

Связь изменений электрической оси сердца на вдохе со структурно-функциональным состоянием сердца по данным эхокардиографии у больных прекапиллярной легочной гипертензией

*Сахнова Т.А., Блинова Е.В., Мартынюк Т.В., Белевская А.А., Саидова М.А., Дроздов Д.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии имени академика Е.И. Чазова» Минздрава России, ул. Академика Чазова, д. 15 а, г. Москва 121552, Российская Федерация.

Аннотация

Введение. Глубокий вдох вызывает целый спектр физиологических эффектов, находящих отражение на электрокардиограмме.

Цель исследования – оценить положение электрической оси сердца во время глубокого вдоха по сравнению со спокойным дыханием у больных прекапиллярной легочной гипертензией и сопоставить эти данные с эхокардиографическими характеристиками структурно-функционального состояния сердца.

Материалы и методы. В исследование были включены 40 пациентов идиопатической легочной гипертензией и 40 пациентов хронической тромбоэмболической легочной гипертензией. При эхокардиографии оценивались размеры камер сердца, систолическая и диастолическая функция правого и левого желудочков, давление в легочной артерии, легочное сосудистое сопротивление, показатели сердечно-сосудистого сопряжения.

Результаты. Значения электрической оси сердца при свободном дыхании составили 106° [84° ; 123°], на вдохе – 89° [87° ; 120°] ($p=0,68$). У 50 (62,5%) пациентов во время глубокого вдоха происходило смещение электрической оси сердца влево от исходной, а у 30 (37,5%) пациентов – вправо от исходной. У больных со смещением электрической оси сердца влево от исходной по сравнению с остальными конечный диастолический размер левого желудочка, конечный диастолический и конечный систолический объемы левого желудочка, ударный объем, сердечный выброс были статистически значимо меньше, а индекс эксцентричности, легочное сосудистое сопротивление и эффективная жесткость аорты – значимо больше.

Заключение. У больных прекапиллярной легочной гипертензией выявлено два варианта изменений положения электрической оси сердца во время глубокого вдоха: смещение вправо от исходной и влево от исходной. Больные со смещением электрической оси сердца влево от исходной характеризовались значимо большим увеличением легочного сосудистого сопротивления, снижением объемов левого желудочка, ударного объема и сердечного выброса.

Ключевые слова: электрокардиограмма, вдох, легочная гипертензия, эхокардиография

Вклад авторов. Все авторы соответствуют критериям авторства ICMJE, принимали участие в подготовке статьи, наборе материала и его обработке. Вклад по системе Credit: Сахнова Т.А. – методология, проведение исследования, редактирование рукописи; Блинова Е.В. – методология, проведение исследования, формальный анализ, создание черновика рукописи; Мартынюк Т.В. – редактирование рукописи, руководство исследованием; Белевская А.А. – проведение исследования, редактирование рукописи; 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 принятию в журнале процедуру рецензирования. Об иных конфликтах интересов авторы не заявляли.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии финансирования.

Сведения об авторах:

***Автор, ответственный за переписку:** Сахнова Тамара Анатольевна, к.м.н., старший научный сотрудник, лаборатория ЭКГ, НИИ клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова, ФГБУ «НМИЦК им. акад. Е.И. Чазова» Минздрава России, ул. Академика Чазова, д. 15 а, 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, НИИ клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова, ФГБУ «НМИЦК им. акад. Е.И. Чазова» Минздрава России, г. Москва, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-8725-7084

Мартынюк Тамара Витальевна, д.м.н., руководитель отдела легочной гипертензии и заболеваний сердца, НИИ 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

Белевская Анна Андреевна, к.м.н., младший научный сотрудник, отдел ультразвуковых методов исследования, НИИ клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова, ФГБУ «НМИЦК им. акад. Е.И. Чазова» Минздрава России, г. Москва, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-8029-5739

Саидова Марина Абдулатиповна, д.м.н., профессор, главный научный сотрудник, отдел ультразвуковых методов исследования, НИИ 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, НИИ клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова, ФГБУ «НМИЦК им. акад. Е.И. Чазова» Минздрава России, г. Москва, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-7374-3604

Для цитирования: 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):25-32. <https://doi.org/10.38109/2075-082X-2024-2-25-32>

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

*Tamara A. Sakhnova, Elena V. Blinova, Tamila V. Martynyuk, Anna A. Belevskaya, Marina A. Saidova, Dmitry V. Drozdov

E.I. Chazov National Medical Research Center of cardiology, St. Academician Chazova, 15 a, Moscow 121552, Russian Federation

Abstract

Introduction. A deep breath causes a whole range of physiological effects that are reflected in the electrocardiogram.

The purpose of the study is to assess the position of the electrical axis of the heart during deep inspiration compared to quiet breathing in patients with precapillary pulmonary hypertension and compare these data with echocardiographic characteristics of the structural and functional state of the heart.

Materials and methods. The study included 40 patients with idiopathic pulmonary hypertension and 40 patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension. Echocardiography assessed the size of the heart chambers, systolic and diastolic function of the right and left ventricles, pulmonary artery pressure, pulmonary vascular resistance and indicators of cardiovascular coupling.

Results. The values of the electrical axis of the heart during free breathing were 106° [84° ; 123°], on inspiration – 89° [87° ; 120°] ($p=0.68$). In 50 (62.5%) patients, during a deep inspiration, the electrical axis of the heart shifted to the left from the original one, and in 30 (37.5%) patients – to the right. In patients with a displacement of the electrical axis of the heart to the left from the original, compared with the others, the end-diastolic size of the left ventricle, end-diastolic and end-systolic volumes of the left ventricle, stroke volume, cardiac output were statistically significantly lower, and the eccentricity index, pulmonary vascular resistance and effective aortic stiffness – significantly larger.

Conclusion. In patients with precapillary pulmonary hypertension, two variants of changes of the heart electrical axis during deep inspiration were identified: a shift to the right from the original and to the left from the original. Patients with a displacement of the electrical axis to the left from the original were characterized by a significantly greater increase in pulmonary vascular resistance, a decrease in left ventricular volumes, stroke volume and cardiac output.

Keywords: electrocardiogram, inspiration, pulmonary hypertension, echocardiography

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: Sakhnova T.A. – Methodology, Investigation, Writing – Review & Editing; Blinova E.V. – Methodology, Investigation, Formal analysis, Writing – Original Draft; Martynyuk T.V. – Writing – Review & Editing, Supervision; Belevskaya A.A. – Investigation, Writing – Review & Editing; Saidova M.A. – Writing – Review & Editing, Supervision; Drozdov D.V. – 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 study had no sponsorship.

Information about 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, St. Academician Chazova, 15 a, Moscow 121552, Russian Federation; E-mail: 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, Moscow, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-8725-7084

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

Anna A. Belevskaya, jr. Researcher, Department of Ultrasound Research Methods, A.L. Myasnikov Scientific Research Institute of Clinical Cardiology, E.I. Chazov National Medical Research Center of cardiology, Moscow, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-8029-5739

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, Moscow, Russian Federation, 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, Moscow, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-7374-3604

For citation: Tamara A. Sakhnova, Elena V. Blinova, Tamila V. Martynyuk, Anna A. Belevskaya, Marina A. Saidova, Dmitry V. Drozdov. 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):25–35. (in Russ.). <https://doi.org/10.38109/2075-082X-2024-2-25-32>

Статья поступила в редакцию/ The article received: 22.03.2024

Статья принята к печати/ The article approved for publication: 09.04.2024

Введение

В современных рекомендациях по регистрации электрокардиограммы покоя в 12 общепринятых отведениях взрослым и детям [1] рекомендуется проводить регистрацию ЭКГ на высоте вдоха при выявлении зубца Q в отведении III или aVF для дифференциации его характера (позиционного или патологического), а также предусмотрена возможность регистрации ЭКГ на вдохе всем первичным взрослым пациентам, если такое правило присутствует в стандартной операционной процедуре медицинской организации.

При этом известно, что глубокий вдох вызывает целый спектр физиологических эффектов, которые могут находить отражение на ЭКГ [2], в том числе, опускание диафрагмы и изменение положения сердца в грудной клетке; снижение центрального венозного давления и повышение венозного возврата к сердцу; изменение симпатических и парасимпатических влияний; изменение электропроводности легких. Таким образом, оценка изменений ЭКГ во время глубокого вдоха потенциально может содержать полезную диагностическую информацию.

Одним из наиболее часто упоминаемых изменений ЭКГ во время глубокого вдоха является смещение электрической оси сердца вправо от исходного положения, что было описано как у здоровых лиц [3], так и у пациентов с артериальной гипертензией, ишемической болезнью сердца и сахарным диабетом [4]. Вместе с тем данных об изменении положения электрической оси сердца во время глубокого вдоха у больных легочной гипертензией в доступной нам литературе обнаружить не удалось.

Целью исследования было оценить положение электрической оси сердца во время глубокого вдоха по сравнению со спокойным дыханием у больных прекапиллярной легочной гипертензией и сопоставить эти данные с эхокардиографическими характеристиками структурно-функционального состояния сердца.

Материалы и методы

В исследование были включены 80 больных прекапиллярной легочной гипертензией: 40 пациентов с идиопатической легочной гипертензией (35 женщин и 5 мужчин в возрасте 43,5 [32; 53] лет) и 40 пациентов с хронической тромбоэмболической легочной гипертензией (25 женщин и 15 мужчин в возрасте 50,5 [41; 58] лет), находившихся на лечении в НИИ кардиологии им. А.Л. Мясникова ФГБУ «НМИЦ им. ак. Е.И. Чазова» МЗ РФ. Диагноз был установлен на основании комплексного клинико-инструментального обследования. Пациенты с верифицированным диагнозом включались в исследование, если они не получали медикаментозную терапию, за исключением антикоагулянтов, или при возможности отмены вазодилататоров и диуретиков в течение, как минимум, 24 часов.

Электрокардиография

Для регистрации электрокардиограмм в 12 отведениях использовалась модульная система для регистрации и дистанционной передачи ЭКГ «EASY ECG» (ООО «АТЕС МЕДИКА софт», Россия). Регистрация ЭКГ сначала проводилась в положении пациента лежа на спине при свободном дыхании. После этого медсестра отдавала команду: «Сделать глубокий вдох и задержать дыхание» и после стабили-

зации изолинии производила повторную регистрацию ЭКГ. Продолжительность каждой записи ЭКГ составляла 10 с, частота дискретизации – 500 Гц, диапазон сигнала –7,4-7,4 мВ по каждому отведению, разрядность – 16 бит. Средствами программного обеспечения системы «EASY ECG» сходные по форме кардиоциклы 10-ти секундной записи усреднялись в один кардиокомплекс, разметка которого проводилась в автоматическом режиме (при необходимости с ручной коррекцией), после чего в автоматическом режиме вычислялось положение электрической оси сердца.

Эхокардиография

Трансторакальная ЭхоКГ проводилась на ультразвуковом приборе экспертного класса Vivid E9 (GE Healthcare, США) с использованием датчика M5S-D для регистрации изображений в 2D режиме и матричного датчика 4V-D для регистрации изображений в 3D режиме в соответствии с рекомендациями по эхокардиографической оценке правых камер сердца у взрослых [5]. Для расчета СДЛА использовалась формула: $СДЛА = мГДсТК + РПП$, где мГДсТК – максимальный систолический градиент на ТК, РПП – давление в правом предсердии [6, 7]. Расчет срДЛА проводился по формуле: $срДЛА = срГДсТК + РПП$, где срГДсТК – средний систолический градиент на ТК [8]. Для определения давления в ПП использовался диаметр НПВ и ее коллабирование на вдохе. Расчет ДДЛА проводился по формуле: $ДДЛА = (3срДЛА - СДЛА) \div 2$, полученной путем преобразования формулы $срДЛА = (СДЛА + 2ДДЛА) \div 3$. Для расчета давления заклинивания легочной артерии (ДЗЛА) использовалась формула Nagueh: $ДЗЛА = 1,24 \times E' \div 1,9$, где E – максимальная скорость раннего диастолического наполнения левого желудочка, измеренная с помощью импульсно-волновой доплерографии, E' – максимальная скорость раннего диастолического смещения латерального сегмента кольца митрального клапана, измеренная с помощью тканевой миокардиальной доплерографии [9]. Для оценки систолической функции правого желудочка в М- и 2D режиме использовались показатели систолической экскурсии кольца трикуспидального клапана (TAPSE) и фракционного изменения площади (FAC). Для оценки систолической функции правого желудочка в 3D режиме запись изображения в апикальной 4-камерной позиции переносилась на рабочую станцию EchoPac PC (GE Healthcare, США), снабженную программой Tomtec для расчета фракции выброса правого желудочка (ФВ ПЖ). Фракцию выброса левого желудочка (ФВ ЛЖ) рассчитывали по методу Симпсона в 2D-режиме из апикальной 4- и 2-камерной позиции. Для расчета ударного объема (УО) использовалась формула: $УО = \pi r^2 \times VTI$, где r – радиус (½ диаметра) выходного тракта ЛЖ (ВТЛЖ), VTI – интеграл линейной скорости кровотока в ВТЛЖ. Сердечный выброс (СВ) рассчитывался путем умножения УО на частоту сердечных сокращений. Для оценки диастолической функции правого и левого желудочков использовалось отношение скоростей раннего и позднего диастолического наполнения (E/A), скорость раннего диастолического смещения колец митрального и трикуспидального (E') клапанов по данным тканевой миокардиальной доплерографии и отношение E/E'. В качестве показателя межжелудочкового взаимодействия использовался диастолический индекс эксцентричности (ИЭ), который рассчитывался как отношение двух взаимно перпендикулярных диаметров ЛЖ из парастернальной позиции

по короткой оси на уровне папиллярных мышц. Для расчета CC сопряжения использовалась формула: $CC \text{ сопряжение} = E_a \div E_s$, где E_a – эффективная артериальная жесткость, E_s – конечно-систолическая жесткость желудочка [10-12]. Расчет эффективной артериальной жесткости проводился по формуле: $E_a = KCD \div UO$, где KCD – конечно-систолическое давление, расчет конечно-систолической жесткости желудочка по формуле: $E_s = KCD \div KCO$, где KCO – конечно-систолический объем. При оценке CC сопряжения ЛЖ и аорты расчет KCD проводился по формуле: $KCD = 0,9 \times САД$, где $САД$ – систолическое артериальное давление [13]. Расчет эффективной артериальной жесткости ЛА проводился по формуле: $E_a = (срДЛА - ДЗЛА) \div UO$, расчет конечно-систолической жесткости ПЖ по формуле: $E_s = срДЛА \div KCO$ [14].

Статистический анализ

Статистический анализ данных проводился с помощью программного обеспечения MedCalc (MedCalc Software BVBA, Бельгия). Непрерывные переменные при нормальном распределении представлены в виде среднего $\pm$ SD; при распределении, отличном от нормального – в виде медианы и межквартильного размаха (25-й и 75-й процентиля); качественные переменные – как число (процент). Для оценки различий двух независимых количественных переменных в зависимости от типа распределения использовался непарный t -тест Стьюдента или критерий Манна-Уитни, для сравнения зависимых количественных переменных в зависимости от типа распределения использовался парный тест Стьюдента или критерий Вилкоксона. Для сравнения качественных переменных использовались точный критерий Фишера и метод хи-квадрат. За уровень статистической значимости принимали $p < 0,05$.

Результаты

В данное исследование были включены пациенты с прекапиллярной легочной гипертензией, преимущественно II-III функционального класса по классификации ВОЗ, у которых по данным эхокардиографии отмечались гипертрофия и дилатация правого желудочка, дилатация правого предсердия, нарушения систолической и диастолической функции правого желудочка; более чем у 40% пациентов имелся такой признак неблагоприятного прогноза, как наличие перикардального выпота.

Значения электрической оси сердца при свободном дыхании составили 106° [84° ; 123°], на вдохе – 89° [87° ; 120°] ($p=0,68$). Разница между положением электрической оси сердца при свободном дыхании и на вдохе в группе в целом составила 2° [-4° ; 5°], при этом у 50 (62,5%) пациентов во время глубокого вдоха происходило смещение электрической оси сердца влево от исходной (то есть разница Ось QRSпокой–Ось QRSвдох была положительной), а у 30 (37,5%) пациентов во время глубокого вдоха происходило смещение электрической оси сердца вправо от исходной (то есть разница Ось QRSпокой–Ось QRSвдох была отрицательной). По этому признаку пациенты были разделены на две группы: со смещением электрической оси сердца во время глубокого вдоха влево от исходной (с положительной разностью Ось QRSпокой–Ось QRSвдох) и со смещением электрической оси сердца вправо от исходной (отрицательной разностью Ось QRSпокой–Ось QRSвдох). Пол, возраст пациентов и значения электрической оси сердца в сформированных группах представлены в таблице 1.

Далее нами были проанализированы показатели структурно-функционального состояния сердца по данным эхокардиографии в сформированных группах. Эти данные представлены в таблицах 2-7.

Таблица 1. Пол, возраст и значения электрической оси сердца в сформированных группах [составлено авторами]
Table 1. Gender, age and values of the electrical axis of the heart in the formed groups [compiled by the authors]

Показатель	Ось QRSпокой–Ось QRSвдох >0 (n=50)	Ось QRSпокой–Ось QRSвдох <0 (n=30)	p
Мужской пол	11 (22%)	9 (30%)	0,43
Возраст, годы	44,2 $\pm$ 11,9	46,7 $\pm$ 12,7	0,38
Ось QRSпокой	114 [101;127]	76,1 $\pm$ 58,9	0,001
Ось QRSвдох	107° [97°; 123°]	83,8 $\pm$ 61,0°	0,02
Ось QRSпокой–Ось QRSвдох	4° [2°; 7°]	–9,5 $\pm$ 8,2°	<0,0001

Примечание/Note: данные представлены в виде среднего значения $\pm$ стандартного отклонения или медианы, 25% и 75% перцентилей; % пациентов (arithmetic mean $\pm$ standard deviation or median and interquartile range (IQR), percentage of patients).

Таблица 2. Показатели структурного состояния сердца в сформированных группах [составлено авторами]
Table 2. Indicators of the structural state of the heart in the formed groups [compiled by the authors]

Показатель	Ось QRSпокой–Ось QRSвдох >0 (n=50)	Ось QRSпокой–Ось QRSвдох <0 (n=30)	p
ПЗР ПЖ, см	3,64 $\pm$ 0,57	3,51 $\pm$ 0,53	0,33
ТПС ПЖ, см	0,60 [0,50; 0,70]	0,60 [0,60; 0,70]	0,45
ВТПЖ, см	3,83 $\pm$ 0,40	3,75 $\pm$ 0,31	0,34
БРПЖ, см	4,81 $\pm$ 0,62	4,57 $\pm$ 0,61	0,09
СПП, см ²	22,6 $\pm$ 6,9	20,9 $\pm$ 6,7	0,28
СЛП, см ²	13,0 $\pm$ 2,4	13,7 $\pm$ 2,9	0,26
КДР ЛЖ, см	4,19 $\pm$ 0,58	4,51 $\pm$ 0,51	0,01
ИЭ	1,35 $\pm$ 0,25	1,24 $\pm$ 0,17	0,03

Примечание/Note: данные представлены в виде среднего значения $\pm$ стандартного отклонения или медианы, 25% и 75% перцентилей (arithmetic mean $\pm$ standard deviation or median and interquartile range (IQR)).

ПЗР ПЖ – переднезадний размер правого желудочка (RV APD – anteroposterior dimension of the right ventricle); ТПС ПЖ – толщина передней стенки правого желудочка (RV AWT – thickness of the anterior wall of the right ventricle); ВТПЖ – выходной тракт правого желудочка (RVOT – right ventricular outflow tract); БРПЖ – базальный размер правого желудочка (RV BD – basal dimension of the right ventricle); СПП – площадь правого предсердия (S RA – area of the right atrium); СЛП – площадь левого предсердия (S LA – area of the left atrium); КДР ЛЖ – конечный диастолический размер левого желудочка (LV EDD – end diastolic dimension of the left ventricle); ИЭ – диастолический индекс эксцентричности (IE – diastolic eccentricity index)

Таблица 3. Показатели систолической функции правого и левого желудочков в сформированных группах [составлено авторами]**Table 3. Indicators of systolic function of the right and left ventricles in the formed groups [compiled by the authors]**

Показатель	Ось QRSпокой–Ось QRSвдох >0 (n=50)	Ось QRSпокой–Ось QRSвдох <0 (n=30)	р
Скд ПЖ, см ²	29,1±6,8	26,9±6,6	0,16
Скс ПЖ, см ²	21,8±6,0	19,9±6,1	0,19
FAC, %	25,6±5,0	26,8±5,9	0,35
TAPSE, см	1,45±0,27	1,48±0,21	0,62
КДО ПЖ, мл	144,7±42,7	134,3±47,5	0,47
КСО ПЖ, мл	106,8±38,1	94,0±38,2	0,31
ФВ ПЖ, %	27,2±6,6	30,8±5,2	0,08
КДО ЛЖ, мл	67,2±19,3	78,9±20,5	0,01
КСО ЛЖ, мл	25,5±6,9	29,5±7,3	0,01
ФВ ЛЖ, %	61,4±2,1	62,1±2,1	0,16
УО ЛЖ, мл	44,2±13,0	52,0±11,8	0,009
СВ, л/мин	3,00±0,91	3,70±0,94	0,001

Примечание/Note: данные представлены в виде среднего значения ± стандартного отклонения (arithmetic mean ± standard deviation).

Скд ПЖ – конечная диастолическая площадь правого желудочка (Sed RV – end-diastolic area of the right ventricle); Скс ПЖ – конечная систолическая площадь правого желудочка (Ses RV – end systolic area of the right ventricle); FAC – фракционное изменение площади правого желудочка (FAC – fractional area change of the right ventricle); TAPSE – систолическая экскурсия кольца трикуспидального клапана (TAPSE – tricuspid annular plane systolic excursion); КДО ПЖ – конечный диастолический объем правого желудочка (RV EDV – right ventricular end-diastolic volume); КСО ПЖ – конечный систолический объем правого желудочка (RV ESV – end systolic volume of the right ventricle); ФВ ПЖ – фракция выброса правого желудочка (RVEF – right ventricular ejection fraction); КДО ЛЖ – конечный диастолический объем левого желудочка (LV EDV – left ventricular end-diastolic volume); КСО ЛЖ – конечный систолический объем левого желудочка (LV ESV – left ventricular end-systolic volume); 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)

Таблица 4. Показатели диастолической функции правого и левого желудочка в сформированных группах [составлено авторами]**Table 4. Indicators of diastolic function of the right and left ventricle in the formed groups [compiled by the authors]**

Показатель	Ось QRSпокой–Ось QRSвдох >0 (n=50)	Ось QRSпокой–Ось QRSвдох <0 (n=30)	р
Е ТК, см/с	41,8±11,6	43,4±13,6	0,57
А ТК, см/с	31,5±9,2	35,1±11,0	0,12
Е/А ТК	1,6 [1,3;1,8]	1,35±0,55	0,69
Е'тк, см/с	5,92±1,41	6,10±1,34	0,57
Е/Е'тк	7,61±3,72	7,66±3,73	0,95
Тип ДДФ ПЖ	1	25 (50%)	0,86
	2	20 (40%)	
	3	5 (10%)	
Е МК, см/с	45,3±17,1	51,9±13,7	0,07
А МК, см/с	54,9±14,9	55,8±18,7	0,82
Е/А МК	0,6 [0,6; 1,3]	0,7 [0,6; 1,5]	0,16
Е'лмк, см/с	8,5 [8,0;12,0]	9,86±2,64	0,67
Е'смк, см/с	5,70±1,88	6,06±1,59	0,37
Е/Е'мк	5,99±1,62	6,65±1,53	0,07
ДДФ ЛЖ	нет	8 (16%)	0,88
	есть	42 (84%)	

Примечание/Note: данные представлены в виде среднего значения ± стандартного отклонения или медианы, 25% и 75% перцентилей; % пациентов (arithmetic mean ± standard deviation or median and interquartile range (IQR), percentage of patients).

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); МК – митральный клапан (MV – mitral 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); Е'лмк – скорость раннего диастолического смещения латерального сегмента кольца митрального клапана (Е'лмк – speed of early diastolic displacement of the lateral segment of the mitral valve annulus); Е'смк – скорость раннего диастолического смещения медиального сегмента кольца митрального клапана (Е'смк – speed of early diastolic displacement of the medial segment of the mitral valve annulus); ДДФ – диастолическая дисфункция (DDF – diastolic dysfunction); ПЖ – правый желудочек (RV – right ventricle); ЛЖ – левый желудочек (LV – left ventricle)

Таким образом, в группе больных, у которых во время глубокого вдоха происходило смещение электрической оси сердца влево от исходной по сравнению с теми, у которых происходило смещение электрической оси сердца вправо от исходной, были статистически значимо меньше конечный диастолический размер левого желудочка, конечный диастолический и конечный систолический объемы левого желудочка, ударный объем, сердечный выброс и статистически значимо больше индекс эксцентричности, легочное сосудистое сопротивление и эффективная жесткость аорты.

У этих больных также наблюдалась тенденция к увеличению базального размера правого желудочка, эффективной жесткости легочной артерии и конечной систолической жесткости левого желудочка и тенденция к уменьшению фракции выброса правого желудочка, пиковой скорости митрального кровотока в фазу раннего диастолического наполнения, соотношения Е/Е_{мк} и давления заклинивания легочной артерии.

Таблица 5. Показатели сердечно-сосудистого сопряжения в сформированных группах [составлено авторами]
Table 5. Indicators of cardiovascular coupling in the formed groups [compiled by the authors]

Показатель	Ось QRSпокой–Ось QRSвдох >0 (n=50)	Ось QRSпокой–Ось QRSвдох <0 (n=30)	p
Еа ЛА, мм рт. ст./мл	1,00±0,42	0,75±0,29	0,06
Ес ПЖ, мм рт. ст./мл	0,54±0,19	0,53±0,16	0,93
ССС ПЖ-ЛА	2,07±1,12	1,52±0,72	0,11
Еа Ао, мм рт. ст./мл	2,20 [1,91;3,00]	2,10±0,52	0,02
Ес ЛЖ, мм рт. ст./мл	3,88 [3,43;4,50]	3,71±0,86	0,09
ССС ЛЖ-Ао	0,57±0,07	0,56±0,06	0,29

Примечание/Note: данные представлены в виде среднего значения ± стандартного отклонения или медианы, 25% и 75% перцентилей; (arithmetic mean ± standard deviation or median and interquartile range (IQR)).
Еа ЛА – эффективная жесткость легочной артерии (Еа PA – effective pulmonary artery stiffness); Ес ПЖ – конечная систолическая жесткость правого желудочка (Ес RV – end-systolic stiffness of the right ventricle); СССР ПЖ-ЛА – сердечно-сосудистое сопряжение правого желудочка и легочной артерии (CVC RV-PA – cardiovascular coupling of the right ventricle and pulmonary artery); Еа Ао – эффективная жесткость аорты (Еа Ao – effective aortic stiffness); Ес ЛЖ – конечная систолическая жесткость левого желудочка (Ес LV – end-systolic stiffness of the left ventricle); СССР ЛЖ-Ао – сердечно-сосудистое сопряжение левого желудочка и аорты (CVC LV-AO – cardiovascular coupling of the left ventricle and aorta)

Таблица 6. Показатели гемодинамики в сформированных группах [составлено авторами]
Table 6. Hemodynamic parameters in the formed groups [compiled by the authors]

Показатель	Ось QRSпокой–Ось QRSвдох >0 (n=50)	Ось QRSпокой–Ось QRSвдох <0 (n=30)	p
СДЛА, мм рт. ст.	85,3±17,1	78,9±18,4	0,11
срДЛА, мм рт. ст.	50,7±9,8	47,1±10,0	0,12
ДДЛА, мм рт. ст.	33,1±7,5	30,9±7,0	0,19
ДЗЛА, мм рт. ст.	7,98±1,29	8,48±1,30	0,09
ДПП, мм рт. ст.	5,0 [5,0;10,0]	5,0 [5,0;8,0]	0,59
ЛСС, динхсек/см ⁵	1071±415	844±357	0,01

Примечание/Note: данные представлены в виде среднего значения ± стандартного отклонения или медианы, 25% и 75% перцентилей; (arithmetic mean ± standard deviation or median and interquartile range (IQR)).
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)

Таблица 7. Частота наличия недостаточности трикуспидального клапана и перикардального выпота в сформированных группах [составлено авторами]
Table 7. Frequency of presence of tricuspid valve insufficiency and pericardial effusion in the formed groups [compiled by the authors]

Показатель		Ось QRSпокой–Ось QRSвдох >0 (n=50)	Ось QRSпокой–Ось QRSвдох <0 (n=30)	p
Недостаточность ТК	1 степени	11 (22%)	11 (37%)	0,18
	2 степени	27 (54%)	16 (53%)	
	3 степени	12 (24%)	3 (10%)	
Перикардальный выпот	нет	27 (54%)	18 (60%)	0,84
	есть	23 (46%)	12 (40%)	

Примечание/Note: данные представлены в виде числа (%) пациентов (number (percentage) of patients).

Клинические примеры

На рисунке 1 приведены ЭКГ при спокойном дыхании и на вдохе больной 53 лет с диагнозом «Идиопатическая легочная гипертензия. Функциональный класс III (ВОЗ). Легочное сердце: относительная недостаточность трикуспидального клапана 2 степени». При спокойном дыхании ось QRS 44°, на вдохе 67°.

При эхокардиографии расширены правые отделы сердца, ствол и ветви легочной артерии. Движение межжелудочковой перегородки парадоксальное, обусловленное перегрузкой правых камер сердца давлением. Трикуспидальная регургитация 2 степени. Гипертрофия правого желудочка. Признаки легочной гипертензии (СДЛА 75 мм рт. ст.). Выпот в перикарде. Нижняя полая вена не расширена, удовлетворительно коллабируется на вдохе.

КДО ЛЖ 86 мл, КСО ЛЖ 32 мл, ИЭ 1,3, Ea Ao 1,7 мм рт. ст./мл, ЛСС 811 дин×сек/см⁵, СВ 3,7 л/мин.

На рисунке 2 приведены ЭКГ при спокойном дыхании и на вдохе больной 44 лет с диагнозом «Идиопатическая легочная гипертензия. Функциональный класс III (ВОЗ). Легочное сердце: относительная недостаточность трикуспидального клапана 3 степени». При спокойном дыхании ось QRS 119°, на вдохе 110°.

При эхокардиографии расширены правые отделы сердца, ствол и ветви легочной артерии. Движение межжелудочковой перегородки парадоксальное, обусловленное перегрузкой правых камер сердца давлением. Трикуспидальная регургитация 3 степени. Гипертрофия правого желудочка. Признаки легочной гипертензии (СДЛА 80 мм рт. ст.). Расширение нижней полой вены и печеночных вен, нижняя полая неудовлетворительно коллабируется на вдохе. Выпот в перикарде.

КДО ЛЖ 64 мл, КСО ЛЖ 22 мл, ИЭ 1,4, Ea Ao 2,25 мм рт. ст./мл, ЛСС 1200 дин×сек/см⁵, СВ 2,4 л/мин.



Рисунок 1. ЭКГ при спокойном дыхании и на вдохе больной 53 лет идиопатической легочной гипертензией. При спокойном дыхании ось QRS 44°, на вдохе 67° [составлено авторами]

Figure 1. ECG during quiet breathing and during inspiration of a 53-year-old patient with idiopathic pulmonary hypertension. During quiet breathing, the QRS axis is 44°, during inspiration it is 67° [compiled by the authors]

Обсуждение

При оценке положения электрической оси сердца во время глубокого вдоха у больных прекапиллярной легочной гипертензией нами было выявлено два варианта изменений. Смещение электрической оси сердца вправо по сравнению со спокойным дыханием, которое было описано в литературе у здоровых лиц [3] и у пациентов с артериальной гипертензией, ишемической болезнью сердца и сахарным диабетом [4], наблюдалось у 37,5% пациентов в нашей группе. У 62,5% пациентов нашей группы наблюдалась противоположная картина – смещение электрической оси сердца влево во время глубокого вдоха по сравнению со спокойным дыханием. Во время спокойного дыхания значения электрической оси сердца у этих больных были намного больше (то есть, она была расположена правее), чем у больных со смещением электрической оси сердца на вдохе вправо.

При анализе данных эхокардиографического исследования больные с «парадоксальным» поведением электрической оси сердца на вдохе по сравнению с остальной группой характеризовались значимо большим увеличением индекса эксцентричности, снижением объемов левого желудочка и эффективной жесткости аорты. Кроме того, у них было выше легочное сосудистое сопротивление, меньше ударный объем и сердечный выброс.

Причины изменения положения электрической оси сердца на вдохе не совсем ясны. В литературе к ним обычно относят изменения положения сердца в грудной клетке, кровенаполнения камер сердца и электропроводности легких.

Что касается литературных данных о влиянии дыхания на состояние камер сердца, то известно, что при магнитно-резонансной томографии сердца в реальном времени у здоровых лиц на вдохе происходит увеличение конечного диастолического, конечного систолического объемов правого

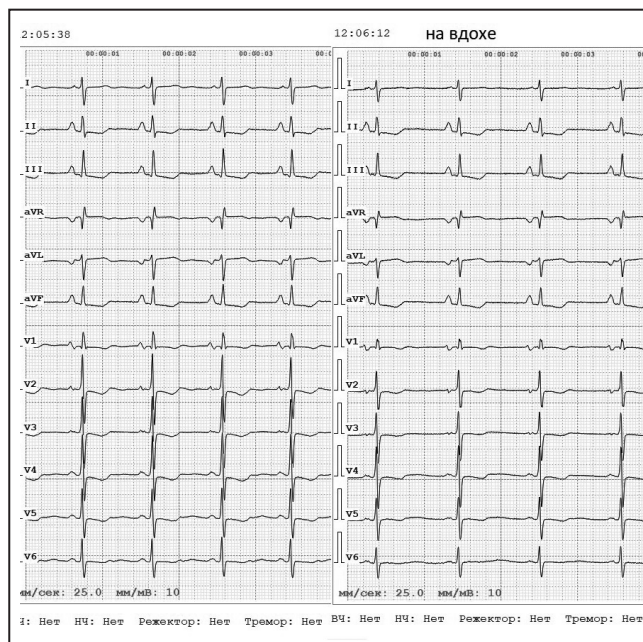


Рисунок 2. ЭКГ при спокойном дыхании и на вдохе больной 44 лет с идиопатической легочной гипертензией. При спокойном дыхании ось QRS 119°, на вдохе 110° [составлено авторами]

Figure 2. ECG during quiet breathing and during inspiration of a 44-year-old patient with idiopathic pulmonary hypertension. During quiet breathing, the QRS axis is 119°, during inspiration it is 110° [compiled by the authors]

желудочка и ударного объема и уменьшение объемов левого желудочка [15]. У лиц без признаков сердечной недостаточности задержка дыхания на вдохе приводила к уменьшению конечного диастолического и конечного систолического объемов левого желудочка, уменьшению объема и фракции выброса левого предсердия, уменьшению скорости раннего диастолического наполнения левого желудочка [16]. У детей с врожденными пороками сердца и хронической перегрузкой правого желудочка объемом индексированные конечный диастолический и ударный объемы правого желудочка во время вдоха увеличивались (как и в контрольной группе), однако увеличение фракции выброса правого желудочка во время вдоха было достоверно ниже, а кривая Франка-Старлинга имела значительно меньший наклон, чем в контрольной группе [17].

При анализе кривых давления в правом предсердии, полученных при катетеризации правых отделов сердца у пациентов с прекапиллярной легочной гипертензией, отсутствие дыхательных колебаний давления (конец выдоха-конец вдоха ≤ 2 мм рт. ст.) ассоциировалось с более низким сердечным индексом, более высоким легочным сосудистым сопротивлением, наличием дисфункции правого желудочка при эхокардиографии, и увеличением числа госпитализаций в течение года по поводу правожелудочковой недостаточности [18].

Наше исследование имеет ряд ограничений. Не проводилось объективизации глубины и скорости вдоха. Регистрация ЭКГ при задержке дыхания на вдохе производилась после стабилизации изолинии, поэтому у разных больных время от окончания вдоха до начала записи ЭКГ могло несколько отличаться. Однако необходимо отметить, что порядок регистрации ЭКГ в данном исследовании соответствовал современным рекомендациям [1], поэтому полученные данные можно сопоставлять с ЭКГ, которые регистрируются в рутинной клинической практике.

Вдох оказывает влияние на множество параметров ЭКГ

[2, 19], однако в данном пилотном исследовании мы ограничились только изучением изменений электрической оси сердца – простого показателя, доступного для применения в широкой практике.

В наше исследование не была включена контрольная группа здоровых лиц, однако изменения ЭКГ на вдохе у здоровых людей достаточно полно описаны в имеющейся литературе.

Полученные нами данные о разных вариантах изменения электрической оси сердца на вдохе у больных прекапиллярной легочной гипертензией и связь этих особенностей со структурно-функциональным состоянием сердца позволяют считать перспективными дальнейшие исследования в этой области.

Закключение

У больных идиопатической и хронической тромбоэмболической легочной гипертензией выявлено два варианта изменений положения электрической оси сердца во время глубокого вдоха. У 37,5% пациентов происходило смещение электрической оси сердца вправо по сравнению со спокойным дыханием, описанное в литературе у здоровых лиц. У 62,5% пациентов наблюдалась противоположная картина – смещение электрической оси сердца влево от исходной. Больные с «парадоксальным» смещением электрической оси сердца на вдохе влево от исходной по сравнению теми, у которых она смещалась вправо от исходной, характеризовались значимо большим увеличением легочного сосудистого сопротивления, индекса эксцентричности, снижением объемов левого желудочка, эффективной жесткости аорты, ударного объема и сердечного выброса.

Полученные нами данные позволяют считать перспективными дальнейшие исследования изменений электрического поля сердца на вдохе у больных легочной гипертензией.

Список литературы/ References:

- Дроздов ДВ, Макаров ЛМ, Баркан ВС, Газашвили ТМ, Ефимова ВП, Жук МО, Иртюга ОБ, Калинин ЛА, Ковалев ИА, Комолятова ВН, Пармон ЕВ, Рогоза АН, Стручков ПВ, Татаринова АА, Терегулов ЮЭ, Трешкур ТВ, Шутов ДВ. Регистрация электрокардиограммы покоя в 12 общепринятых отведениях взрослым и детям 2023. Методические рекомендации. Российский кардиологический журнал. 2023;28(10):5631. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2023-5631>
- [Drozhdov 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., Teregulov 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>]
- Баркан ВС, Дроздов ДВ, Резвцов ГД. Электрокардиограмма на вдохе: физиологические механизмы и диагностические возможности пробы. Медицинский алфавит. 2023;(22):36–42. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-22-36-42>
- [Barkan VS, Drozdov DV, Rezvetsov GG. Deep inspiration electrocardiogram test: physiologic mechanisms and diagnostic capabilities. Medical alphabet. 2023;(22):36–42. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-22-36-42>]
- Hariharan VP, Srinivasan K, Trakroo M. Effect of Deep Breathing on Cardiac Axis of Young Normal Subjects in Various Postures - A Pilot Study. J Clin of Diagn Res. 2019; 13(3):CC01-CC03. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2019/39722.12721>
- Uematsu Y, Moriaki M, Yoshikawa M, Takahashi N, Kiraku J, Ashida T. QRS axis shift in deep breathing. Rinsho Byori. 1997;45(6):595-8.
- Rudski LG, Lai WW, Afzal J, et al. Guidelines for the echocardiographic assessment of the right heart in adults: a report from the American Society of Echocardiography endorsed by the European Association of Echocardiography, a registered branch of the European Society of Cardiology, and the Canadian Society of Echocardiography. J Am Soc Echocardiogr 2010;23:685–713. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2010.05.010>
- Hatle L, Angelsen BA, Tromsdal A. Non-invasive estimation of pulmonary artery systolic pressure with Doppler ultrasound. Br Heart J 1981;45:157–65. <https://doi.org/10.1136/hrt.45.2.157>
- Yock PG, Popp RL. Noninvasive estimation of right ventricular systolic pressure by Doppler ultrasound in patients with tricuspid regurgitation. Circulation 1984;70:657–62. <https://doi.org/10.1161/01.cir.70.4.657>
- Aduen JF, Castello R, Lozano MM, et al. An alternative echocardiographic method to estimate mean pulmonary artery pressure: diagnostic and clinical implications. J Am Soc Echocardiogr 2009; 22:814–9. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2009.04.007>
- Nagueh SF, Middleton KJ, Kopelen HA, et al. Doppler tissue imaging: a noninvasive technique for evaluation of left ventricular relaxation and estimation of filling pressures. J Am Coll Cardiol 1997;30:1527–1533. [https://doi.org/10.1016/s0735-1097\(97\)00344-6](https://doi.org/10.1016/s0735-1097(97)00344-6)
- Sunagawa K, Maughan WL, Burkoff D, Sagawa K. Left ventricular interaction with arterial load studied in isolated canine ventricle. Am J Physiol Heart Circ Physiol 1983;245:H773–H780. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.1983.245.5.H773>
- Chen CH, Nakayama M, Nevo E, et al. Coupled systolic-ventricular and vascular stiffening with age: implications for pressure regulation and cardiac reserve in the elderly. J Am Coll Cardiol 1998;32:1221–1227. [https://doi.org/10.1016/s0735-1097\(98\)00374-x](https://doi.org/10.1016/s0735-1097(98)00374-x)
- Chantler PD, Lakatta EG, Najjar SS. Arterial-ventricular coupling: mechanistic insights into cardiovascular performance at rest and during exercise. J Appl Physiol (1985). 2008;105(4):1342–51. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.90600.2008>
- Morimont P, Lambermont B, Ghuyens A, et al. Effective arterial elastance as an index of pulmonary vascular load. Am J Physiol Heart Circ Physiol. 2008;294(6):H2736–42. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00796.2007>
- Sanz J, Garcia-Alvarez A, Fernández-Frías L, et al. Right ventricular-arterial coupling in pulmonary hypertension: a magnetic resonance study. Heart. 2012;98(3):238–43. <https://doi.org/10.1136/heartjnl-2011-300462>
- 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>
- Reiter U, Kräuter C, Nizhnikava V, Greiser A, Scherr D, Schmidt A, Fuchsjaeger M, Reiter G. Differences in left ventricular and left atrial function assessed during breath-holding and breathing. Eur J Radiol. 2021;141:109756. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2021.109756>
- Röwer LM, Radke KL, Hußmann J, Malik H, Eichinger M, Voit D, Wielpütz MO, Frahm J, Klee D, Pillekamp F. First experience with real-time magnetic resonance imaging-based investigation of respiratory influence on cardiac function in pediatric congenital heart disease patients with chronic right ventricular volume overload. Pediatr Radiol. 2023;53(13):2608–2621. <https://doi.org/10.1007/s00247-023-05765-9>
- Al-Qadi MO, Holbrook J, Ford HJ, Ceppe A, LeVerge 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>
- Varon C, Morales J, Lázaro J, Orini M, Deviaene M, Kontaxis S, Testelmans D, Buyse B, Borzé P, Sörnmo L, Laguna P, Gil E, Bailón R. A Comparative Study of ECG-derived Respiration in Ambulatory Monitoring using the Single-lead ECG. Sci Rep. 2020;10(1):5704. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62624-5>