

Article/Review

# Деформационные свойства миокарда левого желудочка при артериальной гипертензии: современные подходы и значение для диагностики

С.И. Бекметова <sup>1\*</sup> , Г.Ж. Абдуллаева <sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Лаборатория артериальной гипертензии и молекулярно-генетических исследований, Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр кардиологии, Ташкент, 100052, Узбекистан  
hippocrate@inbox.ru (С.Б.), guzal-abdullaeva@bk.ru (Г.А.)

\* Correspondence: hippocrate@inbox.ru; Tel.: +998 99 8838803 (С.Б.)

## Аннотация:

Артериальная гипертензия является широко распространенным состоянием, затрагивающим миллионы людей по всему миру. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), в 2021 году более 1 миллиарда человек страдали от гипертензии. ВОЗ прогнозирует, что это число будет продолжать расти из-за изменений в образе жизни и старения населения. Ранняя диагностика гипертензии имеет решающее значение для ее эффективного контроля и предотвращения серьезных последствий. В последние годы активно изучаются деформационные свойства левого желудочка сердца с целью ранней диагностики гипертензии и оценки эффективности антигипертензивной терапии (АГТ). Левый желудочек сердца играет ключевую роль в перекачивании крови в системные артерии. Деформационные свойства левого желудочка, такие как глобальная продольная деформация (GLS) и скорость глобальной продольной деформации (GLSR), стали объектом исследований в контексте ранней диагностики артериальной гипертензии.

**Ключевые слова:** артериальная гипертензия, эхокардиография методом спекл-трекинга, деформационные свойства левого желудочка, диастолическая дисфункция левого желудочка, глобальная продольная деформация, скорость деформации

## Deformation properties of the left ventricular myocardium in arterial hypertension: modern approaches and diagnostic significance

Sevara I.Bekmetova <sup>1\*</sup> , Guzal J.Abdullaeva <sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Laboratory of Arterial Hypertension and Molecular Genetic Research, Republican Specialized Scientific and Practical Medical Centre of Cardiology, Tashkent, 100052, Uzbekistan

hippocrate@inbox.ru (S.B.), guzal-abdullaeva@bk.ru (G.A.)

## Abstract:

Arterial hypertension is a widely prevalent condition affecting millions of people worldwide. According to the World Health Organization (WHO) data, in 2021, more than 1 billion people suffered from hypertension. The WHO predicts that this number will continue to rise due to lifestyle changes and an aging population. Early diagnosis of hypertension is crucial for its effective control and the prevention of serious consequences. In recent years, the deformation properties of the left ventricle of the heart have been actively studied for the purpose of early diagnosis of hypertension and the assessment of the effectiveness of antihypertensive therapy (AHT). The left ventricle of the heart plays a key role in pumping blood into the systemic arteries. Deformation properties of the left ventricle, such as global longitudinal strain (GLS) and global longitudinal strain rate (GLSR), have become the focus of research in the context of early diagnosis of arterial hypertension.

**Цитирование:** С.И. Бекметова, Г.Ж. Абдуллаева. Деформационные свойства миокарда левого желудочка при артериальной гипертензии: современные подходы и значение для диагностики. 2024, 1, 1, 8.  
<https://doi.org/10.70626/cardiouz-2024-1-00008>

Полученный: 10.01.2024  
Исправленный: 18.01.2024  
Принято: 25.03.2024  
Опубликованный: 30.03.2024

**Copyright:** © 2024 by the authors. Submitted to for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

**Keywords:** arterial hypertension, speckle-tracking echocardiography, deformation properties of the left ventricle, diastolic dysfunction of the left ventricle, global longitudinal strain, strain rate.

**Введение** Артериальная гипертензия (АГ) представляет собой значительную глобальную проблему здравоохранения, как подтверждается многочисленными научными исследованиями. Это хроническое состояние ассоциируется с развитием серьезных осложнений, таких как инсульт, инфаркт миокарда и хроническая болезнь почек [1–3]. Распространенность артериальной гипертензии зависит от различных факторов, включая генетическую предрасположенность, стиль жизни и демографические особенности [4–6]. Как известно, АГ является широко распространенным заболеванием, затрагивающим миллионы людей по всему миру. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) в 2021 году, более 1 миллиарда человек страдали АГ. По прогнозу ВОЗ это количество продолжит расти в связи с изменениями в образе жизни и старением населения [7]. В глобальном отчете ВОЗ по проблеме гипертензии отмечено, что четверо из пятерых гипертоников не получают необходимого лечения. При этом был сделан многообещающий прогноз, что лечение АГ спасет 76 миллионов жизней за период с 2023 по 2050 года [7]. Ранняя диагностика АГ является ключевым моментом в ее эффективном контроле и предотвращении серьезных последствий. В последние годы активно исследуются деформационные свойства левого желудочка сердца в контексте ранней диагностики АГ и оценки эффективности антигипертензивной терапии (АГТ) [8].

#### **Деформационные свойства левого желудочка**

Ремоделирование сердечно-сосудистой системы является обязательным компонентом артериальной гипертензии (АГ), как осложнение и фактор прогрессирования. Термин "ремоделирование" описывает комплекс изменений на молекулярном и биомеханическом уровнях, включая гипертрофию левого желудочка и гипертрофию сосудистой стенки [9,10]. Левый желудочек сердца играет ключевую роль в перекачивании крови в систему крупных артерий. Деформационные свойства левого желудочка, такие как общая продольная деформация (стрейн) и скорость общей продольной деформации (стрейн-рейт), стали объектом исследований в контексте ранней диагностики артериальной гипертензии [11]. Артериальная гипертензия часто используется для изучения изменений, связанных с различными видами деформаций левого желудочка сердца, таких как концентрическое ремоделирование и концентрическая гипертрофия. Это важно, поскольку ухудшение фракции сокращения стенок циркулярных волокон может предшествовать снижению фракции выброса левого желудочка [12,13]. Использование спекл-трекинг эхокардиографии помогает лучше понять сложные взаимосвязи различных биомеханических свойств миокарда левого желудочка в условиях артериальной гипертензии. Эти данные предполагают, что нарушения обмена коллагена и фиброзный процесс могут привести к ранней дисфункции сократительной функции левого желудочка, даже при сохранении нормальной фракции выброса. Это основывается на предположении, что функциональные нарушения левого желудочка в основном влияют на его диастолические свойства [14]. В исследовании, у пациентов эссенциальной гипертензией была продемонстрирована тесная связь нарушения деформационных свойств миокарда ЛЖ с диастолической функцией ЛЖ, увеличением постнагрузки и изменением показателей импеданса функции ЛЖ. При этом импедансная гемодинамика оказалась многообещающим маркером ранней дисфункции ЛЖ. В исследовании, проведенном Р. Palmiero и соавторами, было установлено, что диастолическая дисфункция левого желудочка (ЛЖ) является ранним изменением, характерным для многих сердечно-сосудистых заболеваний, включая гипертонию. Авторы подчеркивают важность оценки деформационных свойств миокарда ЛЖ для раннего выявления нарушений его функции [17]. Таким образом, новые знания о биомеханических свойствах миокарда левого желудочка имеют важное значение для разработки терапевтических инноваций, для исследований, направленных на разработку новых инструментов с целью количественной оценки процессов ремоделирования и мониторинга их прогрессирования. В эти инструменты входят новые биомаркеры, методы визуализации для оценки локализации фиброза и неинвазивный мониторинг с картированием, что позволяет эффективно оценивать результаты терапевтических вмешательств [15,16].

Значимость деформационных свойств миокарда левого желудочка в ранней диагностике артериальной гипертензии

1. Деформации миокарда левого желудочка обладают высокой чувствительностью к изменениям в работе сердечно-сосудистой системы, что делает их ценным индикатором для выявления даже небольших изменений, связанных с АГ, на ранних стадиях. Это особенно важно, поскольку другие методы диагностики могут быть менее эффективными в раннем выявлении таких изменений [17,18].
2. Деформации миокарда левого желудочка могут выявить раннюю дисфункцию сердечной мышцы, которая может быть вызвана повышенным артериальным давлением. Это позволяет начать лечение и контроль АГ на ранней стадии, предотвращая прогрессирование заболевания [19].
3. Исследования показывают, что деформационные свойства левого желудочка коррелируют с уровнем артериального давления. Поэтому, анализ этих свойств может предоставить информацию о том, насколько сильно сердечно-сосудистая система подвергается воздействию высокого давления [20].

### Материалы и методы

Методы диагностики деформационных свойств миокарда

Двухмерная и трехмерная эхокардиография позволяют оценить продольную и поперечную деформацию ЛЖ, что является важным показателем функции миокарда у пациентов с АГ [21]. Врач перемещает датчик по грудной стенке, записывая изображения сердца с разных углов. Специальные программы обработки данных позволяют выявить и измерить параметры деформации ЛЖ. Этот метод позволяет оценить, как продольную, так и поперечную деформацию ЛЖ, что важно для полного анализа функционального состояния сердца [22]. Таким образом, 2DE является надежным и широко используемым методом для оценки деформации ЛЖ, что делает его важным инструментом для диагностики и мониторинга сердечных заболеваний. Метод проведения трёхмерной эхокардиографии аналогичен двухмерной эхокардиографии. Трёхмерная эхокардиография использует специальное оборудование для создания трёхмерного изображения сердца. Это позволяет более точно оценить объемы и форму сердечных полостей, а также движение структур сердца в пространстве [23]. Трёхмерная эхокардиография обладает высокой точностью и часто используется для детальной оценки сердечной функции [24].

Магнитно-резонансная томография (МРТ): МРТ предоставляет более подробную информацию о структуре и функции сердца, включая деформационные свойства. Методика включает проведение высокоразрешающего сканирования сердца, анализ последовательных изображений с использованием специализированных программных инструментов для оценки систолической и диастолической функции, а также оценки деформации миокарда. Hundley W.G. и соавт. в своей статье приводят убедительные доказательства того, что МРТ является мощным инструментом для изучения структуры и функции сердца [25]. При МРТ сердца, пациента готовят к исследованию, включая запрет на металлические предметы и возможное использование контрастных средств. Техника сканирования включает несколько последовательных срезов сердца, получаемых в различных плоскостях для оценки структуры, функции и кровотока в сердце. Кроме того, имеются некоторые преимущества МРТ перед другими методами обследования сердца, такими как эхокардиография и компьютерная томография [26].

Связь деформационных свойств миокарда левого желудочка с развитием сердечно-сосудистых осложнений у больных АГ

Как известно, глобальный продольный стрейн коррелирует с изменениями сердечно-сосудистой системы, связанными со старением и артериальной гипертензией [27,28]. В работе Pavlopoulos H. и соавт. было ранее продемонстрировано нарушение деформационных свойств миокарда ЛЖ у больных АГ с диастолической дисфункцией ЛЖ [29]. В своем исследовании Galderisi M. и соавт. отметили, что продольная глобальная деформация миокарда ЛЖ зависит от возраста, частоты сердечных сокращений, конечного систолического объема ЛЖ, ИММЛЖ, индексированного объема ЛП, а также показателя тканевой доплерографии – отношения  $E/e'$  [30]. Аналогичную картину показали Ballo P. и соавт., где у лиц с бессимптомной гипертонической болезнью (n=210) глобальный продольный стрейн дисфункции ЛЖ и повышении

диастолического давления в ЛЖ при  $E/e' > 13$  [31]. В недавно проведенной работе Morris D.A. и соавт. на небольшой группе пациентов были изучены разнонаправленные систолические параметры, такие как глобальный систолический индекс (среднее продольное, окружное и радиальное глобальное систолическое напряжение), что позволило обнаружить изменение разнонаправленной глобальной сократительной функции ЛЖ у больных с сердечно-сосудистыми заболеваниями [32]. Тем не менее, несмотря на эти достижения в области разнонаправленных параметров для определения истинной глобальной систолической функции ЛЖ, нормативы этих показателей и их клиническая значимость остается малоизученной. В многоцентровом исследовании Morris D.A. и соавт. были попытки установить диапазон значений этих разнонаправленных параметров у здоровых лиц и у больных АГ, а также изучить обеспечивают ли эти разнонаправленные индексы улучшенное выявление глобальных систолических показателей ЛЖ. При этом у больных с таким распространенным заболеванием, как АГ эхокардиографическим параметром для оценки систолической функции ЛЖ остается фракция выброса ЛЖ [33]. Однако было продемонстрировано, что объемное измерение имеет несколько ограничений, таких как большая зависимость от нагрузки и низкая чувствительность для обнаружения начальных проявлений систолической дисфункции ЛЖ [34,41]. Некоторые исследования показали, что этот метод сильно зависит от изменений преднагрузки и постнагрузки [34,37,42,43], недавние исследования с использованием Speckle-tracking эхокардиографии (2DSTE) показали низкую чувствительность ФВ ЛЖ для выявления ранних систолических изменений миокарда ЛЖ в различных клинических ситуациях [18,24,44,48]. Morris D.A. и соавт. также считают, что анализ глобальной систолической функции ЛЖ с использованием разнонаправленных параметров с 2DSTE имеет несколько преимуществ перед ФВ ЛЖ, что делает эти многонаправленные измерения основным методом для оценки истинной или внутренней глобальной сократительной функцией ЛЖ [33]. Следует отметить, что в нескольких исследованиях были обнаружены гетерогенные изменения в левом желудочке (а именно в продольном, радиальном и окружном направлениях) при различных клинических состояниях, таких как сахарный диабет, артериальная гипертензия, гипертрофия левого желудочка, коронарная и сердечная недостаточность, заболевания артерий [49,56]. Другая группа исследователей во главе с Vineanu D., что незначительное продольное систолическое нарушение было маркером измененной геометрии ЛЖ [57]. Они же доказали, что у пациентов с ДДЛЖ снижена систолическая функция. При этом продольное систолическое укорочение и диастолическое удлинение уменьшаются у таких пациентов, а замедленное расслабление ЛЖ изменяет движение кольца. Фактически, разница внутрижелудочкового давления, ответственная за раннее диастолическое наполнение ЛЖ снижается. Такая неоднородность кроется в анатомии ЛЖ. Важно заметить, что волокна миокарда, ответственные за продольную деформацию располагаются субэндокардиально, тогда как циркулярные и радиальные волокна располагаются в средней стенке. Таким образом, продольные волокна подвергаются большему воздействию внутримиекардиального давления и ишемии [58,60]. Подтверждением этого также послужила работа Iwano H. и соавт., продемонстрировавшие сильные корреляции между показателями диастолической и систолической функции ЛЖ как при тканевой доплерографии, так и при оценке стрейна ЛЖ [60]. В ранее проведенных нами исследованиях было показано, что пациенты с III степенью АГ имеют значительно ниже показатели продольной глобальной деформации и скорости деформации миокарда по сравнению с I и II степенями АГ. У пациентов с ГЛЖ отмечается снижение показателей деформации миокарда по сравнению с пациентами без ГЛЖ [61,62]. Так же нами были изучены три группы геометрических моделей ЛЖ у больных с АГ: нормальная геометрия, концентрическое ремоделирование и концентрическая гипертрофия. У больных с АГ и концентрической гипертрофией левого желудочка отмечаются значимые нарушения деформационных свойств миокарда, что еще раз подчеркивает важность раннего выявления и эффективного лечения артериальной гипертензии [61,62].

Использование спекл-трекинг эхокардиографии для оценки антиремоделлирующей эффективности антигипертензивной терапии

Как известно, антигипертензивная терапия играет ключевую роль в управлении артериальной гипертензией и снижении риска сердечно-сосудистых осложнений. Спекл-трекинг эхокардиография (СТ-ЭХОКГ) представляет собой передовой метод оценки функции серд-

ца, который получил широкое признание в клинической медицине. Исследования выявили потенциал СТ-ЭХОКГ для оценки эффективности антигипертензивной терапии [63]. СТ-ЭХОКГ позволяет выявлять даже мелкие изменения в деформации сердечной мышцы, что делает его чрезвычайно чувствительным инструментом для оценки динамики процессов ремоделирования сердца у пациентов с артериальной гипертензией на фоне терапии, то есть данная методика позволяет не только диагностировать нарушения в сердечной функции, но и следить за динамикой изменений под воздействием лечения. Анализ данных СТ-ЭХОКГ позволяет отслеживать эффективность антигипертензивной терапии и корректировать ее в зависимости от динамики деформации сердечной мышцы [64]. В своих исследованиях Smorgon A.V. и соавт. показали, что СТ-ЭХОКГ может быть использована для прогнозирования риска сердечно-сосудистых осложнений у пациентов с артериальной гипертензией, что позволяет рано выявить и предотвратить развитие сердечно-сосудистых событий [65]. Авторы исследования из Военно-медицинского института в Варшаве, изучали связь между глобальным продольным двумерным систолическим напряжением и гемодинамическими изменениями у пациентов с артериальной гипертензией. Исследование, проведенное Павлом Кжесиньски и коллегами, показало следующее: глобальное продольное двумерное систолическое напряжение имеет прямую связь с гемодинамическими изменениями, характерными для АГ, что также указывает на важность использования этого параметра для оценки функции сердца у пациентов с высоким артериальным давлением. Результаты исследования подчеркивают роль глобального продольного двумерного систолического напряжения как потенциального индикатора риска для сердечно-сосудистых осложнений у пациентов с артериальной гипертензией. Это исследование важно для понимания патофизиологии артериальной гипертензии и разработки стратегий мониторинга и лечения этого заболевания [66]. В работе Daniel A. Morris и коллег из Германии и Японии изучались особенности систолической функции левого желудочка у нормальных лиц и пациентов АГ. Исследование включало следующие аспекты: анализ многоплоскостной глобальной систолической функции левого желудочка проводился как у здоровых добровольцев, так и у пациентов с артериальной гипертензией. Исследование использовало многоплоскостную технику эхокардиографии для оценки систолической функции левого желудочка в различных направлениях. Результаты исследования показали различия в глобальной систолической функции между нормальными лицами и пациентами с артериальной гипертензией, что может иметь клиническое значение для диагностики и лечения этого заболевания. Это исследование важно для понимания патологических изменений в сердечной функции при артериальной гипертензии и может помочь в разработке более эффективных стратегий лечения [67]. В исследовании Кочеткова А.И. показано, что антигипертензивная терапия играет ключевую роль в улучшении деформационных свойств миокарда у пациентов с артериальной гипертензией [68]. Антигипертензивная терапия способствует уменьшению размеров левого желудочка и толщины миокарда, что в свою очередь снижает риск развития сердечно-сосудистых осложнений. Ряд исследований подтверждают, что антигипертензивная терапия может улучшать систолическую функцию левого желудочка, что является важным фактором в предотвращении развития сердечной недостаточности [69]. Эффективный контроль артериального давления с помощью антигипертензивной терапии уменьшает риск развития сердечно-сосудистых осложнений, таких как инфаркт миокарда и инсульт. Thompson A.M., и его коллеги провели мета-анализ для оценки эффективности антигипертензивной терапии с целью вторичной профилактики сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) у лиц без гипертонии. Они проанализировали данные различных исследований, чтобы определить, могут ли антигипертензивные препараты, обычно используемые для снижения артериального давления у больных АГ, также уменьшить риск развития ССЗ у лиц без гипертонии, которые ранее перенесли сердечно-сосудистые события. Исследователи обнаружили, что антигипертензивная терапия значительно снижает риск повторных сердечно-сосудистых событий у лиц без гипертонии. Это свидетельствует о том, что преимущества антигипертензивной терапии простираются за пределы снижения артериального давления и могут способствовать вторичной профилактике у лиц с историей сердечно-сосудистых заболеваний. Этот мета-анализ представляет ценные исследовательские данные о потенциальной роли антигипертензивных препаратов в предотвращении повторных сердечно-

сосудистых событий у лиц без гипертонии, подчеркивая важность превентивных стратегий во вторичной профилактике ССЗ.

#### **Обсуждение:**

Таким образом, спекл-трекинг эхокардиография, позволяющая оценить деформационные свойства левого желудочка сердца, представляет значимый метод в ранней диагностике АГ, играющий важную роль в определении эффективности антигипертензивной терапии и в управлении состоянием пациентов с высоким риском сердечно-сосудистых осложнений.

#### **Вклад авторов**

Концептуализация, С.Б. и Г.А.; методология, С.Б.; программное обеспечение, не применимо; валидация, С.Б., Г.А.; формальный анализ, С.Б.; исследование, С.Б.; ресурсы, С.Б.; кураторство данных, С.Б.; написание оригинального текста, С.Б.; написание и редактирование, Г.А.; визуализация, не применимо; руководство, С.Б.; администрирование проекта, С.Б.; привлечение финансирования, не применимо. Все авторы ознакомлены с опубликованной версией рукописи и согласны с ней.

#### **Authors' contribution**

Conceptualization, S.B. and G.A.; methodology, S.B.; software, not applicable; validation, S.B., G.A.; formal analysis, S.B.; investigation, S.B.; resources, S.B.; data curation, S.B.; writing—original draft preparation, S.B.; writing—review and editing, G.A.; visualization, not applicable; supervision, S.B.; project administration, S.B.; funding acquisition, not applicable. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

#### **Источник финансирования**

Это исследование не спонсировалось

#### **Funding source**

This study was not sponsored.

#### **Благодарности**

Авторы выражают признательность всем, кто внес свой вклад в выполнение данного исследования, за их поддержку и ценные рекомендации.

#### **Acknowledgments**

The authors express their gratitude to everyone who contributed to the completion of this study for their support and valuable recommendations.

#### **Конфликт интересов**

Конфликт интересов не заявляется.

#### **Conflict of interest**

No conflicts of interest are declared.

#### **Сокращения**

АГ	Артериальной гипертензии
АГТ	Антигипертензивной терапии
ЛЖ	Левого желудочка
МРТ	Магнитно-резонансная томография
ЛП	Лекарственное средство
СТ-ЭХОКГ	Спекл-трекинг эхокардиография

#### **Литература**

- [1] Kovesdy, Csaba P., Epidemiology of chronic kidney disease: an update 2022, *Kidney International Supplements* (2011), 2022, Apr, 12, 01, 7–11, 10.1016/j.kisu.2021.11.003, Epub 2022 Mar 18, 35529086, PMC9073222.
- [2] Poznyak Anastasia V., Sadykhov Nikolay K., Kartuesov Andrey G., Borisov Evgeny E., Melnichenko Alexandra A., Grechko Andrey V., Orekhov Alexander N., Hypertension as a risk factor for

- atherosclerosis: Cardiovascular risk assessment, *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, 2022, 9, 959285, 10.3389/fcvm.2022.959285, 36072873, PMC9441708, Published online 2022 Aug 22.
- [3] Fuchs Flávio D., Whelton Paul K., High Blood Pressure and Cardiovascular Disease, *Hypertension*, 2020, 75, 285–292, 10.1161/HYPERTENSIONAHA.119.14240, Originally published 23 Dec 2019.
- [4] Burnier Michel, Damianaki Aikaterini, Hypertension as Cardiovascular Risk Factor in Chronic Kidney Disease, *Circulation Research*, 2023, 132, 1050–1063, 10.1161/CIRCRESAHA.122.321762, Originally published 13 Apr 2023.
- [5] Kourtidou Christodoula, Tziomalos Konstantinos, Epidemiology and Risk Factors for Stroke in Chronic Kidney Disease: A Narrative Review, *Biomedicines*, 2023, 11, 09, 2398, 10.3390/biomedicines11092398.
- [6] Huang Q.F., Yang W.Y., Asayama K, Zhang Z.Y., Thijs L.Li, Y, O'Brien E, Staessen J.A., Ambulatory Blood Pressure Monitoring to Diagnose and Manage Hypertension, *Hypertension*, 2021, Feb, 77, 02, 254–264, 10.1161/HYPERTENSIONAHA.120.14591, 33390042, PMC7803442, Epub 2021 Jan 4.
- [7] Pacurari M., Kafoury R., Tchounwou P. B., Ndebele K., The Renin-Angiotensin-aldosterone System in Vascular Inflammation and Remodeling, *International Journal of Inflammation*, 2014, 2014, 689360, 10.1155/2014/689360, 24804145, PMC3997861, Epub 2014 Apr 6.
- [8] González, Arantxa, Ravassa, Susana, López, Begoña, Moreno, María U., Beaumont, Javier, San José, Gorka, Querejeta, Ramón, Bayés-Genís, Antoni, Díez, Javier, Myocardial Remodeling in Hypertension, *Hypertension*, 2018, Sep, 72, 03, 549–558, 10.1161/HYPERTENSIONAHA.118.11125, Originally published 23 Jul 2018.
- [9] Ryabikov A.N., Guseva V.P., Voronina E.V., Palekhina Yu.Yu., Shakhmatov S.G., Verevkin Eu.G., Holmes M.V., Bobak M., Malyutina S.K., An association between echocardiographic left ventricle longitudinal strain and hypertension in general population depending on blood pressure control, *Arterial'naya Gipertenziya = Arterial Hypertension*, 2019, 25, 06, 653–664, 10.18705/1607-419X-2019-25-6-653-664.
- [10] Frolova E.V., *Russian Family Doctor*, 2016, 20, 02, 6–18, Received: 02.03.2016; Accepted: 27.05.2016.
- [11] Buziashvili Yu.I., Koksheneva I.V., Asymbekova E.U., Turakhonov T.K., Left ventricular and papillary muscles deformation in patients with coronary artery disease and ischemic mitral regurgitation, *Russian Journal of Cardiology and Cardiovascular Surgery = Kardiologiya i serdechno-sosudistaya khirurgiya*, 2019, 12, 02, 100–109, 10.17116/kardio201912021100.
- [12] Nesukai O.H., Danylenko O.O., State Institution “National Scientific Center “M.D. Strazhesko Institute of Cardiology” of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine”, Kyiv, Ukraine.
- [13] Palmiero P., Zito A., Maiello M., Cameli M., Modesti P.A., Muiesan M.L., Novo S., Saba P.S., Scicchitano P., Pedrinelli R., Ciccone M.M., Left ventricular diastolic function in hypertension: methodological considerations and clinical implications, *Journal of Clinical Medical Research*, 2015, Mar, 7, 03, 137–144, 10.14740/jocmr2050w, 25584097, PMC4285058, Epub 2014 Dec 29.
- [14] Budnevskij A.V., Ovsjannikov E.S., Kulikova L.E., The Left Ventricle Diastolic Function in Patients with Hypertension under the Use of Different Drug Groups, *The Russian Archives of Internal Medicine*, 2019, 9, 04, 290–295, 10.20514/2226-6704-2019-9-4-290-295.
- [15] Brzozowska-Czarnek A., Bryll A., Ocena przerostu mięśnia lewej komory serca u pacjentów z pierwotnym nadciśnieniem tętniczym przy pomocy badania Kardio MR [The assessment of left ventricular hypertrophy in patients with the primary hypertension with the use of Cardiac Magnetic Resonance], *Przegląd Lekarski*, 2013, 70, 05, 255–261, Polish, 23944093.
- [16] Vdovenko D.V., Libis R.A., The myocardial deformation and diastolic function of the left ventricle in patients with heart failure with preserved left ventricular ejection fraction, *Arterial'naya Gipertenziya = Arterial Hypertension*, 2018, 24, 01, 74–80, 10.18705/1607-419X-2018-24-1-74-80.
- [17] Hazukova R., Rezacova M., Pleskot M., Zadak Z., Cermakova E., Taborsky M., DNA damage and arterial hypertension. A systematic review and meta-analysis, *Biomed Pap Med Fac Univ Palacky Olomouc Czech Repub*, 2024, Mar, 168, 01, 15–24, 10.5507/bp.2023.044.
- [18] Florianczyk T., Go labek-Dylewska M., Kucinska B., Werner B., Evaluation of left ventricular function in overweight children and teenagers with arterial hypertension and white coat hypertension, *Cardiology Journal*, 2019, 26, 04, 343–349, 10.5603/CJ.a2017.0151, 29240959, PMC8084360, Epub 2017 Dec 14.
- [19] Loginova E.N., Nechaeva G.I., Dakuko A.N., Bogatyrev I.V., Potapov V.V., Sharun I.V., Left ventricular longitudinal strain in patients with undifferentiated connective tissue disease and arrhythmia, *Russian Journal of Cardiology*, 2023, 28, 012, 5665, 10.15829/1560-4071-2023-5665.
- [20] Morrison B.N., Campbell A.J., Cote A.T., Mohammad A., Sambrook L., Robinson G., George K., Oxborough D., Three-Dimensional-Derived Echocardiographic Left Ventricular Structure and Function and Indices from the 12-Lead Electrocardiogram across the Menstrual Cycle in Healthy Physically Active Females: An Exploratory Study, *Journal of Cardiovascular Development and Disease*, 2023, Aug, 10, 08, 331, 10.3390/jcdd10080331, 37623344, PMC10455515.

- [21] Miyasaka, Yoko, Tsujimoto, Satoshi, Maeba, Hirofumi, Yuasa, Fumio, Takehana, Kazuya, Dote, Kinuko, Iwasaka, Toshiji, Left Atrial Volume by Real-Time Three-Dimensional Echocardiography: Validation by 64-Slice Multidetector Computed Tomography, *Journal of the American Society of Echocardiography*, 2011, 24, 06, 680–686, 0894-7317, 10.1016/j.echo.2011.03.009.
- [22] Hundley W.G., Hamilton C.A., Rerkpattanapipat P., Magnetic resonance imaging assessment of cardiac function, *Current Cardiology Reports*, 2003, Jan, 5, 01, 69–74, 10.1007/s11886-003-0040-1, 12493163.
- [23] Rajiah Prabhakar S., François Christian J., Leiner Tim, Cardiac MRI: State of the Art, *Radiology*, 2023, May, 307, 03, e223008, 10.1148/radiol.223008, 37039684, Epub 2023 Apr 11.
- [24] Imbalzano E., Zito C., Carerj S., Oretto G., Mandraffino G., Cusma-Piccione M., Left ventricular function in hypertension: new insight by speckle tracking echocardiography, *Echocardiography*, 2011, 28, 649–657.
- [25] Shin S.M., Shim W.J., Park S.M., Early changes of left ventricular function in young adults with never-treated hypertension and no left ventricular hypertrophy: relationships to ambulatory blood pressure monitoring, *Clinical and Experimental Hypertension*, 2014, 36, 517–523.
- [26] Pavlopoulos H., Grapsa J., Stefanadi E., Philippou E., Dawson D., Nihoyannopoulos P., Is it only diastolic dysfunction? Segmental relaxation patterns and longitudinal systolic deformation in systemic hypertension, *European Journal of Echocardiography*, 2008, 9, 741–747.
- [27] Galderisi M., Lomoriello V. S., Santoro A., Esposito R., Olibet M., Raia R., Differences of myocardial systolic deformation and correlates of diastolic function in competitive rowers and young hypertensives: a speckle-tracking echocardiography study, *Journal of the American Society of Echocardiography*, 2010, 23, 1190–1198.
- [28] Ballo P., Nistri S., Cameli M., Papesso B., Dini F.L., Galderisi M., Association of left ventricular longitudinal and circumferential systolic dysfunction with diastolic function in hypertension: a nonlinear analysis focused on the interplay with left ventricular geometry, *Journal of Cardiac Failure*, 2014, 20, 110–120.
- [29] Morris D.A., Boldt L.H., Eichstädt H., Ozcelik C., Haverkamp W., Myocardial systolic and diastolic performance derived by 2-dimensional speckle tracking echocardiography in heart failure with normal left ventricular ejection fraction, *Circulation: Heart Failure*, 2012, 5, 610–620.
- [30] Morris Daniel A., Charité University Hospital, Campus Virchow-Klinikum, Department of Cardiology, American Society of Echocardiography, 2014, E-mail: daniel-armando.morris@charite.de, <http://dx.doi.org/10.1016/j.echo.2014.01.017>.
- [31] Lang R.M., Bierig M., Devereux R.B., Flachskampf F.A., Foster E., Pellikka P.A., Recommendations for chamber quantification, *Journal of the American Society of Echocardiography*, 2005, 18, 1440–1463.
- [32] Chemaly Elie R., Chaanine Antoine H., Sakata Satoshi, Hajjar Roger J., Stroke volume-to-wall stress ratio as a load-adjusted and stiffness-adjusted indicator of ventricular systolic performance in chronic loading, *Journal of Applied Physiology*, 2012, 113, 1267–1284.
- [33] Kumar A., Anel R., Bunnell E., Habet K., Neumann A., Wolff D., Effect of large volume infusion on left ventricular volumes, performance and contractility parameters in normal volunteers, *Intensive Care Medicine*, 2004, 30, 1361–1369.
- [34] ten Brinke E.A., Klautz R.J., Tulner S.A., Engbers F.H., Verwey H.F., Atsma D.E., Haemodynamics and left ventricular function in heart failure patients: comparison of awake versus intra-operative conditions, *European Journal of Heart Failure*, 2008, 10, 467–474.
- [35] Kumar A., Anel R., Bunnell E., Zanotti S., Habet K., Haery C., Preload-independent mechanisms contribute to increased stroke volume following large volume saline infusion in normal volunteers: a prospective interventional study, *Critical Care*, 2004, 8, R128–R136.
- [36] Fang Z.Y., Leano R., Marwick T.H., Relationship between longitudinal and radial contractility in subclinical diabetic heart disease, *Clinical Science (London)*, 2004, 106, 53–60.
- [37] Wong C.Y., O'Moore-Sullivan T., Leano R., Byrne N., Beller E., Marwick T.H., Alterations of left ventricular myocardial characteristics associated with obesity, *Circulation*, 2004, 110, 3081–3087.
- [38] Jurcut R., Wildiers H., Ganame J., D'hooge J., De Backer J., Denys H., Strain rate imaging detects early cardiac effects of pegylated liposomal doxorubicin as adjuvant therapy in elderly patients with breast cancer, *Journal of the American Society of Echocardiography*, 2008, 21, 1283–1289.
- [39] Kass D.A., Maughan W.L., Guo Z.M., Kono A., Sunagawa K., Sagawa K., Comparative influence of load versus inotropic states on indexes of ventricular contractility: experimental and theoretical analysis based on pressure-volume relationships, *Circulation*, 1987, 76, 1422–1436.
- [40] Shah P.K., Abdulla A., Pichler M., Shellock F., Berman D., Singh B.N., Effects of nitroprusside-induced reduction of elevated preload and afterload on global and regional ventricular function in acute myocardial infarction, *American Heart Journal*, 1983, 105, 531–542.



- [41] Ceyhan K., Kadi H., Koc F., Celik A., Ozturk A., Onalan O., Longitudinal left ventricular function in normotensive prediabetics: a tissue Doppler and strain/strain rate echocardiography study, *Journal of the American Society of Echocardiography*, 2012, 25, 349–356.
- [42] Poterucha J.T., Kutty S., Lindquist R.K., Li L., Eidem B.W., Changes in left ventricular longitudinal strain with anthracycline chemotherapy in adolescents precede subsequent decreased left ventricular ejection fraction, *Journal of the American Society of Echocardiography*, 2012, 25, 733–740.
- [43] Liu Y.W., Tsai W.C., Su C.T., Lin C.C., Chen J.H., Evidence of left ventricular systolic dysfunction detected by automated function imaging in patients with heart failure and preserved left ventricular ejection fraction, *Journal of Cardiac Failure*, 2009, 15, 782–789.
- [44] Nucifora G., Schuijf J.D., Delgado V., Bertini M., Scholte A.J., Ng A.C., Incremental value of subclinical left ventricular systolic dysfunction for the identification of patients with obstructive coronary artery disease, *American Heart Journal*, 2010, 159, 148–157.
- [45] Ho E., Brown A., Barrett P., Morgan R.B., King G., Kennedy M.J., Subclinical anthracycline- and trastuzumab-induced cardiotoxicity in the long-term follow-up of asymptomatic breast cancer survivors: a speckle tracking echocardiographic study, *Heart*, 2010, 96, 701–707.
- [46] Wang J., Khoury D.S., Yue Y., Torre-Amione G., Nagueh S.F., Preserved left ventricular twist and circumferential deformation, but depressed longitudinal and radial deformation in patients with diastolic heart failure, *European Heart Journal*, 2008, 29, 1283–1289.
- [47] Ng A.C., Delgado V., Bertini M., van der Meer R.W., Rijzewijk L.J., Shanks M., Findings from left ventricular strain and strain rate imaging in asymptomatic patients with type 2 diabetes mellitus, *American Journal of Cardiology*, 2009, 104, 1398–1401.
- [48] Nguyen J.S., Lakkis N.M., Bobek J., Goswami R., Dokainish H., Systolic and diastolic myocardial mechanics in patients with cardiac disease and preserved ejection fraction: impact of left ventricular filling pressure, *Journal of the American Society of Echocardiography*, 2010, 23, 1273–1280.
- [49] Ernande L., Rietzschel E.R., Bergerot C., De Buyzere M.L., Schnell F., Groisne L., Impaired myocardial radial function in asymptomatic patients with type 2 diabetes mellitus: a speckle-tracking imaging study, *Journal of the American Society of Echocardiography*, 2010, 23, 1266–1272.
- [50] Imbalzano E., Zito C., Carerj S., Oretto G., Mandraffino G., Left ventricular function in hypertension: new insight by speckle tracking echocardiography, *Echocardiography*, 2011, 28, 649–657.
- [51] Yip G.W., Zhang Q., Xie J.M., Liang Y.J., Liu Y.M., Yan B., Resting global and regional left ventricular contractility in patients with heart failure and normal ejection fraction: insights from speckle-tracking echocardiography, *Heart*, 2011, 97, 287–294.
- [52] Kouzu H., Yuda S., Muranaka A., Doi T., Yamamoto H., Shimoshige S., Radial and circumferential mechanics in patients with hypertension: a two-dimensional speckle tracking study, *Journal of the American Society of Echocardiography*, 2011, 24, 192–199.
- [53] Morris D.A., Boldt L.H., Eichstädt H., Ozcelik C., Haverkamp W., Myocardial systolic and diastolic performance derived by 2-dimensional speckle tracking echocardiography in heart failure with normal left ventricular ejection fraction, *Circulation: Heart Failure*, 2012, 5, 610–620.
- [54] Vinereanu D., Nicolaidis E., Tweddel A.C., Fraser A.G., “Pure” diastolic dysfunction is associated with long-axis systolic dysfunction: Implications for the diagnosis and classification of heart failure, *European Journal of Heart Failure*, 2005, 7, 820–828.
- [55] Greenbaum R.A., Ho S.Y., Gibson D.G., Becker A.E., Anderson R.H., Left ventricular fibre architecture in man, *British Heart Journal*, 1981, 45, 248–263.
- [56] Stein P., Marzilli D.M., Sabbach H.N., Tennyson L., Systolic and diastolic pressure gradients within the left ventricular wall, *American Journal of Physiology: Heart and Circulatory Physiology*, 1980, 238, 625–630.
- [57] Iwano H., Pu M., Upadhy B., Meyers B., Vlachos P., Little W.C., Delay of left ventricular longitudinal expansion with diastolic dysfunction: impact on load dependence of  $e'$  and longitudinal strain rate, *Physiological Reports*, 2014, 2, 07, 1–11.
- [58] Bekmetova Sevara, Abdullaeva J.Guzal, Khamidullaeva Gulnoz Abdusattarovna, Yusupova Khafiza, Features of Myocardial Deformation Properties in Patients with Arterial Hypertension, *Journal of Hypertension*, 2023, 41, e251.
- [59] Bekmetova Sevara, Abdullaeva Guzal, Khamidullaeva Gulnoz, Features of Myocardial Deformation Properties in Relation to Left Ventricular Remodeling Types in Patients with Arterial Hypertension, *Journal of Hypertension*, 2024, 42, 0Suppl 1, e151, May.
- [60] Tabata T., Sato S., Ohno R., Iwakawa M., Kiyokawa H., Morinaga Y., Tanji N., Kinoshita T., Shimizu K., Cardio-Vascular Interaction Evaluated by Speckle-Tracking Echocardiography and Cardio-Ankle Vascular Index in Hypertensive Patients, *International Journal of Molecular Sciences*, 2022, Nov, 23, 022, 14469, 10.3390/ijms232214469, 36430943, PMC9692763.

- [61] Oh J. K., Park J.H., Role of strain echocardiography in patients with hypertension, *Clinical Hypertension*, 2022, Feb, 28, 01, 6, 10.1186/s40885-021-00186-y, 35164856, PMC8845306.
- [62] Smorgon A.V., Lebedev D.I., Usenkov S.Yu., Dubanaev A.A., Archakov E.A., Batalov R.E., Shelemekhov A.E., Popov S.V., Speckle-tracking intracardiac echocardiography in atrial fibrillation patients during radiofrequency isolation of pulmonary veins, *Russian Journal of Cardiology*, 2017, 7, 0147, 117–120, 10.15829/1560-4071-2017-7-117-120.
- [63] Krzesinski P., Uzieb I., Zyczkowska B., Gielerak G., Stanczyk A., Kurpaska M., Piotrowicz K., Global longitudinal two-dimensional systolic strain is associated with hemodynamic alterations in arterial hypertension, *Journal of the American Society of Hypertension*, 2015, Sep, 9, 09, 680–689, 10.1016/j.jash.2015.06.014, 26233299, Epub 2015 Jun 29.
- [64] Morris D.A., Otani K., Bekfani T., Takigiku K., Izumi C., Yuda S., Sakata K., Ohte N., Tanabe K., Friedrich K., Kühnle Y., Nakatani S., Otsuji Y., Haverkamp W., Boldt L.H., Takeuchi M., Multidirectional global left ventricular systolic function in normal subjects and patients with hypertension: multicenter evaluation, *Journal of the American Society of Echocardiography*, 2014, May, 27, 05, 493–500, 10.1016/j.echo.2014.01.017, 24582162, Epub 2014 Feb 26.
- [65] Kochetkov A.I., Borisova E.V., Ostroumova O.D., Lopukhina M.V., Piksina G.F., Effect of the Fixed Dose Amlodipine/Valsartan Combination on Hypertrophy and Myocardial Deformation Characteristics in Middle-Aged Patients with Essential Arterial Hypertension, *Rational Pharmacotherapy in Cardiology*, 2019, 15, 03, 305–314, 10.20996/1819-6446-2019-15-3-305-314.
- [66] Boytsov S.A., Karpov Yu.A., Logunova N.A., Burtsev Yu.P., Kvasnikov B.B., Khomitskaya Yu.V., Ways to increase adherence to antihypertensive therapy, *Russian Journal of Cardiology*, 2022, 27, 09, 5202, 10.15829/1560-4071-2022-5202.
- [67] Khadzegova A.B., Yuschuk E.N., Gabitova R.G., Sinitsina I.A., Ivanova S.V., Vasyuk Yu.A., Study published in *Russian Journal of Cardiology*, *Russian Journal of Cardiology*, 2016, 12, 0140, 7–11, 10.15829/1560-4071-2016-12-7-11.
- [68] Antonakoudis G., Poulimenos L., Kifnidis K., Zouras C., Antonakoudis H., Blood pressure control and cardiovascular risk reduction, *Hippokratia*, 2007, Jul, 11, 03, 114–119, 19582204, PMC2658793.
- [69] Thompson A.M., Hu T., Eshelbrenner C.L., Reynolds K., He J., Bazzano L.A., Antihypertensive treatment and secondary prevention of cardiovascular disease events among persons without hypertension: a meta-analysis, *JAMA*, 2011, Mar, 305, 09, 913–922, 10.1001/jama.2011.250, 21364140, PMC4313888, Erratum in: *JAMA*. 2011 May 11;305(18):1862.

**Отказ от ответственности/Примечание издателя:** Заявления, мнения и данные, содержащиеся во всех публикациях, принадлежат исключительно отдельным лицам. Авторы и участники, а Журнал и редакторы. Журнал и редакторы не несут ответственности за любой ущерб, нанесенный людям или имуществу, возникшее в результате любых идей, методов, инструкций или продуктов, упомянутых в контенте.

**Disclaimer of liability/Publisher's Note:** The statements, opinions and data contained in all publications belong exclusively to individuals. The authors and participants, and the Journal and the editors. The journal and the editors are not responsible for any damage caused to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products mentioned in the content.