



<https://doi.org/10.38109/2075-082X-2025-1-19-25>

УДК (UDC) 616.131+616.12-008.331.1:616.12-073.7+616-072.2

ББК (LBC) 53.434

# Изменения электрической оси сердца на вдохе у больных с подозрением на хроническую тромбоэмболическую болезнь легких

Блинова Е.В., \*Сахнова Т.А., Данилов Н.М., Мартынюк Т.В., Дроздов Д.В.

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

## Аннотация

Использование простейших функциональных проб может повысить чувствительность электрокардиограммы для выявления легочной гипертензии (ЛГ).

Цель работы – оценить изменения электрической оси сердца (ЭОС) на вдохе у больных с доказанной хронической тромбоэмболической ЛГ (ХТЭЛГ) или подозрением на ХТЭЛГ, направленных на проведение чрезвенозной катетеризации сердца (ЧВКС).

**Материалы и методы.** В исследование были включены 80 пациентов, которым по клиническим показаниям выполнялась ЧВКС: 25 мужчин и 55 женщин в возрасте  $52 \pm 13$  лет. Положение ЭОС оценивалось при регистрации электрокардиограммы при спокойном дыхании и на высоте глубокого вдоха.

**Результаты.** ХТЭЛГ (среднее давление в легочной артерии  $>20$  мм рт. ст.) имела у 69 пациентов. В группе без ЛГ на вдохе во всех случаях ЭОС смещалась правее, а в группе с ЛГ – в 33 (48%) случаев правее, и в 36 (52%) случаев – левее. Разница значений ЭОС на свободном дыхании и на вдохе имела прямые корреляционные связи с систолическим, диастолическим и средним давлением в легочной артерии, систолическим давлением в правом желудочке и легочным сосудистым сопротивлением ( $r=0,6-0,7$ ;  $p<0,0001$ ) и обратные корреляционные связи с ударным объемом и сердечным выбросом ( $r=-0,3$ ;  $-0,4$ ;  $p<0,01$ ). По данным ROC-анализа как значения ЭОС на свободном дыхании ( $>92^\circ$ ), так и ее изменения на вдохе ( $>-6^\circ$ ) позволяли с чувствительностью 62-65% и специфичностью 100% разделить подгруппы с наличием и отсутствием ЛГ (площадь под ROC кривой  $\pm$  стандартная ошибка  $0,88 \pm 0,04$ ).

**Выводы.** У больных с ХТЭЛГ/подозрением на ХТЭЛГ в подгруппе без ЛГ на вдохе ЭОС смещалась правее, а в группе с ЛГ в 33 (48%) случаев – правее, и в 36 (52%) случаев – левее. Разница значений ЭОС на свободном дыхании и на вдохе имела достоверные прямые корреляционные связи умеренной силы с средним давлением в легочной артерии и легочным сосудистым сопротивлением. Значения ЭОС на свободном дыхании и ее изменения на вдохе позволяли с чувствительностью 62-65% и специфичностью 100% разделить подгруппы с наличием и отсутствием ЛГ.

**Ключевые слова:** электрокардиограмма, вдох, легочная гипертензия, чрезвенозная катетеризация сердца

## Сведения об авторах:

\*Автор, ответственный за переписку: Сахнова Тамара Анатольевна, к.м.н., старший научный сотрудник, лаборатория ЭЖГ, 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, тел.: +7(495)414-64-07, ORCID: 0000-0002-5543-7184

Блинова Елена Валентиновна, к.м.н., научный сотрудник, лаборатория ЭЖГ, 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

Данилов Николай Михайлович, д.м.н., ведущий научный сотрудник, отдел гипертонии, Институт клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова, ФГБУ «НМИЦК им. акад. Е.И. Чазова» Минздрава России, г. Москва, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-9853-9087

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

Дроздов Дмитрий Владимирович, к.м.н., руководитель лаборатории ЭЖГ, 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; Данилов Н.М. – проведение исследования, редактирование рукописи; Мартынюк Т.В. – 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. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Источник финансирования.** Авторы заявляют об отсутствии финансирования.

**Информация о соблюдении этических норм.** Исследование было выполнено в соответствии со стандартами надлежащей клинической практики (Good Clinical Practice) и принципами Хельсинкской Декларации. Исследование одобрено на заседании Независимого этического комитета ФГБУ «НМИЦК им. акад. Е.И. Чазова» Минздрава России 287 от 20.02.2023. Все участники предоставили информированное согласие.

**Для цитирования:** Блинова Е.В., Сахнова Т.А., Данилов Н.М., Мартынюк Т.В., Дроздов Д.В. Изменения электрической оси сердца на вдохе у больных с подозрением на хроническую тромбоэмболическую болезнь легких. Системные гипертензии. 2025;22(1):19-25. <https://doi.org/10.38109/2075-082X-2025-1-19-25>

ORIGINAL ARTICLE

# Changes in the electrical axis of the heart during inspiration in patients with suspected chronic thromboembolic pulmonary disease

Elena V. Blinova, \*Tamara A. Sakhnova, Nikolay M. Danilov, Tamila V. Martynyuk, Dmitry V. Drozdov  
E.I. Chazov National Medical Research Center of Cardiology, St. Academician Chazova, 15 a, Moscow 121552, Russian Federation

## Abstract

The use of simple functional tests can increase the electrocardiogram sensitivity for detecting pulmonary hypertension (PH).

The aim of the work is to evaluate changes in the electrical axis of the heart (EAH) during inhalation in patients with proven chronic thromboembolic PH (CTEPH) or suspected CTEPH, referred for right heart catheterization (RHC).

**Materials and methods.** The study included 80 patients who underwent RHC according to clinical indications: 25 men and 55 women aged  $52 \pm 13$  years. EAH was assessed when recording electrocardiogram during quiet breathing and on deep inhalation.

**Results.** CTEPH (mean pulmonary artery pressure  $>20$  mm Hg) was present in 69 patients. In the group without PH, in all cases, the EAH shifted to the right during inhalation, and in the group with PH – to the right in 33 (48%) cases and to the left in 36 (52%) cases. The difference in the EAH values during free breathing and inhalation had direct correlations with systolic, diastolic and mean pulmonary artery pressure, systolic right ventricle pressure and pulmonary vascular resistance ( $r=0.6-0.7$ ;  $p<0.0001$ ) and inverse correlations with stroke volume and cardiac output ( $r=-0.3$ ;  $-0.4$ ;  $p<0.01$ ). In ROC analysis, both the EAH values during free breathing ( $>92^\circ$ ) and its changes during inhalation ( $>-6^\circ$ ) allowed us to separate the subgroups with and without PH with a sensitivity of 62–65% and a specificity of 100% (area under the ROC curve  $\pm$  standard error  $0.88 \pm 0.04$ ).

**Conclusions.** In patients with CTEPH/suspected CTEPH in the subgroup without PH, the EAH shifted to the right during inhalation, and in the group with PH in 33 cases (48%) – to the right, and in 36 cases (52%) – to the left. The difference in the EAH values during free breathing and inhalation had reliable direct correlations of moderate strength with the mean pulmonary artery pressure and pulmonary vascular resistance. The values of the EAH during free breathing and its changes during inhalation made it possible to separate subgroups with and without PH with a sensitivity of 62–65% and a specificity of 100%.

**Keywords:** electrocardiogram, inspiration, pulmonary hypertension, right heart catheterization

## Information about authors:

\***Corresponding author: Tamara A. Sakhnova**, Cand. of Sci. (Med.), Senior Researcher, ECG Laboratory, A.L. Myasnikov 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](mailto:tamara-sakhnova@mail.ru), tel.: +7(495)414-64-07, ORCID: 0000-0002-5543-7184

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

**Nikolay M. Danilov**, Dr. of Sci. (Med.), Leading Researcher, Hypertension Department, A.L. Myasnikov Institute Of Clinical Cardiology, E.I. Chazov National Medical Research Center of Cardiology, Moscow, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-9853-9087

**Tamila V. Martynyuk**, Dr. of Sci. (Med.), Head of the Department of pulmonary hypertension and heart diseases, A.L. Myasnikov 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

**Dmitry V. Drozdov**, Cand. of Sci. (Med.), Head of ECG Laboratory, A.L. Myasnikov Institute of Clinical Cardiology, E.I. Chazov National Medical Research Center of Cardiology, Moscow, Russian Federation, 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: Blinova E.V. – Methodology, Investigation, Formal analysis, Writing – Original Draft; Sakhnova T.A. – Methodology, Investigation, Writing – Review & Editing; Martynyuk T.V. – Writing – Review & Editing, Supervision; Danilov N.M. – Investigation, Writing – Review & Editing; 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. The authors declare no obvious or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

**Founding source.** The study had no sponsorship.

**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 was approved at a meeting of the Independent Ethics Committee of E.I. Chazov National Medical Research Center of Cardiology No. 287 dated February 20, 2023. All participants provided informed consent.

**For citation:** Elena V. Blinova, Tamara A. Sakhnova, Nikolay M. Danilov, Tamila V. Martynyuk, Dmitry V. Drozdov. Changes in the electrical axis of the heart during inspiration in patients with suspected chronic thromboembolic pulmonary disease. *Systemic Hypertension*. 2025;22(1):19-25. <https://doi.org/10.38109/2075-082X-2025-1-19-25>

**Статья поступила в редакцию/ The article received:** 15.11.2024

**Статья принята к печати/ The article approved for publication:** 21.01.2025

## Введение

Хроническая тромбоэмболическая легочная болезнь (ХТЭЛБ) является всеобъемлющим термином, характеризующим пациентов с симптомами легочной гипертензии (ЛГ), дефектами перфузии, не соответствующими вентиляционным дефектам по данным вентилляционно-перфузионной сцинтиграфии легких, а также специфическими признаками хронических тромбов по данным КТ-ангиопульмонографии или цифровой субтракционной ангиографии независимо от того, присутствует ли ЛГ в состоянии покоя [1]. Для пациентов с ЛГ в покое российские и евразийские эксперты сохранили исторический термин хроническая тромбоэмболическая легочная гипертензия (ХТЭЛГ). Наличие симптомов заболевания, которые могут отмечаться при ХТЭЛБ как с, так и без ЛГ, является пусковым моментом к маршрутизации.

Считается, что определить точную распространенность ХТЭЛГ достаточно сложно, так как заболевание часто остается не диагностированным. Своевременная постановка диагноза ХТЭЛГ затруднительна, поскольку немалое число случаев ХТЭЛГ развивается без предшествующего эпизода острой тромбоэмболии легочной артерии, а клинические симптомы являются неспецифическими и могут практически отсутствовать на ранних стадиях заболевания [2, 3, 4].

Вместе с тем, своевременная диагностика ХТЭЛГ имеет ключевое значение с точки зрения дальнейших исходов.

Пока единственным неинвазивным скрининговым методом у пациентов с подозрением на наличие легочной гипертензии остается эхокардиография (ЭхоКГ), хотя и она позволяет судить лишь о вероятности наличия легочной гипертензии, но не может использоваться как метод верификации диагноза. В случае высокой вероятности наличия легочной гипертензии по данным ЭхоКГ у симптомных пациентов их рекомендуется направлять в экспертные центры для дальнейшего обследования [2, 3].

Регистрация электрокардиограммы (ЭКГ) рекомендуется всем пациентам с легочной гипертензией как при первичном обследовании, так и в процессе динамического наблюдения. Однако недостаточная чувствительность и специфичность традиционных ЭКГ признаков гипертрофии правого желудочка не позволяют использовать этот метод в качестве скринингового [2, 3].

Тем не менее, поскольку ЭКГ является широко доступным, воспроизводимым, минимально зависящим от квалификации оператора объективным методом исследования, повышение ее диагностических возможностей может существенно повлиять на выполнение целевых показателей по раннему выявлению больных с легочной гипертензией.

Предполагается, что динамика показателей ЭКГ в процессе выполнения «мягких» функциональных проб может оказаться более информативной, чем оценка ее показателей

в покое. В качестве одной из таких функциональных проб с минимальными рисками для пациентов и трудозатратами медперсонала может рассматриваться регистрация ЭКГ с задержкой дыхания на высоте глубокого вдоха. Известно, что на вдохе возникает увеличение притока крови к правым отделам сердца, что может по-разному влиять на регуляцию деятельности сердечно-сосудистой системы в норме и у пациентов с легочной гипертензией [5].

Целью нашего исследования было оценить изменения электрической оси сердца (ЭОС) во время глубокого вдоха по сравнению со спокойным дыханием у больных с ХТЭЛГ/подозрением на ХТЭЛГ, направленных на проведение чрезвенной катетеризации сердца (ЧВКС).

## Материалы и методы

Исследование носило ретроспективный наблюдательный характер. Из медицинской информационной системы были отобраны истории болезни 80 пациентов (25 (31%) мужчин и 55 (69%) женщин), которым по клиническим показаниям выполнялась ЧВКС. По результатам комплексного обследования у 69 (86%) из них был установлен диагноз ХТЭЛГ, у 4 (5%) – ХТЭЛБ, у 7 (9%) – рецидивирующая тромбоэмболия легочной артерии.

Поскольку стандартная операционная процедура отделения функциональной диагностики Института клинической кардиологии им. А.Л. Мясникова предусматривает регистрацию ЭКГ на вдохе всем первичным пациентам, то у всех включенных в исследование пациентов имелись цифровые ЭКГ, зарегистрированные как на спокойном дыхании, так и при задержке дыхания на вдохе. Интервал между регистрацией ЭКГ и проведением ЧВКС составил от 0 до 19 дней, в среднем  $6,9 \pm 3,5$  дней.

ЭКГ регистрировались с помощью системы «EASY ECG» (ООО «АТЕС МЕДИКА софт», Россия). Продолжительность каждой записи составляла 10 с, частота дискретизации – 500 Гц, диапазон сигнала –7,4-7,4 мВ по каждому отведению, разрядность – 16 бит. Программное обеспечение системы позволяет усреднять сходные по форме кардиоциклы записи, проводить автоматическую разметку (при необходимости с ручной коррекцией) и автоматически вычислять положение ЭОС. Для каждого пациента делалось две записи ЭКГ: при свободном дыхании и после команды «Сделать глубокий вдох и задержать дыхание».

ЧВКС выполнялась согласно стандартному протоколу. С помощью 4-канального катетера Свана-Ганца длиной 110 см диаметром 6F (Swan-Gantz CCO CEDV, Edwards Lifescience, Irvine, CA, США) путем прямой манометрии последовательно измерялись давление в правом предсердии (ДПП), давление в правом желудочке (ДПЖ), давление в легочной артерии (ДЛА) и давление заклинивания легочной артерии (ДЗЛА). Определение сатурации кислорода в смешанной венозной

крови (SvO<sub>2</sub>) проводилось в пробе крови из легочной артерии, а сатурации кислорода артериальной крови (SaO<sub>2</sub>) – с помощью пульсоксиметра на пальце руки. По полученным данным вычислялись сердечный выброс (непрямой метод Фика), сердечный индекс и легочное сосудистое сопротивление.

В день госпитализации все больные подписывали согласие на проведение лечебно-диагностических процедур и обработку персональных данных, а перед проведением ЧВКС – специальное информированное согласие на проведение этого исследования.

Статистический анализ данных проводился с использованием программного обеспечения MedCalc, (MedCalc Software BVBA, Бельгия). Непрерывные переменные в зависимости от вида распределения представлены в виде среднего значения и стандартного отклонения либо медианы и межквартильного размаха (Q25; Q75). Качественные переменные представлены в абсолютных и относительных величинах. Для оценки различий двух независимых количественных переменных использовался критерий Ман-

на-Уитни, для качественных переменных – двусторонний точный критерий Фишера. Для определения взаимосвязи между переменными проводился корреляционный анализ Спирмена. Для оценки информативности параметров при разделении групп с наличием и отсутствием легочной гипертензии и определения их оптимальных пороговых значений применялся ROC-анализ. Статистически значимыми считали различия при  $p < 0,05$ .

## Результаты

Характеристики группы в целом и подгрупп с наличием и отсутствием легочной гипертензии по данным ЧВКС представлены в таблице 1.

В группе без легочной гипертензии (срДЛА ≤ 20 мм рт. ст.) на вдохе во всех случаях происходило отклонение ЭОС правее исходного положения. В группе с легочной гипертензией в 33 (48%) случаев на вдохе ЭОС смещалась правее исходного положения, а в 36 (52%) случаев – левее.

**Таблица 1. Характеристики группы в целом и подгрупп с наличием и отсутствием легочной гипертензии по данным ЧВКС [составлено авторами]**

**Table 1. Characteristics of the group as a whole and subgroups with and without pulmonary hypertension according to right heart catheterization data [compiled by the authors]**

Показатель	Группа в целом (n=80)	срДЛА ≤ 20 мм рт. ст. (n=11)	срДЛА > 20 мм рт. ст. (n=69)	p
Мужской пол	25 (31%)	3 (27%)	22 (32%)	0,96
Возраст, годы	51,9±12,6	53,7±11,9	51,6±12,7	0,83
ИМТ, кг/м <sup>2</sup>	29,0±6,0	32,9±5,7	28,4±5,8	0,012
ФК (ВОЗ)	3 [2;3]	1 [1;2]	3 [2;3]	<0,0001
ДЛАСист, мм рт. ст.	77,2±30,8	30,2±7,8	84,7±26,0	<0,0001
ДЛАдиаст, мм рт. ст.	25,2±12,9	6,9±2,5	28,1±11,3	<0,0001
срДЛА, мм рт. ст.	43,9±18,6	16,0±2,9	48,3±15,9	<0,0001
ДППсист, мм рт. ст.	9,1±4,8	5,7±3,7	9,6±4,8	0,025
ДППдиаст, мм рт. ст.	5[3;9]	4,5±2,8	7,1±5,0	0,15
срДПП, мм рт. ст.	5,6±4,2	2,8±2,6	6,0±4,3	0,039
ДПЖсист, мм рт. ст.	76,3±29,9	30,2±10,0	83,6±25,1	<0,0001
ДПЖдиаст, мм рт. ст.	0,2±10,8	-3,2±6,2	0,8±11,3	0,56
срДПЖ, мм рт. ст.	11,1±9,9	3,0±4,8	12,4±9,9	0,0001
ДЗЛА, мм рт. ст.	6[3;6]	3,8±2,7	6[4;6]	0,004
SaO <sub>2</sub> , %	92,7±4,8	97,0±2,4	92,1±4,7	0,001
SvO <sub>2</sub> , %	58,5±8,0	64,8±6,8	57,6±7,8	0,009
СВ, л/мин	3,84±1,07	4,71±1,22	3,69±0,98	0,009
СИ, л/мин×м <sup>2</sup>	2,03±0,54	2,26±0,43	2,00±0,55	0,048
УО, мл	52,7±19,1	70,1±25,3	50,1±16,7	0,008
ЛСС, дин×сек/см <sup>5</sup>	876±487	221±96	980±440	<0,0001
ЧСС, уд в мин	76,8±14,5	69,0±10,3	78,1±14,7	0,049
ЭОСп, °	84,5±62,6	23,2±44,5	112[70;128]	<0,0001
ЭОСвд, °	95,7±48,7	52,5±47,9	102,6±45,5	0,0002
ЭОСп-ЭОСвд, °	-7±18	-31,2±21,6	-3,4±14,2	0,0001

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); ИМТ – индекс массы тела (BMI – body mass index), ФК (ВОЗ) – функциональный класс по классификации ВОЗ (FC (WHO) – functional class according to the WHO classification), ДЛАСист – систолическое давление в легочной артерии (RAPsyst – pulmonary artery systolic pressure), ДЛАдиаст – диастолическое давление в легочной артерии (RAPdiast – pulmonary artery diastolic pressure), срДЛА – среднее давление в легочной артерии (mRAP – mean pulmonary artery pressure), ДППсист – систолическое давление в правом предсердии (RAPsyst – right atrial systolic pressure), ДППдиаст – диастолическое давление в правом предсердии (RAPdiast – right atrial diastolic pressure), срДПП – среднее давление в правом предсердии (mRAP – right atrial mean pressure), ДПЖсист – систолическое давление в правом желудочке (RVPsyst – right ventricle systolic pressure), ДПЖдиаст – диастолическое давление в правом желудочке (RVPdiast – right ventricle diastolic pressure), срДПЖ – среднее давление в правом желудочке (mRVP – mean right ventricle pressure), ДЗЛА – давление заклинивания легочной артерии (PAWP – pulmonary artery wedge pressure), SaO<sub>2</sub> – сатурация кислорода артериальной крови (SaO<sub>2</sub> – arterial oxygen saturation), SvO<sub>2</sub> – сатурация кислорода венозной крови (SvO<sub>2</sub> – venous oxygen saturation), СВ – сердечный выброс (CO – cardiac output), СИ – сердечный индекс (CI – cardiac index), УО – ударный объем (SV – stroke volume), ЛСС – легочное сосудистое сопротивление (PVR – pulmonary vascular resistance), ЧСС – частота сердечных сокращений (HR – heart rate), ЭОСп – электрическая ось сердца при спокойном дыхании (EAHr – electrical axis of the heart during free breathing), ЭОСвд – электрическая ось сердца на вдохе (EAHin – electrical axis of the heart during deep inhalation)

Коэффициенты корреляции клинических показателей и данных ЧВКС с положением ЭОС и с разницей ее значений на свободном дыхании и на вдохе представлены в таблице 2.

Таким образом, разница значений ЭОС на свободном дыхании и на вдохе имела наиболее значимые корреляционные связи (умеренной силы) с систолическим, диастолическим и средним давлением в легочной артерии, систолическим

давлением в правом желудочке и легочным сосудистым сопротивлением.

Для ответа на вопрос, можно ли с использованием значений ЭОС на свободном дыхании и ее изменений на вдохе разделить подгруппы с наличием и отсутствием легочной гипертензии был проведен ROC-анализ, результаты которого приведены в таблице 3.

**Таблица 2. Коэффициенты корреляции клинических показателей и данных ЧВКС с положением ЭОС и с разницей ее значений на свободном дыхании и на вдохе [составлено авторами]**

**Table 2. Correlation coefficients of clinical parameters and right heart catheterization data with the position of the electrical axis of the heart and with the difference in its values during free breathing and deep inhalation [compiled by the authors]**

Показатель	ЭОСп		ЭОСп-ЭОСвд	
	r	p	r	p
Возраст	-0,15	0,194	-0,04	0,67
ИМТ	-0,11	0,345	-0,27	0,016
ФК	0,48	<0,0001	0,46	<0,0001
ДЛАСист, мм рт. ст.	0,49	<0,0001	<b>0,66</b>	<0,0001
ДЛАдиаст, мм рт. ст.	0,49	<0,0001	<b>0,55</b>	<0,0001
срДЛА, мм рт. ст.	0,39	0,0004	<b>0,60</b>	<0,0001
ДППсист, мм рт. ст.	0,33	0,003	0,34	0,002
ДППдиаст, мм рт. ст.	0,38	0,001	0,30	0,007
срДПП, мм рт. ст.	0,33	0,003	0,27	0,014
ДПЖсист, мм рт. ст.	<b>0,51</b>	<0,0001	<b>0,65</b>	<0,0001
ДПЖдиаст, мм рт. ст.	0,18	0,116	-0,001	0,99
срДПЖ, мм рт. ст.	0,37	0,001	0,33	0,003
ДЗЛА, мм рт. ст.	0,13	0,258	0,08	0,48
SaO <sub>2</sub>	-0,30	0,007	-0,16	0,159
SvO <sub>2</sub>	-0,36	0,001	-0,27	0,019
СВ, л/мин	-0,25	0,025	-0,40	0,0002
СИ, л/мин×м <sup>2</sup>	-0,18	0,099	-0,21	0,068
УО, мл	-0,28	0,013	-0,34	0,003
ЛСС, дин×сек/см <sup>5</sup>	0,48	<0,0001	<b>0,60</b>	<0,0001
ЧСС, уд в мин	0,28	0,013	0,22	0,045
ЭОСп, °			<b>0,54</b>	<0,0001
ЭОСвд, °	<b>0,74</b>	<0,0001	0,31	0,005

Примечание/Note: представлен коэффициент ранговой корреляции Спирмена и его значимость (Spearman's rank correlation coefficient and its significance are presented); ИМТ – индекс массы тела (BMI – body mass index), ФК (ВОЗ) – функциональный класс по классификации ВОЗ (FC (WHO) – functional class according to the WHO classification), ДЛАСист – систолическое давление в легочной артерии (PAPsyst – pulmonary artery systolic pressure), ДЛАдиаст – диастолическое давление в легочной артерии (PAPdiast – pulmonary artery diastolic pressure), срДЛА – среднее давление в легочной артерии (mPAP – mean pulmonary artery pressure), ДППсист – систолическое давление в правом предсердии (RAPsyst – right atrial systolic pressure), ДППдиаст – диастолическое давление в правом предсердии (RAPdiast – right atrial diastolic pressure), срДПП – среднее давление в правом предсердии (mRAP – right atrial mean pressure), ДПЖсист – систолическое давление в правом желудочке (RVPsyst – right ventricle systolic pressure), ДПЖдиаст – диастолическое давление в правом желудочке (RVPdiast – right ventricle diastolic pressure), срДПЖ – среднее давление в правом желудочке (mRVP – mean right ventricle pressure), ДЗЛА – давление заклинивания легочной артерии (PAWP – pulmonary artery wedge pressure), SaO<sub>2</sub> – сатурация кислорода артериальной крови (SaO<sub>2</sub> – arterial oxygen saturation), SvO<sub>2</sub> – сатурация кислорода венозной крови (SvO<sub>2</sub> – venous oxygen saturation), СВ – сердечный выброс (CO – cardiac output), СИ – сердечный индекс (CI – cardiac index), УО – ударный объем (SV – stroke volume), ЛСС – легочное сосудистое сопротивление (PVR – pulmonary vascular resistance), ЧСС – частота сердечных сокращений (HR – heart rate), ЭОСп – электрическая ось сердца при спокойном дыхании (EAHr – electrical axis of the heart during free breathing), ЭОСвд – электрическая ось сердца на вдохе (EAHin – electrical axis of the heart during deep inhalation)

**Таблица 3. Результаты ROC-анализа по разделению подгрупп с наличием и отсутствием легочной гипертензии с помощью значений ЭОС на свободном дыхании и ее изменений на вдохе [составлено авторами]**

**Table 3. Results of ROC analysis for dividing subgroups with and without pulmonary hypertension using free-breathing electrical axis of the heart values and its changes during deep inhalation [compiled by the authors]**

Показатель	ЭОСп	ЭОСвд	ЭОСп- ЭОСвд
Площадь под ROC кривой ± стандартная ошибка	0,88±0,04	0,85±0,05	0,88±0,04
95% доверительный интервал	0,79-0,94	0,75-0,92	0,79-0,94
Оптимальное пороговое значение	>92°	>102°	>-6°
Чувствительность, %	65	61	62
Специфичность, %	100	100	100

Примечание/Note: представлены площадь под ROC кривой ± стандартная ошибка, 95% доверительный интервал, оптимальное пороговое значение, чувствительность (%) и специфичность (%) (The area under the ROC curve ± standard error, 95% confidence interval, optimal threshold value, sensitivity (%) and specificity (%) are presented); ЭОСп – электрическая ось сердца при спокойном дыхании (EAHr – electrical axis of the heart during free breathing), ЭОСвд – электрическая ось сердца на вдохе (EAHin – electrical axis of the heart during deep inhalation)

Следующие клинические примеры иллюстрируют разные варианты изменения ЭОС на вдохе в изученной группе больных.

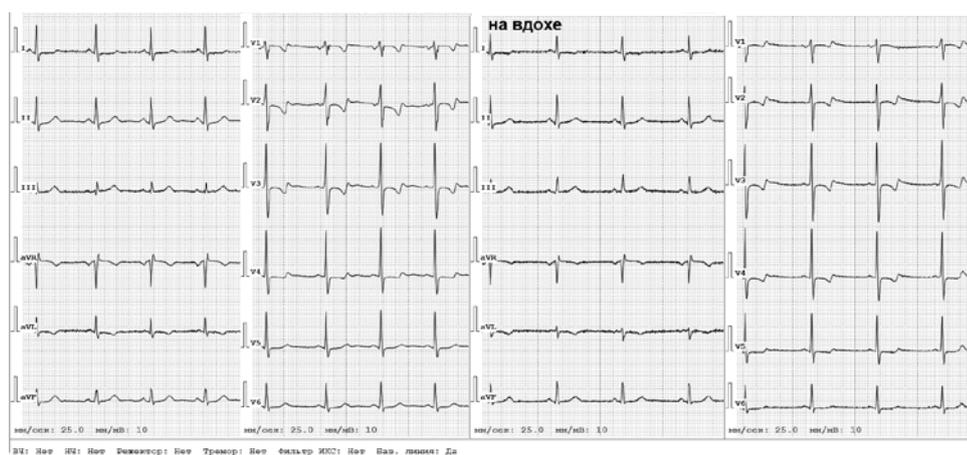
На рисунке 1 приведены ЭКГ при спокойном дыхании и на вдохе больной 75 лет с диагнозом «Рецидивирующая тромбоэмболия ветвей легочной артерии. Относительная недостаточность трикуспидального клапана 3 степени. Ожирение II степени», предъявляющей жалобы на одышку при умеренной физической нагрузке. При спокойном дыхании ЭОС QRS 55°, на вдохе 80°.

При ЧВКС срДЛА 20 мм рт. ст., ДЗЛА 3 мм рт. ст., СВ 4,3 л/мин, СИ 2,4 л/мин × м<sup>2</sup>, УО 57 мл, ЛСС 1013 дин × сек/см<sup>5</sup>.

На рисунке 2 приведены ЭКГ при спокойном дыхании и на вдохе больной 64 лет с диагнозом «Хроническая тромбоэмболическая легочная гипертензия. Относительная недостаточность трикуспидального клапана 2 степени», предъявляющей жалобы на одышку при незначительной физической нагрузке. При спокойном дыхании ЭОС QRS 92°, на вдохе 90°.

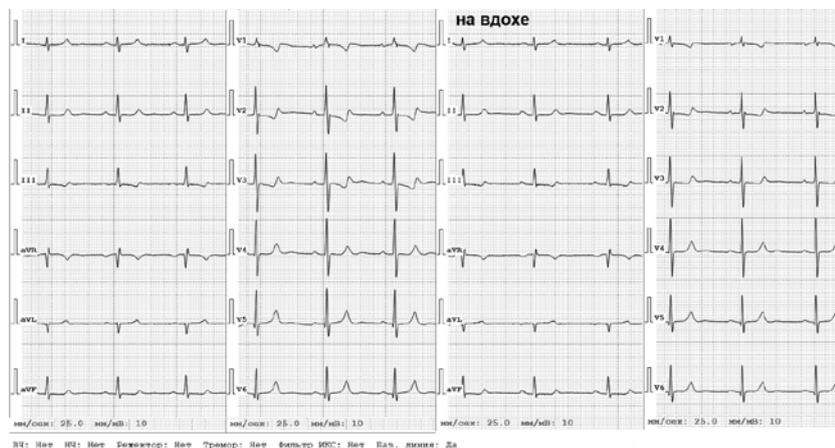
При ЧВКС срДЛА 47 мм рт. ст., ДЗЛА 11 мм рт. ст., СВ 3 л/мин, СИ 1,8 л/мин × м<sup>2</sup>, УО 50 мл, ЛСС 1013 дин × сек/см<sup>5</sup>.

На рисунке 3 приведены ЭКГ при спокойном дыхании и на вдохе больной 42 лет с диагнозом «Хроническая тромбоэмболическая легочная гипертензия. Относительная недостаточность трикуспидального клапана 1 степени»,



**Рисунок 1.** ЭКГ при спокойном дыхании и на вдохе больной 75 лет с диагнозом «Рецидивирующая тромбоэмболия ветвей легочной артерии. Ожирение II степени». При спокойном дыхании ЭОС QRS 55°, на вдохе 80° [составлено авторами]

Figure 1. ECG during quiet breathing and during inspiration of a 75-year-old patient with recurrent thromboembolism of pulmonary artery branches, obesity grade II. During quiet breathing, the QRS axis is 55°, during deep inspiration it is 80° [compiled by the authors]



**Рисунок 2.** ЭКГ при спокойном дыхании и на вдохе больной 64 лет с диагнозом «Хроническая тромбоэмболическая легочная гипертензия». При спокойном дыхании ЭОС QRS 92°, на вдохе 90° [составлено авторами]

Figure 2. ECG during quiet breathing and during inspiration of a 64-year-old patient with chronic thromboembolic pulmonary hypertension. During quiet breathing, the QRS axis is 92°, during deep inspiration it is 90° [compiled by the authors]



**Рисунок 3.** ЭКГ при спокойном дыхании и на вдохе больной 42 лет с диагнозом «Хроническая тромбоэмболическая легочная гипертензия». При спокойном дыхании ЭОС QRS 150°, на вдохе 126° [составлено авторами]

Figure 3. ECG during quiet breathing and during inspiration of a 42-year-old patient with chronic thromboembolic pulmonary hypertension. During quiet breathing, the QRS axis is 150°, during deep inspiration it is 126° [compiled by the authors]

предъявляющей жалобы на одышку при незначительной физической нагрузке. При спокойном дыхании ЭОС QRS 150°, на вдохе 126°.

При ЧВКС срДЛА 96 мм рт. ст., ДЗЛА 5 мм рт. ст., СВ 3,4 л/мин, СИ 1,9 л/мин×м<sup>2</sup>, УО 38 мл, ЛСС 2141 дин×сек/см<sup>5</sup>.

## Обсуждение

Глубокий вдох вызывает разнообразные изменения ЭКГ, которые объясняют изменениями положения сердца в грудной клетке, кровенаполнения предсердий и желудочков и электропроводности легких [5]. Одним из характерных изменений ЭКГ на вдохе у здоровых лиц [6] и у больных артериальной гипертензией, ишемической болезнью сердца и сахарным диабетом [7] является смещение ЭОС вправо. У больных с прекапиллярной легочной гипертензией были описаны противоположные изменения (смещение ЭОС влево от исходной), которые наблюдались в 63% случаев и были связаны с более высоким легочным сосудистым сопротивлением, снижением объемов левого желудочка, ударного объема и сердечного выброса [8].

Результаты нашего исследования согласуются с этими данными: в группе без легочной гипертензии на вдохе во всех случаях происходило отклонение ЭОС правее исходного положения, а в группе с легочной гипертензией в 33 (48%) случаев на вдохе ЭОС смещалась правее, а в 36 (52%) случаев – левее. При этом имелись достоверные отрицательные (хотя и слабые) корреляционные связи разницы значений ЭОС на свободном дыхании и на вдохе с ударным объемом и сердечным выбросом.

Наиболее значимые корреляционные связи (умеренной силы) разница значений ЭОС на свободном дыхании и на вдохе имела с систолическим, диастолическим и средним давлением в легочной артерии, систолическим давлением в правом желудочке и легочным сосудистым сопротивлением.

По данным ROC-анализа как значения ЭОС на свободном дыхании, так и ее изменения на вдохе позволяли с чувствительностью 62–65% и специфичностью 100% разделить подгруппы с наличием и отсутствием легочной гипертензии. Однако, как видно на рисунке 2, в ряде случаев при погра-

ничных значениях ЭОС на свободном дыхании ее изменения на вдохе могли быть дополнительным признаком, позволяющим заподозрить наличие легочной гипертензии. Диагностическую значимость изменения ЭОС на вдохе как дополнительного ЭКГ признака легочной гипертензии желательно проверить на более представительных группах. В данном исследовании сравнительно небольшая численность изученных групп была обусловлена как редкостью рассматриваемой патологии, так и тщательным обследованием пациентов перед направлением на ЧВКС.

Наше исследование имело и другие ограничения. ЭКГ на вдохе представляла собой отдельную запись, при этом не производилось фиксации времени от окончания вдоха до начала записи ЭКГ, а также объективизации глубины и скорости проводимого маневра. Однако простота описанной процедуры и ее соответствие современным рекомендациям по регистрации ЭКГ делают результаты нашего исследования доступными для применения в широкой клинической практике и открывают возможности для дальнейших исследований в этой области.

## Заключение

У больных с ХТЭЛГ/подозрением на ХТЭЛГ, направленных на проведение ЧВКС, в подгруппе без легочной гипертензии на вдохе во всех случаях происходило отклонение ЭОС правее исходного положения, а в группе с легочной гипертензией в 33 (48%) случаев ЭОС на вдохе смещалась правее, а в 36 (52%) случаев – левее.

Разница значений ЭОС на свободном дыхании и на вдохе имела достоверные корреляционные связи умеренной силы с систолическим, диастолическим и средним давлением в легочной артерии, систолическим давлением в правом желудочке, легочным сосудистым сопротивлением, а также достоверные обратные корреляционные связи с ударным объемом и сердечным выбросом.

По данным ROC-анализа как значения ЭОС на свободном дыхании, так и ее изменения на вдохе позволяли с чувствительностью 62–65% и специфичностью 100% разделить подгруппы с наличием и отсутствием легочной гипертензии.

## Список литературы/ References:

- Humbert M., Kovacs G., Hoepfer M.M., Badagliacca R., et al. 2022 ESC/ERS guidelines for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension. *Eur Heart J.* 2022;43(38):3618–3731. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehac237>
- Авдеев С.Н., Барбараш О.Л., Валиева З.С., Волков А.В., и соавт. 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., et al. 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>]
- Чазова И.Е., Мартынюк Т.В., Шмальц А.А., Грамович В.В., и соавт. Евразийские рекомендации по диагностике и лечению лёгочной гипертензии (2023). *Евразийский Кардиологический Журнал.* 2024;(1):6–85. <https://doi.org/10.38109/2225-1685-2024-1-6-85>  
[Chazova I.E., Martynyuk T.V., Shmalts A.A., Gramovich V.V., et al. Eurasian guidelines for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension (2023). *Eurasian heart journal.* 2024;(1):6–85 (In Russ.). <https://doi.org/10.38109/2225-1685-2024-1-6-85>]
- Чазова И.Е., Мартынюк Т.В., Горбачевский С.В., Грамович В.В., и соавт. «Путеводные огни» диагностики хронической тромбоэмболической легочной гипертензии в потоке пациентов, перенесших тромбоэмболию легочной артерии. *Терапевтический архив.* 2022; 94(9):1052–1056. <https://doi.org/10.26442/00403660.2022.09.201836>  
[Chazova I.E., Martynyuk T.V., Gorbachevskii S.V., Gramovich V.V., et al. "Guiding lights" for the diagnosis of chronic thromboembolic pulmonary hypertension in the flow of patients with pulmonary embolism. *Terapevticheskiy Arkhiv (Ter. Arkh.).* 2022;94(9):1052–1056. (In Russ.) <https://doi.org/10.26442/00403660.2022.09.201836>]
- Баркан В.С., Дроздов Д.В., Резвцов Г.Д. Электрокардиограмма на вдохе: физиологические механизмы и диагностические возможности пробы. *Медицинский алфавит.* 2023;1(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>
- Hariharan V.P., 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., Moriwaki M., Yoshikawa M., Takahashi N., et al. QRS axis shift in deep breathing. *Reshma Byori.* 1997;45(6):595–8. [in Japanese]. PMID: 9306719.
- Сахнова Т.А., Блинова Е.В., Мартынюк Т.В., Белевская А.А., и соавт. 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>  
[Sakhnova T.A., Blinova E.V., Martynyuk T.V., Belevskaya A.A., et al. 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>]