

# Векторэлектрокардиографический маркер увеличения правого желудочка и его изменения на вдохе у больных прекапиллярной легочной гипертензией

Блинова Е.В., \*Сахнова Т.А., Гурижева Ф.Х., Мартынюк Т.В., Саидова М.А., Дроздов Д.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии имени академика Е.И. Чазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, ул. академика Чазова, д. 15а, г. Москва 121552, Российская Федерация

## Аннотация

**Введение.** Своевременная диагностика легочной гипертензии (ЛГ) важна для прогноза заболевания. Использование вычислительной векторэлектрокардиографии (вЭКГ) и функциональных проб может способствовать более раннему выявлению ЛГ.

**Цель работы** – оценить показатель вЭКГ, отражающий увеличение правого желудочка, у больных прекапиллярной ЛГ при спокойном дыхании и при глубоком вдохе и сопоставить результаты со структурно-функциональными характеристиками сердца при эхокардиографии.

**Материалы и методы.** В исследование были включены 80 пациентов идиопатической ЛГ и хронической тромбоэмболической ЛГ. При эхокардиографии оценивались размеры камер сердца, систолическая и диастолическая функция желудочков, давление в легочной артерии, легочное сосудистое сопротивление (ЛСС). Из показателей вЭКГ изучалась доля площади петли QRS в правых квадрантах от общей площади петли QRS в горизонтальной плоскости (%SQRSx).

**Результаты.** Значения %SQRSx при свободном дыхании составили  $49 \pm 23\%$ , на вдохе –  $55 \pm 23\%$  ( $p < 0,0001$ ). У 72,5% пациентов на вдохе %SQRSx увеличивалась, у 22,5% уменьшалась, у 5% не изменялась.

Были обнаружены умеренные прямые корреляции %SQRSx с размерами правого предсердия и правого желудочка, индексом эксцентричности, давлением в легочной артерии и ЛСС и обратные корреляции с показателями систолической функции правого желудочка, ударным объемом и сердечным выбросом. У пациентов с уменьшением %SQRSx на вдохе были выше толщина передней стенки правого желудочка, индекс эксцентричности, давление в легочной артерии и ЛСС и хуже показатели систолической и диастолической функции правого желудочка, чаще имелись выраженная трикуспидальная недостаточность и перикардиальный выпот.

**Заключение.** У больных прекапиллярной ЛГ %SQRSx и ее изменения на вдохе имели корреляции с показателями эхокардиографии и отражали не только наличие увеличения правого желудочка, но и его тяжесть. По-видимому, перспективны дальнейшие исследования возможностей вЭКГ при обследовании больных с ЛГ.

**Ключевые слова:** электрокардиограмма, вычислительная векторкардиограмма, вдох, легочная гипертензия, эхокардиография

## Сведения об авторах:

\***Автор, ответственный за переписку:** Сахнова Тамара Анатольевна, к.м.н., старший научный сотрудник, лаборатория ЭКГ, Институт клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова, ФГБУ «НМИЦК им. акад. Е.И. Чазова» Минздрава России, ул. академика Чазова, д. 15а, г. Москва 121552, Российская Федерация, E-mail: tamara-sahnova@mail.ru, ORCID: 0000-0002-5543-7184

**Блинова Елена Валентиновна**, к.м.н., научный сотрудник, лаборатория ЭКГ, Институт клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова, ФГБУ «НМИЦК им. акад. Е.И. Чазова» Минздрава России, г. Москва, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-8725-7084

**Гурижева Фатимат Хабасовна**, лаборант-исследователь, лаборатория ЭКГ, Институт клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова, ФГБУ «НМИЦК им. акад. Е.И. Чазова» Минздрава России, г. Москва, Российская Федерация, ORCID: 0009-0005-2783-3576

**Мартынюк Тамара Витальевна**, д.м.н., руководитель отдела легочной гипертензии и заболеваний сердца, Институт клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова, ФГБУ «НМИЦК им. акад. Е.И. Чазова» Минздрава России; профессор, кафедра кардиологии, факультет дополнительного профессионального образования, РНИМУ им. Н.И. Пирогова, г. Москва, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-9022-8097

**Саидова Марина Абдулатиповна**, д.м.н., профессор, главный научный сотрудник, отдел ультразвуковых методов исследования, Институт клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова, ФГБУ «НМИЦК им. акад. Е.И. Чазова» Минздрава России, г. Москва, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-3233-1862

**Дроздов Дмитрий Владимирович**, к.м.н., руководитель лаборатории ЭКГ, Институт клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова, ФГБУ «НМИЦК им. акад. Е.И. Чазова» Минздрава России, г. Москва, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-7374-3604

**Вклад авторов.** Все авторы соответствуют критериям авторства ICMJE, принимали участие в подготовке статьи, наборе материала и его обработке. Вклад по системе Credit: Блинова Е.В. – методология, проведение исследования, формальный анализ, создание черновика рукописи; Сахнова Т.А. – методология, проведение исследования, редактирование рукописи; Гурижева Ф.Х. – проведение исследования; Мартынюк Т.В. – редактирование рукописи, руководство исследованием; Саидова М.А. – редактирование рукописи, руководство исследованием; Дроздов Д.В. – концептуализация, редактирование рукописи.

**Конфликт интересов.** Автор статьи Мартынюк Т.В. является членом редакционного совета журнала «Системные гипертензии», но она не имеет никакого отношения к решению опубликовать эту статью. Статья прошла принятую в журнале процедуру рецензирования. Об иных конфликтах интересов авторы не заявляли.

**Источник финансирования.** Работа выполнена в рамках государственного задания Минздрава России для ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии имени академика Е.И. Чазова» Минздрава России

**Информация о соблюдении этических норм.** Исследование было выполнено в соответствии со стандартами надлежащей клинической практики (Good Clinical Practice) и принципами Хельсинской Декларации. Протокол исследования и форма информированного согласия одобрены Независимым Этическим комитетом клинических исследований ФГБУ «НМИЦ кардиологии имени акад. Е.И. Чазова» Минздрава России. Все пациенты подписали информированное согласие.

**Для цитирования:** Блинова Е.В., Сахнова Т.А., Гурижева Ф.Х., Мартынюк Т.В., Саидова М.А., Дроздов Д.В. Векторэлектрокардиографический маркер увеличения правого желудочка и его изменения на вдохе у больных прекапиллярной легочной гипертензией. Системные гипертензии. 2026;23(1):35-42. <https://doi.org/10.38109/2075-082X-2026-1-35-42>

ORIGINAL ARTICLE

# Vectorelectrocardiographic marker of right ventricular enlargement and its changes during inspiration in patients with precapillary pulmonary hypertension

Elena V. Blinova, \*Tamara A. Sakhnova, Fatimat Kh. Gurizheva, Tamila V. Martynuk, Marina A. Saidova, Dmitry V. Drozdov  
E.I. Chazov National Medical Research Centre of Cardiology, acad. Chazova str., 15a, Moscow 121552, Russian Federation

## Abstract

**Introduction.** Timely diagnosis of pulmonary hypertension (PH) is important for disease prognosis. The use of computational vector electrocardiography (vECG) and functional testing can facilitate earlier detection of PH.

**The aim** of this study was to evaluate vECG parameters reflecting right ventricular enlargement in patients with precapillary PH during quiet breathing and deep inspiration and to compare the results with structural and functional characteristics of the heart using echocardiography.

**Materials and Methods.** The study included 80 patients with idiopathic PH and chronic thromboembolic PH. Echocardiography assessed cardiac chamber size, ventricular systolic and diastolic function, pulmonary artery pressure, and pulmonary vascular resistance (PVR). The vECG parameter used was the proportion of the QRS loop area in the right quadrants to the total QRS loop area in the horizontal plane (%QRSx).

**Results.** The %QRSx values during quiet breathing were  $49 \pm 23\%$ , while during inspiration they were  $55 \pm 23\%$  ( $p < 0.0001$ ). During inspiration, %QRSx increased in 72.5% of patients, decreased in 22.5%, and remained unchanged in 5%.

Moderate direct correlations were found between %QRSx and right atrial and right ventricular dimensions, eccentricity index, pulmonary artery pressure, and PVR, as well as inverse correlations with right ventricular systolic function, stroke volume, and cardiac output. Patients with decreased %QRSx during inspiration had higher right ventricular anterior wall thickness, eccentricity index, pulmonary artery pressure, and PVR, and worse right ventricular systolic and diastolic function, and were more likely to have severe tricuspid regurgitation and pericardial effusion.

**Conclusion.** In patients with precapillary pulmonary hypertension, %QRSx and its changes during inspiration correlated with echocardiographic parameters and reflected not only the presence of right ventricular enlargement but also its severity. Further studies of the potential of vECG in assessing patients with pulmonary hypertension appear promising.

**Keywords:** electrocardiogram, computational vectorcardiogram, inspiration, pulmonary hypertension, echocardiography

## Information about the authors:

\***Corresponding author: Tamara A. Sakhnova**, Cand. of Sci. (Med.), Senior Researcher, ECG Laboratory, A.L. Myasnikov Scientific Research Institute of Clinical Cardiology, E.I. Chazov National Medical Research Center of cardiology; E-mail: [tamara-sakhnova@mail.ru](mailto:tamara-sakhnova@mail.ru), ORCID: 0000-0002-5543-7184

**Elena V. Blinova**, Cand. of Sci. (Med.), Researcher, ECG Laboratory, A.L. Myasnikov Scientific Research Institute of Clinical Cardiology, E.I. Chazov National Medical Research Center of cardiology, ORCID: 0000-0001-8725-7084

**Fatimat Kh. Gurizheva**, laboratory research assistant, ECG Laboratory, A.L. Myasnikov Research Institute of Clinical Cardiology, E.I. Chazov National Medical Research Center of Cardiology, ORCID: 0009-0005-2783-3576

**Tamila V. Martynyuk**, Dr. of Sci. (Med.), Head of the Department of pulmonary hypertension and heart diseases, A.L. Myasnikov Scientific Research Institute of Clinical Cardiology, E.I. Chazov National Medical Research Center of cardiology; professor, Department of Cardiology, Faculty of Continuing Professional Education, N.I. Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-9022-8097

**Marina A. Saidova**, Dr. of Sci. (Med.), Chief Researcher, Department of Ultrasound Research Methods, A.L. Myasnikov Scientific Research Institute of Clinical Cardiology, E.I. Chazov National Medical Research Center of cardiology, ORCID: 0000-0002-3233-1862

**Dmitry V. Drozdov**, Cand. of Sci. (Med.), Head of ECG Laboratory, A.L. Myasnikov Scientific Research Institute of Clinical Cardiology, E.I. Chazov National Medical Research Center of cardiology, ORCID: 0000-0001-7374-3604

**Authors' contributions.** All authors meet the ICMJE criteria for authorship, participated in the preparation of the article, the collection of material and its processing. CRediT author statement: Elena V. Blinova – Methodology, Investigation, Formal analysis, Writing – Original Draft; Tamara A. Sakhnova – Methodology, Investigation, Writing – Review & Editing; Fatimat Kh. Gurizheva – Investigation; Tamila V. Martynyuk – Writing – Review & Editing, Supervision; Marina A. Saidova – Writing – Review & Editing, Supervision; Dmitry V. Drozdov – Conceptualization, Writing – Review & Editing.

**Conflict of Interest and funding for the article.** The author of the article Tamila V. Martynyuk is the member of the editorial board of the Journal “System Hypertension” but she has nothing to do with the decision to publish this article. The article passed the peer review procedure adopted in the journal. The authors did not declare any other conflicts of interest.

**Founding source.** The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Health of Russia for E.I. Chazov National Medical Research Center of Cardiology.

**Information on compliance with ethical standards.** The study was performed in accordance with the standards of Good clinical practice and the principles of the Helsinki Declaration. The study protocol and informed consent form were approved by the Independent Ethics Committee of Clinical Trials of the E.I. Chazov National Medical Research Center of Cardiology of the Russian Ministry of Health. All patients signed informed consent.

**For citation:** Elena V. Blinova, Tamara A. Sakhnova, Fatimat Kh. Gurizheva, Tamila V. Martynyuk, Marina A. Saidova, Dmitry V. Drozdov. Vectorelectrocardiographic marker of right ventricular enlargement and its changes during inspiration in patients with precapillary pulmonary hypertension. *Systemic Hypertension*. 2026;23(1):35-42. (In Russ) <https://doi.org/10.38109/2075-082X-2026-1-35-42>

**Статья поступила в редакцию/ The article received:** 13.01.2026

**Статья принята к печати/ The article approved for publication:** 26.02.2026

## Введение

Легочная гипертензия (ЛГ) – патофизиологическое состояние, характеризующееся повышением среднего давления в легочной артерии (больше 20 мм рт. ст. в покое), и приводящее в конечном счете к развитию правожелудочковой сердечной недостаточности и преждевременной гибели пациентов.

ЛГ является одной из важных проблем здравоохранения, встречаясь примерно у 1% населения, а среди лиц старше 65 лет – до 10% [1]. Хотя распространенность различных клинических групп ЛГ существенно различается, в любом случае прогрессирование ЛГ бывает связано с ухудшением клинического состояния больного и повышенной смертностью.

В связи с отсутствием патогномичных симптомов, диагностика ЛГ обычно требует мультидисциплинарного подхода. Алгоритм обследования пациентов с симптомами, вызывающими подозрение на наличие ЛГ, включает первичное обследование по месту жительства врачом общей практики или терапевтом (в ряде случаев – кардиологом, пульмонологом, ревматологом) и последующий отбор пациентов для специализированного обследования в экспертном центре [1].

Своевременная диагностика ЛГ имеет очень важное значение с точки зрения прогноза течения заболевания. Вместе с тем, по данным российского регистра, медиана вре-

мени от дебюта симптомов до подтверждения диагноза легочной артериальной гипертензии составляла 53 месяца, а у пациентов с хронической тромбоэмболической ЛГ (ХТЭЛГ) – 14 месяцев. При этом на момент постановки диагноза 71% пациентов с легочной артериальной гипертензией и 77% пациентов с ХТЭЛГ имели III-IV функциональный класс по классификации ВОЗ, что ограничивало возможности их успешного лечения [2].

Регистрация электрокардиограммы (ЭКГ) рекомендуется всем пациентам с ЛГ как при первичном обследовании, так и в процессе динамического наблюдения. Повышение диагностических возможностей этого доступного, минимально зависящего от квалификации оператора метода, может способствовать более своевременному выявлению больных с ЛГ.

Широкое внедрение в практику ЭКГ цифровых методов обработки сигналов обеспечивает возможность использования вычислительной вектор электрокардиографии (вЭКГ) как для визуализации сигналов ЭКГ, так и для расчета разнообразных показателей.

Еще одним направлением потенциального повышения точности диагностики ЛГ является использование функциональных проб с увеличением притока крови к правым отделам сердца. В качестве простейшей из таких проб может рассматриваться регистрация ЭКГ с задержкой дыхания на высоте глубокого вдоха.

Целью данной работы было оценить показатель в ЭКГ, отражающий увеличение правого желудочка, у больных пре-

капиллярной ЛГ как при спокойном дыхании, так и во время глубокого вдоха и сопоставить полученные данные с данными эхокардиографического исследования (ЭхоКГ), характеризующими структурно-функциональное состояние сердца.

## Материалы и методы

В исследование были включены 80 больных прекапиллярной ЛГ: 40 пациентов с идиопатической ЛГ (ИЛГ) в возрасте 43,5 [32; 53] лет и 40 пациентов с ХТЭЛГ в возрасте 50,5 [41; 58] лет. Диагноз был установлен на основании комплексного клинико-инструментального обследования. На момент включения в исследование пациенты как минимум, в течение 24 часов, не получали медикаментозной терапии, за исключением антикоагулянтов.

## Электрокардиография

ЭКГ регистрировались с помощью модульной системы для регистрации и дистанционной передачи ЭКГ «EASY ECG» (ООО «АТЕС МЕДИКА софт», Россия) в положении пациента лежа на спине сначала на свободном дыхании и затем после команды «Сделать глубокий вдох и задержать дыхание». Продолжительность каждой записи составляла 10 секунд, частота дискретизации – 500 Гц, разрешение по амплитуде приблизительно 0,5 мкВ/разряд. Ортогональные отведения X, Y, Z вЭКГ (система отведений МакФи-Парунгао) формировались из ЭКГ автоматически средствами программного обеспечения с помощью специальных линейных преобразований. Программное обеспечение также позволяло получить усредненный кардиокомплекс 10-ти секундной записи и провести все необходимые измерения.

Из показателей вЭКГ в данной работе мы изучали долю площади петли QRS в правых квадрантах горизонтальной плоскости от общей площади петли QRS в горизонтальной плоскости, выраженную в процентах (%SQRSxz).

Площадь петли QRS вычислялась как сумма площадей треугольников, образованных двумя соседними, исходящими из начальной точки петли QRS моментными векторами. Площадь петли QRS в горизонтальной плоскости представляет собой площадь проекции пространственной петли QRS на горизонтальную плоскость, образованную осями отведений X и Z.

Площадь петли QRS правых квадрантах (то есть, в отрицательной полуплоскости горизонтальной плоскости) измерялась как площадь петли QRS в плоскости XZ при  $X < 0$ .

## Эхокардиография

Трансторакальная ЭхоКГ проводилась на приборе Vivid E9 (GE Healthcare, США) с использованием датчика M5S-D в соответствии с рекомендациями по эхокардиографической оценке камер сердца у взрослых [3, 4].

Диастолический индекс эксцентричности левого желудочка (ИЭ) рассчитывался как соотношение переднезаднего и септолateralного размеров левого желудочка (ЛЖ) в парастернальной проекции по короткой оси на уровне папиллярных мышц.

Для оценки систолической функции правого желудочка (ПЖ) использовались систолическая экскурсия кольца трикуспидального клапана (TAPSE) и фракционное изменение площади (FAC).

Систолическое давление в легочной артерии (СДЛА) определялось как сумма максимального систолического градиента на трикуспидальном клапане и давления в правом предсердии (ПП). Для оценки давления в ПП использовался диаметр нижней полой вены и ее коллабирование на вдохе. Среднее давление в легочной артерии (срДЛА) определялось как сумма среднего систолического градиента на трикуспидальном клапане и давления в ПП. Расчет диастолического давления в легочной артерии (ДДЛА) проводился по формуле:  $ДДЛА = (3срДЛА - СДЛА) / 2$ . Для расчета давления заклинивания легочной артерии (ДЗЛА) использовалась формула Nagueh:  $ДЗЛА = 1,24 \times E / E' + 1,9$ , где E – максимальная скорость раннего диастолического наполнения левого желудочка при импульсно-волновой доплерографии, E' – максимальная скорость раннего диастолического смещения латерального сегмента кольца митрального клапана при тканевой миокардиальной доплерографии.

Легочное сосудистое сопротивление (ЛСС) вычислялось по формуле  $ЛСС = \text{пиковая скорость на трикуспидальном клапане} / VTI \times 10 + 0,16$ , где VTI – интеграл линейной скорости кровотока в выходном тракте ПЖ.

В качестве индекса сопряжения ПЖ-ЛА вычислялось соотношение TAPSE/СДЛА, отражающее сократительную реакцию ПЖ на постнагрузку.

Фракцию выброса левого желудочка (ФВ ЛЖ) рассчитывали по методу Симпсона из апикальной 4- и 2-камерной позиции. Для расчета ударного объема (УО) использовалась формула:  $УО = \pi r^2 \times VTI$ , где r – радиус (1/2 диаметра) выходного тракта ЛЖ, VTI – интеграл линейной скорости кровотока в выходном тракте ЛЖ. Сердечный выброс (СВ) рассчитывался путем умножения УО на частоту сердечных сокращений.

Для оценки диастолической функции правого желудочка использовалось отношение скоростей раннего и позднего диастолического наполнения (E/A), скорость раннего диастолического смещения кольца трикуспидального клапана по данным тканевой миокардиальной доплерографии (E') и отношение E/E'.

## Статистический анализ

Статистический анализ данных проводился с помощью программного обеспечения MedCalc (MedCalc Software BVBA, Бельгия).

Соответствие нормальному распределению количественных переменных оценивалось с помощью критерия Шапиро-Уилка (при числе переменных менее 50) или критерия Колмогорова-Смирнова (при числе переменных более 50).

Непрерывные переменные в зависимости от типа распределения представлены либо в виде средних арифметических величин и стандартных отклонений, либо в виде медианы и межквартильного размаха; качественные переменные – в виде абсолютных значений и процентных долей. Для оценки различий двух независимых количественных переменных использовались непарный t-тест Стьюдента или критерий Манна-Уитни, для сравнения зависимых количественных переменных – парный тест Стьюдента или критерий Вилкоксона. Для сравнения качественных переменных использовались точный критерий Фишера и метод хи-квадрат. Корреляционные связи между количественными показателями оценивались с помощью коэффициента корреляции Пирсона или коэффициента ранговой корреляции Спирмена. За уровень статистической значимости принимали  $p < 0,05$ .

## Результаты

В данное исследование были включены пациенты с прекапиллярной ЛГ, преимущественно II-III функционального класса по классификации ВОЗ, у которых по данным ЭхоКГ отмечались дилатация правых отделов сердца, гипертрофия правого желудочка с нарушением его систолической и диастолической функции; более чем у 40% пациентов имелся перикардиальный выпот.

Значения %SQRsхz при свободном дыхании составили  $49 \pm 23\%$ , на вдохе –  $55 \pm 23\%$  ( $p < 0,0001$ ). Разница между %SQRsхz при свободном дыхании и на вдохе в группе в целом составила  $6 \pm 8\%$ , при этом у 58 (72,5%) пациентов во время глубокого вдоха происходило увеличение %SQRsхz, у 18 (22,5%) уменьшение, у 4 (5%) пациентов %SQRsхz не изменялась.

Значения эхокардиографических показателей в изученной группе и их коэффициенты корреляции с %SQRsхz и с разницей %SQRsхz в покое и на вдохе представлены в таблице 1.

Таким образом, были обнаружены умеренные прямые корреляции %SQRsхz с площадью правого предсердия, размерами и толщиной передней стенки правого желудочка, индексом эксцентricности, СДЛА, срДЛА и ЛСС, а также умеренные обратные корреляции %SQRsхz с показателями систолической функции правого желудочка, ударным объемом и сердечным выбросом. Разница %SQRsхz в покое и на вдохе имела обратные корреляции с срДЛА, ДДЛА и E/E'тк.

Значения эхокардиографических показателей в группах с увеличением %SQRsхz на вдохе и уменьшением или от-

**Таблица 1. Значения эхокардиографических показателей в изученной группе и их коэффициенты корреляции с %SQRsхz и с разницей %SQRsхz в покое и на вдохе [составлено авторами]**

**Table 1. Values of echocardiographic parameters in the studied group and their correlation coefficients with %SQRsхz and with the difference in %SQRsхz at rest and during inhalation [compiled by the authors]**

Показатель	Значение	%SQRsхz	Разница %SQRsхz в покое и на вдохе
S ПП, см <sup>2</sup>	22,0±6,90	<b>0,52 p&lt;0,0001</b>	-0,23 p=0,043
ВТПЖ, см	3,8 [3,5; 4,1]	<b>0,44 p=0,000</b>	-0,25 p=0,026
БРПЖ, см	4,72±0,62	<b>0,55 p&lt;0,0001</b>	-0,16 p=0,14
ТПС ПЖ, см	0,6 [0,5; 0,7]	<b>0,61 p=0,000</b>	-0,30 p=0,008
ЛА, см	3,1±0,5	0,29 p=0,008	-0,15 p=0,18
КДР ЛЖ, см	4,31±0,58	<b>-0,46 p&lt;0,0001</b>	0,17 p=0,12
ИЭ	1,2 [1,1; 1,5]	<b>0,66 p=0,000</b>	-0,26 p=0,02
ФАС, %	26,1±5,4	<b>-0,58 p&lt;0,0001</b>	0,28 p=0,01
ТАРСЕ, см	1,46±0,25	<b>-0,55 p&lt;0,0001</b>	0,24 p=0,02
ФВ ЛЖ, %	61,6±2,1	-0,34 p=0,002	0,11 p=0,31
УО, мл	47,1±13,1	<b>-0,45 p&lt;0,0001</b>	0,12 p=0,26
СВ, л/мин	3,26±0,98	<b>-0,41 p=0,0002</b>	0,04 p=0,72
ТАРСЕ/СДЛА, мм/мм рт. ст.	0,19±0,07	<b>-0,61 p&lt;0,0001</b>	0,25 p=0,02
Е ТК, см/с	42,4±12,3	0,09 p=0,42	-0,31 p=0,005
А ТК, см/с	29,5 [26; 36]	-0,29 p=0,01	0,04 p=0,68
Е/А ТК	1,6 [0,7; 1,8]	0,28 p=0,01	-0,31 p=0,006
Е'тк, см/с	6,0 [5; 7]	<b>-0,40 p=0,000</b>	0,26 p=0,02
Е/Е'тк	6,5 [5; 9,4]	0,33 p=0,003	<b>-0,37 p=0,001</b>
СДЛА, мм рт. ст.	82,9±17,8	<b>0,46 p&lt;0,0001</b>	-0,28 p=0,01
срДЛА, мм рт. ст.	49,4±10,0	<b>0,44 p&lt;0,0001</b>	<b>-0,35 p=0,001</b>
ДДЛА, мм рт. ст.	32,3±7,4	<b>0,35 p=0,001</b>	<b>-0,38 p=0,0005</b>
ДЗЛА, мм рт. ст.	8,1±1,3	-0,15 p=0,17	0,04 p=0,68
ДПП, мм рт. ст.	5,0 [5; 8]	<b>0,36 p=0,002</b>	-0,30 p=0,007
ЛСС, дин*сек/см <sup>-5</sup>	986±407	<b>0,47 p&lt;0,0001</b>	-0,21 p=0,06

Примечание/Note: представлены среднее значение ± стандартное отклонение или медиана и межквартильный размах (arithmetic mean ± standard deviation or median and interquartile range)

S ПП – площадь правого предсердия (S RA – area of the right atrium); ВТПЖ – выходной тракт правого желудочка (RVOT – right ventricular outflow tract); БРПЖ – базальный размер правого желудочка (RV BD – right ventricle basal dimension); ТПС ПЖ – толщина передней стенки правого желудочка (RV AWT – right ventricle anterior wall thickness); ЛА – легочная артерия (PA – pulmonary artery); КДР ЛЖ – конечный диастолический размер левого желудочка (LV EDD – end diastolic dimension of the left ventricle); ИЭ – диастолический индекс эксцентricности (IE – diastolic eccentricity index); ФАС – фракционное изменение площади правого желудочка (FAC – fractional area change of the right ventricle); ТАРСЕ – систолическая экскурсия кольца трикуспидального клапана (ТАРСЕ – tricuspid annular plane systolic excursion); ФВ ЛЖ – фракция выброса левого желудочка (LVEF – left ventricular ejection fraction); УО ЛЖ – ударный объем левого желудочка (LVSV – left ventricular stroke volume); СВ – сердечный выброс (CO – cardiac output); Е – пиковая скорость в фазу раннего диастолического наполнения (Е – peak velocity in the early diastolic filling phase); А – пиковая скорость в фазу позднего диастолического наполнения (А – peak velocity in the late diastolic filling phase); ТК – трикуспидальный клапан (TV – tricuspid valve); Е'тк – скорость раннего диастолического смещения латерального сегмента кольца трикуспидального клапана по данным тканевой миокардиальной доплерографии (Е'тк – the speed of early diastolic displacement of the lateral segment of the tricuspid valve annulus according to tissue myocardial Doppler); СДЛА – систолическое давление в легочной артерии (PASP – pulmonary artery systolic pressure); срДЛА – среднее давление в легочной артерии (mPAP – mean pulmonary artery pressure); ДДЛА – диастолическое давление в легочной артерии (PADP – pulmonary artery diastolic pressure); ДЗЛА – давление заклинивания легочной артерии (PAWP – pulmonary artery wedge pressure); ДПП – давление в правом предсердии (RAP – right atrium pressure); ЛСС – легочное сосудистое сопротивление (PVR – pulmonary vascular resistance); %SQRsхz – доля площади петли QRS в правых квадрантах горизонтальной плоскости от общей площади петли QRS в горизонтальной плоскости (%SQRsхz – the proportion of the QRS loop area in the right quadrants of the horizontal plane from the total area of the QRS loop in the horizontal plane)

сутствием изменений %SQRSxz на вдохе представлены в таблице 2.

У большинства пациентов (72,5%) на вдохе происходило увеличение %SQRSxz. При этом группа пациентов с уменьшением или отсутствием изменений %SQRSxz на вдохе характеризовалась более высокими значениями толщины

передней стенки правого желудочка, индекса эксцентricности, давления в легочной артерии и ЛСС; более выраженными нарушениями систолической и диастолической функции правого желудочка. У них также чаще присутствовали выраженная трикуспидальная недостаточность и перикардиальный выпот.

**Таблица 2. Значения эхокардиографических показателей в группах с увеличением %SQRSxz на вдохе и уменьшением или отсутствием изменений %SQRSxz на вдохе [составлено авторами]**

**Table 2. Values of echocardiographic parameters in groups with an increase in %SQRSxz during inhalation and a decrease or no change in %SQRSxz during inhalation [compiled by the authors]**

Показатель	Увеличение %SQRSxz на вдохе 58 (72,5%)	Уменьшение/без изменений %SQRSxz на вдохе 22 (27,5%)	p
Мужской пол	14 (24%)	6 (27%)	0,77
Возраст, годы	44,3±12,4	47,5±11,7	0,31
ФК (ВОЗ)	I-II	6 (27%)	0,08
	III-IV	16 (73%)	
S ПП, см <sup>2</sup>	21,4±6,8	23,7±7,1	0,18
<b>ВТПЖ, см</b>	<b>3,74±0,33</b>	<b>3,96±0,43</b>	<b>0,01</b>
БРПЖ, см	4,66±0,62	4,90±0,61	0,11
<b>ТПС ПЖ, см</b>	<b>0,6 [0,5; 0,7]</b>	<b>0,7 [0,6; 0,7]</b>	<b>0,02</b>
ЛА, см	3,0±0,5	3,2±0,4	0,06
КДР ЛЖ, см	4,34±0,56	4,24±0,64	0,46
<b>ИЭ</b>	<b>1,28±0,22</b>	<b>1,40±0,25</b>	<b>0,045</b>
<b>ФАС, %</b>	<b>27,0±5,3</b>	<b>23,6±5,0</b>	<b>0,01</b>
<b>ТАРСЕ, см</b>	<b>1,50±0,24</b>	<b>1,37±0,25</b>	<b>0,046</b>
ФВ ЛЖ, %	61,9±2,2	61,1±2,1	0,15
УО, мл	47,3±12,5	46,8±14,7	0,87
СВ, л/мин	3,25±0,93	3,30±0,13	0,83
<b>ТАРСЕ/СДЛА, мм/мм рт. ст.</b>	<b>0,20±0,07</b>	<b>0,16±0,05</b>	<b>0,01</b>
Е ТК, см/с	41,1±12,5	45,7±11,8	0,14
А ТК, см/с	32,5±9,2	34,0±12,0	0,54
Е/А ТК	1,37±0,53	1,50±0,55	0,32
<b>Е'тк, см/с</b>	<b>6,19±1,42</b>	<b>5,45±1,14</b>	<b>0,03</b>
<b>Е/Е'тк</b>	<b>7,09±3,35</b>	<b>9,06±4,26</b>	<b>0,03</b>
<b>СДЛА, мм рт. ст.</b>	<b>79,7±17,0</b>	<b>91,5±17,4</b>	<b>0,007</b>
<b>срДЛА, мм рт. ст.</b>	<b>47,2±9,1</b>	<b>55,2±10,1</b>	<b>0,001</b>
<b>ДДЛА, мм рт. ст.</b>	<b>30,6±6,5</b>	<b>36,9±7,9</b>	<b>0,0005</b>
ДЗЛА, мм рт. ст.	8,19±1,40	8,11±1,08	0,82
ДПП, мм рт. ст.	5,0 [5,0; 8,0]	6,5 [5,0; 10,0]	0,19
<b>ЛСС, дин*сек/см<sup>-5</sup></b>	<b>928±365</b>	<b>1140±479</b>	<b>0,03</b>
Трикуспидальная недостаточность	1 степени	5 (23%)	0,045
	2 степени	9 (41%)	
	<b>3 степени</b>	<b>8 (36%)</b>	
Перикардиальный выпот	нет	8 (36%)	0,04
	есть	14 (64%)	

Примечание/Note: представлены среднее значение ± стандартное отклонение или медиана и межквартильный размах (arithmetic mean ± standard deviation or median and interquartile range (IQR))

ФК – функциональный класс (FC – functional class); S ПП – площадь правого предсердия (S RA – area of the right atrium); ВТПЖ – выходной тракт правого желудочка (RVOT – right ventricular outflow tract); БРПЖ – базальный размер правого желудочка (RV BD – right ventricle basal dimension); ТПС ПЖ – толщина передней стенки правого желудочка (RV AWT – right ventricle anterior wall thickness); ЛА – легочная артерия (PA – pulmonary artery); КДР ЛЖ – конечный диастолический размер левого желудочка (LV EDD – end diastolic dimension of the left ventricle); ИЭ – диастолический индекс эксцентricности (IE – diastolic eccentricity index); ФАС – фракционное изменение площади правого желудочка (FAC – fractional area change of the right ventricle); ТАРСЕ – систолическая экскурсия кольца трикуспидального клапана (ТАРСЕ – tricuspid annular plane systolic excursion); ФВ ЛЖ – фракция выброса левого желудочка (LVEF – left ventricular ejection fraction); УО – ударный объем левого желудочка (LVSV – left ventricular stroke volume); СВ – сердечный выброс (CO – cardiac output); Е – пиковая скорость в фазу раннего диастолического наполнения (Е – peak velocity in the early diastolic filling phase); А – пиковая скорость в фазу позднего диастолического наполнения (А – peak velocity in the late diastolic filling phase); ТК – трикуспидальный клапан (TV – tricuspid valve); Е'тк – скорость раннего диастолического смещения латерального сегмента кольца трикуспидального клапана по данным тканевой миокардиальной доплерографии (Е'тк – the speed of early diastolic displacement of the lateral segment of the tricuspid valve annulus according to tissue myocardial Doppler); СДЛА – систолическое давление в легочной артерии (PASP – pulmonary artery systolic pressure); срДЛА – среднее давление в легочной артерии (mPAP – mean pulmonary artery pressure); ДДЛА – диастолическое давление в легочной артерии (PADP – pulmonary artery diastolic pressure); ДЗЛА – давление заклинивания легочной артерии (PAWP – pulmonary artery wedge pressure); ДПП – давление в правом предсердии (RAP – right atrium pressure); ЛСС – легочное сосудистое сопротивление (PVR – pulmonary vascular resistance); %SQRSxz – доля площади петли QRS в правых квадрантах горизонтальной плоскости от общей площади петли QRS в горизонтальной плоскости (%SQRSxz – the proportion of the QRS loop area in the right quadrants of the horizontal plane from the total area of the QRS loop in the horizontal plane)

## Клинические примеры

На рисунке 1 представлены вЭКГ в покое и на вдохе больной 43 лет с диагнозом: ИЛГ. Функциональный класс IV (ВОЗ).

При ЭхоКГ выявляется дилатация правых камер сердца, расширение ствола и ветвей легочной артерии. Гипертрофия миокарда правого желудочка (ТПСПЖ 7 мм). Высокая легочная гипертензия (СДЛА 100 мм рт. ст.). Относительная недостаточность трикуспидального клапана 3 степени. Признаки значительного повышения центрального венозного давления. Нарушение систолической (FAC 19%, TAPSE 11 мм) и диастолической ( $e' 5$  см/с,  $E/e' 12,4$ ) функции правого желудочка. Площадь правого предсердия 42 см<sup>2</sup>, имеется перикардиальный выпот, TAPSE/СДЛА 0,11 мм/мм рт. ст.

На рисунке 2 представлены вЭКГ в покое и на вдохе больной 45 лет с диагнозом: ИЛГ. Функциональный класс II (ВОЗ).

При ЭхоКГ расширение полости правого желудочка, ствола и ветвей легочной артерии. Гипертрофия миокарда правого желудочка (ТПСПЖ 5 мм). Легочная гипертензия (СДЛА 53 мм рт. ст.). Нарушение систолической функции правого желудочка (FAC 30%, TAPSE 15 мм). Нижняя полая вена не расширена, удовлетворительно коллабирует на вдохе. Площадь правого предсердия 16 см<sup>2</sup>, перикардиального выпота нет, TAPSE/СДЛА 0,28 мм/мм рт. ст.

## Обсуждение

%SQRSxz – это один из традиционных векторкардиографических показателей, позволяющих с высокой эффективностью диагностировать увеличение правого желудочка у больных ЛГ. При анализе данных 116 больных легочной артериальной гипертензией и 140 больных ИБС и артериальной гипертензией с низкой вероятностью наличия ЛГ по данным ЭхоКГ этот показатель (с пороговым значением >20%) обладал чувствительностью 87% и специфичностью 96% [5].

В нашей группе значения %SQRSxz составили в среднем  $49 \pm 23\%$ . При этом были выявлены умеренные прямые корреляции этого показателя с площадью правого предсердия, размерами и толщиной передней стенки правого же-

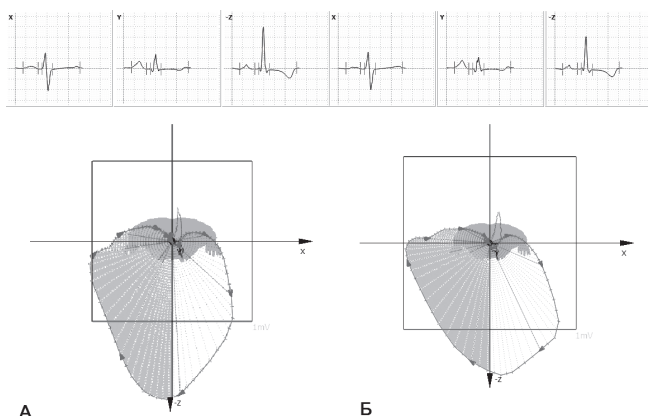
лудочка, индексом эксцентричности, СДЛА, срДЛА и ЛСС, а также обратные корреляции с показателями систолической функции правого желудочка, ударным объемом и сердечным выбросом. По-видимому, %SQRSxz у больных ЛГ позволяет не только выявлять увеличение правого желудочка, но и в какой-то мере оценивать его тяжесть.

Глубокий вдох вызывает множество физиологических эффектов, которые могут приводить к различным изменениям ЭКГ и вЭКГ [6]. Одним из наиболее часто упоминаемых изменений ЭКГ во время глубокого вдоха является смещение электрической оси сердца вправо от исходного положения.

У больных ИЛГ и ХТЭЛГ были выявлены разные варианты изменений электрической оси сердца на вдохе [7]. Пациенты, у которых электрическая ось сердца на вдохе смещалась влево от исходной по сравнению теми, у которых она смещалась вправо от исходной, характеризовались более высокими значениями легочного сосудистого сопротивления, индекса эксцентричности, а также снижением объемов левого желудочка, ударного объема и сердечного выброса.

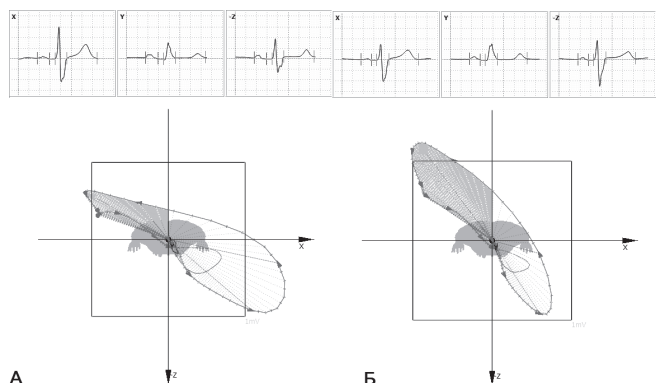
В настоящем исследовании нами были выявлены разные варианты изменений %SQRSxz на вдохе у больных с прекапиллярной легочной гипертензией. У большинства пациентов на вдохе происходило увеличение %SQRSxz. Сравнительно небольшая (27,5%) группа пациентов с уменьшением или отсутствием изменений %SQRSxz на вдохе характеризовалась более высокими значениями толщины передней стенки правого желудочка, индекса эксцентричности, давления в легочной артерии и ЛСС; более выраженными нарушениями систолической и диастолической функции правого желудочка; наличием выраженной трикуспидальной недостаточности и перикардиального выпота.

В работах, посвященных изменению векторкардиограмм в зависимости от фаз дыхания, было показано, что при глубоком вдохе в горизонтальной плоскости уменьшается амплитуда векторов QRS, направленных влево, и увеличивается амплитуда векторов, направленных вперед и назад [8]. Предполагается, что эти изменения могут быть обусловлены изменением анатомического положения сердца, электропроводности легких и другими механизмами.



**Рисунок 1.** вЭКГ в горизонтальной плоскости в покое (А) и на вдохе (Б) больной 43 лет с диагнозом: ИЛГ. Функциональный класс IV (ВОЗ). %SQRSxz в покое 56%, на вдохе 51% [составлено авторами]

**Figure 1.** VECG in the horizontal plane at rest (A) and during inspiration (B) of a 43-year-old patient with a diagnosis of idiopathic pulmonary hypertension. Functional class IV (WHO). %SQRSxz at rest 56%, during inspiration 51% [compiled by the authors]



**Рисунок 2.** вЭКГ в горизонтальной плоскости в покое (А) и на вдохе (Б) больной 45 лет с диагнозом: ИЛГ. Функциональный класс II (ВОЗ). %SQRSxz в покое 21%, на вдохе 47% [составлено авторами]

**Figure 2.** VECG in the horizontal plane at rest (A) and during inspiration (B) of a 45-year-old patient with a diagnosis of idiopathic pulmonary hypertension. Functional class II (WHO). %SQRSxz at rest 21%, during inspiration 47% [compiled by the authors]

Известно, что у здоровых лиц на вдохе происходит увеличение конечного диастолического, конечного систолического объемов правого желудочка и ударного объема и уменьшение объемов левого желудочка [9]. У пациентов с прекапиллярной ЛГ отсутствие дыхательных колебаний давления в правом предсердии при чрезвенозной катетеризации сердца было связано с низким сердечным индексом, высоким ЛСС, наличием дисфункции правого желудочка и большим числом госпитализаций в течение года по поводу правожелудочковой недостаточности [10].

Наше исследование имеет ряд ограничений. В исследовании использовали ЭКГ, которые регистрировались в рутинной клинической практике в соответствии с современными рекомендациями [11]. Поэтому не использовались какие-либо специальные способы объективизации глубины и скорости вдоха. В данной работе не изучалось, как %SQRsXz изменяется на вдохе в норме. Однако из предыдущих работ известно, что у здоровых лиц значения этого показателя, как правило, равны нулю [5]. В данной работе мы ограничились изучением лишь одного показателя вЭКГ, характеризующего процессы деполяризации желудочков сердца. В дальнейшем представляется перспективным изучение возможностей более комплексной оценки вЭКГ, в частности, показателей, отражающих глобальную электрическую гетерогенность миокарда. Такой подход, очевидно, потребует также использования более совершенных способов обработки данных, в том числе, глубокого машинного обучения.

## Заключение

В данной работе мы изучали показатель вЭКГ, отражающий увеличение правого желудочка – долю площади петли QRS в правых квадрантах горизонтальной плоскости

(%SQRsXz) у больных прекапиллярной ЛГ (ИЛГ и ХТЭ-ЛГ). Из предыдущих работ известно, что у лиц без ЛГ значения этого показателя редко превышают 20%. Значения %SQRsXz в нашей группе составили  $49 \pm 23\%$ .

Нами были обнаружены умеренные прямые корреляции %SQRsXz с площадью правого предсердия, размерами и толщиной передней стенки правого желудочка, индексом эксцентричности, СДЛА, срДЛА и ЛСС, а также умеренные обратные корреляции %SQRsXz с показателями систолической функции правого желудочка, ударным объемом и сердечным выбросом. По-видимому, этот показатель у больных ЛГ можно использовать не только для выявления наличия увеличения правого желудочка, но и для оценки его тяжести.

Во время глубокого вдоха у 72,5% пациентов в нашей группе происходило увеличение %SQRsXz, у 22,5% уменьшение, а у 5% пациентов его изменений не наблюдалось. При этом группа пациентов с уменьшением или отсутствием изменений %SQRsXz на вдохе характеризовалась более высокими значениями толщины передней стенки правого желудочка, индекса эксцентричности, давления в легочной артерии и ЛСС; более выраженными нарушениями систолической и диастолической функции правого желудочка; наличием выраженной трикуспидальной недостаточности и перикардального выпота. Разница %SQRsXz в покое и на вдохе имела обратные корреляции с срДЛА, ДДЛА и E/E'тк.

Полученные результаты позволяют считать перспективными дальнейшие исследования возможностей использования вЭКГ как для выявления, так и для оценки тяжести поражения сердца у больных ЛГ с привлечением современных способов обработки данных, в частности, глубокого машинного обучения.

## Список литературы/ References:

- Авдеев С.Н., Барбараш О.Л., Валиева З.С., Волков А.В., Веселова Т.Н., Галывич А.С., Гончарова Н.С., Горбачевский С.В., Грамович В.В., Данилов Н.М., Клименко А.А., Мартынюк Т.В., Моисеева О.М., Рыжкова Д.В., Симакова М.А., Синицын В.Е., Стукалова О.В., Чазова И.Е., Черногоров И.Е., Шмальц А.А., Царева Н.А. Легочная гипертензия, в том числе хроническая тромбоэмболическая легочная гипертензия. Клинические рекомендации 2024. Российский кардиологический журнал. 2024;29(11):6161. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2024-6161>
- [Avdeev S.N., Barbarash O.L., Valieva Z.S., Volkov A.V., Veselova T.N., Galyavich A.S., Goncharova N.S., Gorbachevsky S.V., Gramovich V.V., Danilov N.M., Klimentko A.A., Martynuk T.V., Moiseeva O.M., Ryzhkova D.V., Simakova M.A., Sinityn V.E., Stukalova O.V., Chazova I.E., Chernogorov I.E., Shmalts A.A., Tsareva N.A. 2024 Clinical practice guidelines for Pulmonary hypertension, including chronic thromboembolic pulmonary hypertension. Russian Journal of Cardiology. 2024;29(11):6161. (In Russ) <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2024-6161>]
- Chazova IY, Martynuk TV, Valieva ZS, Gratsianskaya SY, Aleevskaya AM, Zorin AV, Nakonechnikov SN. Clinical and Instrumental Characteristics of Newly Diagnosed Patients with Various Forms of Pulmonary Hypertension according to the Russian National Registry. Biomed Res Int. 2020;2020:6836973. <https://doi.org/10.1155/2020/6836973>
- Mukherjee M, Rudski LG, Addetia K, Afalalo J, D'Alto M, Freed BH, Friend LB, Gargani L, Grapsa J, Hassoun PM, Hua L, Kim J, Mercurio V, Saggari R, Vonk-Noordegraaf A. Guidelines for the Echocardiographic Assessment of the Right Heart in Adults and Special Considerations in Pulmonary Hypertension: Recommendations from the American Society of Echocardiography. J Am Soc Echocardiogr. 2025; 38(3): 141-186. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2025.01.006>
- Мацкеплишвили С.Т., Саидова М.А., Мироненко М.Ю., Сафарова А.Ф., Павлюкова Е.Н., Бощенко А.А., Ярославская Е.И., Ахунова С.Ю., Скидан В.И., Иртыга О.Б., Козленок А.В., Федорова Д.Н. Выполнение стандартной трансторакальной эхокардиографии. Методические рекомендации 2024. Российский кардиологический журнал. 2025;30(2):6271. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2025-6271>
- [Matskeplishvili S.T., Saidova M.A., Mironenko M.Yu., Safarova A.F., Pavlyukova E.N., Boshchenko A.A., Yaroslavskaya E.I., Akhunova S.Yu., Skidan V.I., Irtyuga O.B., Kozlenok A.V., Fedorova D.N. Standard transthoracic echocardiography. Guidelines 2024. Russian Journal of Cardiology. 2025;30(2):6271. (In Russ) <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2025-6271>]
- Блинова Е.В., Сахнова Т.А., Рыбкина Г.В. Использование синтезированной векторкардиограммы в диагностике гипертрофии правого желудочка у больных легочной гипертензией. Пособие для практикующих врачей. Медицинский алфавит. 2019;4(36):32-46. [Blinova E.V., Sakhnova T.A., Rybykina G.V. The use of synthesized vector cardiograms in the diagnosis of right ventricular hypertrophy in patients with pulmonary hypertension. Manual for practitioners. Medical alphabet. 2019;4(36):32-46. (In Russ.)]
- Баркан В.С., Дроздов Д.В., Резветсов Г.Д. Электрокардиограмма на вдохе: физиологические механизмы и диагностические возможности пробы. Медицинский алфавит. 2023;28(22):36-42. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-22-36-42>
- [Barkan V.S., Drozdov D.V., Rezvetsov G.G. Deep inspiration electrocardiogram test: physiologic mechanisms and diagnostic capabilities. Medical alphabet. 2023;(22):36-42. (In Russ) <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-22-36-42>]
- Сахнова Т.А., Блинова Е.В., Мартынюк Т.В., Белевская А.А., Саидова М.А., Дроздов Д.В. Связь изменений электрической оси сердца на вдохе со структурно-функциональным состоянием сердца по данным эхокардиографии у больных прекапиллярной легочной гипертензией. Системные гипертензии. 2024;21(2):27-34. <https://doi.org/10.38109/2075-082X-2024-2-25-32>
- [Sakhnova T.A., Blinova E.V., Martynuk T.V., Belevskaya A.A., Saidova M.A., Drozdov D.V. Relationship between changes in the electrical axis of the heart during inspiration and the structural and functional state of the heart according to echocardiography in patients with precapillary pulmonary hypertension. Systemic Hypertension. 2024;21(2):27-34. (In Russ) <https://doi.org/10.38109/2075-082X-2024-2-25-32>]
- Yamada N. Effects of respiration on the vectorcardiogram obtained with the Frank lead system. Acta Med Okayama. 1985; 39(4): 297-313. doi: 10.18926/AMO/31492
- Claessen G, Claus P, Delcroix M, Bogaert J, La Gerche A, Heidbuchel H. Interaction between respiration and right versus left ventricular volumes at rest and during exercise: a real-time cardiac magnetic resonance study. Am J Physiol Heart Circ Physiol. 2014;306(6):H816-24. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00752.2013>
- Al-Qadi MO, Holbrook J, Ford HJ, Ceppe A, LeVarge BL. Prognostic Value of Respiratory Variation in Right Atrial Pressure in Patients with Precapillary Pulmonary Hypertension. Chest. 2023;164(2):481-489. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2023.03.030>
- Дроздов Д.В., Макаров Л.М., Баркан В.С., Газашвили Т.М., Ефимова В.П., Жук М.Ю., Иртыга О.Б., Калинин Л.А., Ковалёв И.А., Комолятова В.Н., Пармон Е.В., Рогоза А.Н., Стручков П.В., Татаринова А.А., Терегулов Ю.Э., Трешкур Т.В., Шутов Д.В. Регистрация электрокардиограммы покоя в 12 общепринятых отведениях у взрослых и детям 2023. Методические рекомендации. Российский кардиологический журнал. 2023;28(10):5631. [Drozdov D.V., Makarov L.M., Barkan V.S., Gazashvili T.M., Efimova V.P., Zhuk M.Yu., Irtyuga O.B., Kalinin L.A., Kovalev I.A., Komolyatova V.N., Parmon E.V., Rogoza A.N., Struchkov P.V., Tatarinova A.A., Terregulov Yu.E., Treshkur T.V., Shutov D.V. Resting 12-lead electrocardiography for adults and children. 2023 Guidelines. Russian Journal of Cardiology. 2023;28(10):5631. (In Russ) <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2023-5631>]