с систолодиастолическим приростом диаметра ( $r = 0,718$ ,  $r = 0,732$ ;  $p < 0,05$ ) и положительную корреляцию с максимальным систолическим диаметром ( $r = 0,349$ ,  $r = 0,316$ ;  $p < 0,05$ ).

Коэффициент растяжимости в обеих группах имел отрицательную корреляцию с систолическим ( $r = -0,312$ ,  $r = -0,436$ ;  $p < 0,05$ ) и пульсовым АД ( $r = -0,271$ ,  $r = -0,568$ ;

**Таблица 1. Корреляционный анализ стандартных показателей упруго-эластических свойств восходящего отдела грудного отдела аорты и измеряемых переменных в исследуемых группах (r)**

Показатель	Коэффициент податливости (CC), см * мм.рт.ст. <sup>-1</sup> * 10 <sup>2</sup>		Коэффициент растяжимости (CD), мм.рт.ст. <sup>-1</sup> * 10 <sup>2</sup>		Модуль эластичности (жесткости) Петерсона (E <sub>p</sub> ), мм.рт.ст.		Индекс жесткости (SI)	
	Группа 1 (КАГ <sup>+</sup> ) n=64	Группа 2 (КАГ <sup>-</sup> ) n=45	Группа 1 (КАГ <sup>+</sup> ) n=64	Группа 2 (КАГ <sup>-</sup> ) n=45	Группа 1 (КАГ <sup>+</sup> ) n=64	Группа 2 (КАГ <sup>-</sup> ) n=45	Группа 1 (КАГ <sup>+</sup> ) n=64	Группа 2 (КАГ <sup>-</sup> ) n=45
Систолическое АД, 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, мм.рт.ст.	-0,146	0,176	-0,189	0,089	0,189	-0,089	-0,012	-0,262
Величина пульсового АД	<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>
Максимальный систолический диаметр (D <sub>c</sub> )	<b>0,349</b>	<b>0,316</b>	-0,199	<b>-0,326</b>	0,199	<b>0,326</b>	<b>0,264</b>	<b>0,300</b>
Минимальный диастолический диаметр (D <sub>d</sub> )	0,227	0,180	<b>-0,324</b>	<b>-0,457</b>	<b>0,324</b>	<b>0,457</b>	<b>0,387</b>	<b>0,432</b>
Систолодиастолический прирост диаметра (ΔD), см	<b>0,718</b>	<b>0,732</b>	<b>0,831</b>	<b>0,647</b>	<b>-0,831</b>	<b>-0,647</b>	<b>-0,846</b>	<b>-0,692</b>

$p < 0.05$ ) и не имел корреляционной связи с показателями диастолического АД ( $r = -0,189$ ,  $r = 0,089$ ;  $p > 0.05$ ). Так же в обеих группах он имел значительную положительную корреляцию с систолодиастолическим приростом диаметра ( $r = 0,831$ ,  $r = 0,647$ ;  $p < 0.05$ ). В группе без коронарного атеросклероза коэффициент растяжимости имел отрицательную корреляцию с максимальным систолическим ( $r = -0,326$ ;  $p < 0.05$ ) и минимальным диастолическим диаметрами ( $r = -0,457$ ;  $p < 0.05$ ). В группе с коронарным атеросклерозом он имел отрицательную корреляцию с минимальным диастолическим диаметром ( $r = -0,324$ ;  $p < 0.05$ ).

Модуль эластичности (жесткости) Петерсона в обеих группах имел положительную корреляцию с систолическим ( $r = 0,312$ ,  $r = 0,436$ ;  $p < 0.05$ ) и пульсовым АД ( $r = 0,271$ ,  $r = 0,568$ ;  $p < 0.05$ ) и не имел корреляционной связи с показателями диастолического АД ( $r = 0,189$ ,  $r = -0,089$ ;  $p > 0.05$ ). Так же в обеих группах он имел значительную отрицательную корреляцию с систолодиастолическим приростом диаметра ( $r = -0,831$ ,  $r = -0,647$ ;  $p < 0.05$ ). В группе без коронарного атеросклероза модуль эластичности (жесткости) Петерсона имел положительную корреляцию с максимальным систолическим ( $r = 0,326$ ;  $p < 0.05$ ) и минимальным диастолическим диаметрами ( $r = 0,457$ ;  $p < 0.05$ ). В группе с коронарным атеросклерозом он имел положительную корреляцию с минимальным диастолическим диаметром ( $r = 0,324$ ;  $p < 0.05$ ).

Индекс жесткости имел положительную корреляцию с пульсовым АД в группе без коронарного атеросклероза ( $r = 0,484$ ;  $p < 0.05$ ). С остальными показателями

АД в обеих группах индекс жесткости корреляционных связей не имел ( $r = 0,115$ ,  $r = 0,263$ ,  $r = -0,012$ ,  $r = -0,262$ ,  $r = 0,147$ ;  $p > 0.05$ ).

## Заключение

Ухудшение всех показателей упруго-эластических свойств восходящего отдела грудной аорты при коронарном атеросклерозе обусловлено уменьшением систолодиастолического прироста диаметра. Однако различаются фазы цикла, диаметр в которые, ответствен за это снижение. Так же различаются степени влияния показателей АД. Ухудшение коэффициента податливости обусловлено малым систолическим приростом диаметра на фоне увеличения пульсового АД. Ухудшение коэффициента растяжимости обусловлено увеличением диастолического диаметра на фоне увеличения пульсового АД. Ухудшение модуля эластичности (жесткости) Петерсона обусловлено увеличением диастолического диаметра на фоне увеличения пульсового АД. Во всех случаях повышение пульсового АД происходит за счет повышения систолического АД. Ухудшение индекса жесткости обусловлено увеличением как систолического, так и диастолического диаметров без влияния показателей АД. ■

*Мушкамбаров И.Н., ГКБ им. С.П. Боткина Департамента здравоохранения г. Москва; Берестень Н.Ф., Ткаченко С.Б. ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, Москва*

---

## Литература:

1. Laurent S., Cockcroft J., Van Bortel L., Boutouyrie P., Giannattasio C., Hayoz D. et al. Expert consensus document on arterial stiffness: methodological issues and clinical applications. *European heart journal*. 2006; 27(21): 2588-2605.
2. Lee H.Y., Oh B.H. Aging and arterial stiffness. *Circulation Journal*. 2010; 1010120923-1010120923.
3. Vallée A., Lelong H., Lopez-Sublet M., Topouchian J., Safar M. E., Blacher J. Association between different lipid parameters and aortic stiffness: clinical and therapeutic implication perspectives. *Journal of hypertension*. 2019; 37 (11): 2240-2246.
4. Robertson A. D., Heckman G. A., Fernandes M. A., Roy E. A., Tyas S. L., Hughson, R. L. Carotid pulse pressure and intima media thickness are independently associated with cerebral hemodynamic pulsatility in community-living older adults. *Journal of Human Hypertension*. 2019: 1-10.
5. Gatzka C.D., Cameron J.D., Kingwell B.A., Dart A.M. Relation between coronary artery disease, aortic stiffness, and left ventricular structure in a population sample. *Hypertension*. 1998; 32 (3): 575-578.
6. Мушкамбаров И.Н., Берестень Н.Ф., Ткаченко С.Б., Романов С.Н., Колесников В.Н. Современная ультразвуковая оценка упруго-эластических свойств грудной аорты при коронарном атеросклерозе. *Медицинский алфавит*. 2019; 2 (12): 30-36.
7. Stefanadis C., Wooley C. F., Bush C. A., Kolibash A. J., Boudoulas H. Distensibility of the ascending aorta: comparison of invasive and non-invasive techniques in healthy men and in men with coronary artery disease. *European Heart Journal*. 1990; 11 (11): 990-996.
8. Robertson A. D., Heckman G. A., Fernandes M. A., Roy E. A., Tyas S. L., Hughson R. L. Pulsatile diameter and elastic modulus of the aortic arch in essential hypertension: a noninvasive study. *Journal of the American College of Cardiology*. 1989; 13 (2): 399-405.
9. Willum-Hansen T, Staessen JA, Torp-Pedersen C, Rasmussen S, Thijs L, Ibsen H, Jeppesen J. Prognostic value of aortic pulse wave velocity as index of arterial stiffness in the general population. *Circulation* 2006; 113:664-670
10. O'Rourke M. F., Staessen J. A., Vlachopoulos C., Duprez D. Clinical applications of arterial stiffness; definitions and reference values. *American journal of hypertension*. 2002; 15 (5): 426-444.