

УДК:616.124.3-007.1-073.43:616.24-036.12

РЕМОДЕЛИРОВАНИЕ ПРАВОГО ЖЕЛУДОЧКА ПРИ ХРОНИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЯХ ЛЁГКИХ: СОВРЕМЕННАЯ РОЛЬ СПЕКЛ-ТРЕКИНГ ЭХОКАРДИОГРАФИИ

АЛЯВИ Б.А., РАХИМОВА Д.А., АБДУСАМАТОВ А.Х.

*ГУ «Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр терапии и медицинской реабилитации», Ташкент, Узбекистан***XULOSA****SURUNKALI O'PKA KASALLIKLARIDA O'NG QORINCHA REMODELLANISHI: SPEKL-TREKING EXOKARDIOGRAFIYANING ZAMONAVIY O'RN**

Alyavi B.A., Raximova D.A., Abdusamatov A.X.

«Respublika ixtisoslashtirilgan terapiya va tibbiy reabilitatsiya ilmiy-amaliy tibbiyot markazi» DM, Toshkent, O'zbekiston

Surunkali o'pka kasalliklari ko'pincha o'pka gipertenziyasi va surunkali o'pka yuragi rivojlanishi bilan kechadi, bu esa o'ng qorinchaning struktural va funksional remodellinishiga olib keladi. Mazkur sharhda o'ng qorinchaning morfofunktsional holatini baholashda spekl-treking exokardiografiyaning diagnostik imkoniyatlariga oid zamonaviy ma'lumotlar tizimlashtirilgan. Ayniqsa, o'ng qorinchaning global bo'ylama deformatsiyasi (RV GLS) hamda uning erkin devori bo'ylama deformatsiyasi (RV free-wall strain) ko'rsatkichlariga alohida e'tibor qaratilgan. Ushbu ko'rsatkichlar patologik jarayonning dastlabki bosqichlaridayoq miokard qisqaruvchanlik funksiyasining subklinik buzilishlarini aniqlash imkonini beradi va an'anaviy exokardiografik parametrlar bilan solishtirganda yuqori sezgirlikka ega. Surunkali o'pka kasalliklari bo'lgan bemorlarda o'ng qorincha remodellinishini aniqlashda miokard deformatsiyasi tahlilining klinik ahamiyatiga oid ma'lumotlar tahlil qilingan. Spekl-treking exokardiografiya o'ng qorincha disfunktsiyasini erta aniqlashning istiqbolli usuli sifatida qaralib, surunkali o'pka yuragi bo'lgan bemorlarni exokardiografik tekshirishning diagnostik samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: surunkali o'pka yuragi, surunkali obstruktiv o'pka kasalligi, o'ng qorincha, o'ng qorincha remodellinishi, spekl-treking exokardiografiya; o'ng qorinchaning global bo'ylama deformatsiyasi, RV GLS, RV free-wall strain, miokard deformatsiyasi, o'pka gipertenziyasi, exokardiografiya.

SUMMARY**RIGHT VENTRICULAR REMODELING IN CHRONIC LUNG DISEASES: THE CURRENT ROLE OF SPECKLE-TRACKING ECHOCARDIOGRAPHY**

Alyavi B.A., Rakhimova D.A., Abdusamatov A.Kh.

SI «Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center of Therapy and Medical Rehabilitation», Tashkent, Uzbekistan

Chronic lung diseases are frequently associated with the development of pulmonary hypertension and chronic cor pulmonale, resulting in structural and functional remodeling of the right ventricle. This review summarizes current evidence regarding the diagnostic capabilities of speckle-tracking echocardiography in assessing the morphofunctional status of the right ventricle. Particular attention is given to right ventricular global longitudinal strain (RV GLS) and right ventricular free-wall strain, which enable the detection of subclinical myocardial contractile dysfunction at the early stages of the pathological process and demonstrate higher sensitivity compared with conventional echocardiographic parameters. Data on the clinical significance of myocardial deformation analysis in the diagnosis of right ventricular remodeling in patients with chronic lung diseases are analyzed. Speckle-tracking echocardiography is considered a promising tool for the early detection of right ventricular dysfunction, contributing to improved diagnostic accuracy of echocardiographic assessment in patients with chronic cor pulmonale.

Keywords: chronic cor pulmonale, chronic obstructive pulmonary disease, right ventricle, right ventricular remodeling, speckle-tracking echocardiography, right ventricular global longitudinal strain, RV GLS, RV free-wall strain, myocardial deformation, pulmonary hypertension, echocardiography.

РЕЗЮМЕ

РЕМОДЕЛИРОВАНИЕ ПРАВОГО ЖЕЛУДОЧКА ПРИ ХРОНИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЯХ ЛЁГКИХ: СОВРЕМЕННАЯ РОЛЬ СПЕКЛ-ТРЕКИНГ ЭХОКАРДИОГРАФИИ

Аляви Б.А., Рахимова Д.А., Абдусаматов А.Х.

ГУ «Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр терапии и медицинской реабилитации», Ташкент, Узбекистан

Хронические заболевания лёгких нередко ассоциированы с развитием лёгочной гипертензии и хронического лёгочного сердца, что обуславливает структурное и функциональное ремоделирование правого желудочка. В настоящем обзоре систематизированы современные данные о диагностических возможностях спекл-трекинг эхокардиографии при оценке морфофункционального состояния правого желудочка. Особое внимание уделено показателям глобальной продольной деформации правого желудочка (RV GLS) и продольной деформации его свободной стенки (RV free-wall strain), которые позволяют выявлять субклинические нарушения сократительной функции миокарда на ранних этапах патологического процесса и характеризуются более высокой чувствительностью по сравнению с традиционными эхокардиографическими параметрами. Проанализированы данные о клинической значимости деформационного анализа миокарда в диагностике ремоделирования правого желудочка у пациентов с хроническими заболеваниями лёгких. Спекл-трекинг эхокардиография рассматривается как перспективный метод раннего выявления правожелудочковой дисфункции, способствующий повышению диагностической информативности эхокардиографического обследования пациентов с хроническим лёгочным сердцем.

Ключевые слова: хроническое лёгочное сердце, хроническая обструктивная болезнь лёгких, правый желудочек, ремоделирование правого желудочка, спекл-трекинг эхокардиография, глобальная продольная деформация правого желудочка, RV GLS, RV free-wall strain, деформация миокарда, лёгочная гипертензия, эхокардиография.

Хронические заболевания лёгких, прежде всего хроническая обструктивная болезнь лёгких (ХОБЛ) и интерстициальные заболевания лёгких, остаются одной из ведущих причин заболеваемости, инвалидизации и смертности во всём мире. Прогрессирование хронической гипоксемии, эндотелиальной дисфункции и ремоделирования сосудов малого круга кровообращения способствует развитию лёгочной гипертензии (ЛГ) и хронического лёгочного сердца (cor pulmonale), что приводит к структурно-функциональной перестройке правого желудочка (ПЖ) [1, 2]. В настоящее время дисфункция ПЖ рассматривается как один из наиболее значимых независимых предикторов ухудшения прогноза, повторных госпитализаций и смертности у пациентов с хронической бронхолёгочной патологией [3, 4].

Несмотря на широкое применение традиционной эхокардиографии, её диагностические возможности в выявлении ранних нарушений функции ПЖ остаются ограниченными. Это обусловлено сложной анатомией правого желудочка, его серповидной формой, выраженной зависимостью от преднагрузки и постнагрузки, а также недостаточной чувствительностью стандартных эхокардиографических показателей на доклинических стадиях ремоделирования [5, 6].

Метод спекл-трекинг эхокардиографии (STE) основан на отслеживании естественных акустических маркеров («спеклов») в толще миокарда и позволяет количественно оценивать деформацию миокардиальных волокон на протяжении сердечного цикла. В настоящее время двухмерная спекл-трекинг эхокардиография (2D-STE) является наиболее распространённым методом оценки миокардиальной механики [7]. Первоначально технология получила широкое распространение при исследовании функции левого желудочка (ЛЖ), однако в последние годы её применение активно расширяется для оценки правого желудочка и предсердий.

Глобальная продольная деформация миокарда (GLS) признана одним из наиболее чувствительных показателей ранней систолической дисфункции. В отличие от фракции выброса, которая отражает уже выраженные структурно-функциональные изменения, показатели деформации позволяют выявлять субклинические нарушения сократительной способности миокарда значительно раньше [7, 8].

Особую клиническую значимость представляет анализ продольной деформации правого желудочка (RVLS), поскольку основная часть сократительной функции ПЖ обеспечива-

ется продольно ориентированными мышечными волокнами свободной стенки [9]. Именно поэтому показатели деформации свободной стенки ПЖ (RVfWLS) рассматриваются как наиболее чувствительные маркеры раннего ремоделирования правых отделов сердца. Патогенез поражения правого желудочка при хронических заболеваниях лёгких носит многофакторный характер. Помимо хронической гипоксии и повышения лёгочного сосудистого сопротивления существенную роль играют системное воспаление, оксидативный стресс, нейрогуморальная активация и эндотелиальная дисфункция [10]. Длительное воздействие данных факторов приводит к развитию компенсаторной гипертрофии миокарда ПЖ, нарушению энергетического метаболизма кардиомиоцитов, интерстициальному фиброзу и последующему снижению сократительной способности миокарда. Наиболее ранние изменения затрагивают продольные волокна свободной стенки ПЖ, что объясняет высокую диагностическую чувствительность параметров деформационного анализа [11].

В последние годы особое внимание уделяется изучению субклинической дисфункции миокарда у пациентов с ХОБЛ. Сердечно-сосудистые осложнения остаются одной из ведущих причин смертности данной категории пациентов, однако ранняя диагностика кардиального ремоделирования по-прежнему представляет значительные трудности [12]. В исследовании Nguyen Ngoc Dang и соавт. (2025) проведена комплексная оценка деформации правого желудочка, левого желудочка и левого предсердия у пациентов с ХОБЛ посредством STE [13]. Авторы обследовали 32 пациента с подтверждённой ХОБЛ и 37 практически здоровых лиц контрольной группы. Исключение пациентов с артериальной гипертензией, сахарным диабетом, ишемической болезнью сердца и клапанными пороками позволило оценить непосредственное влияние ХОБЛ на функциональное состояние миокарда.

По результатам исследования показатели продольной деформации ПЖ были достоверно снижены у пациентов с ХОБЛ по сравнению с контрольной группой. Значение RVFWSL составило $16,53 \pm 5,89$ % против $21,39 \pm 7,78$ % соответственно ($p < 0,001$), тогда как показатель RV4CSL составил $14,65 \pm 4,53$ % и $18,34 \pm 6,38$ % соответственно ($p < 0,001$) [13]. Полученные результаты свидетельствуют о наличии субклинической систолической дисфункции правого желудочка даже при отсутствии значимых изменений традиционных эхокардиографических параметров.

Особое внимание исследователей привлекает установленная связь между выраженностью клинических симптомов заболевания и степенью дисфункции правого желудочка. Было показано, что у пациентов с более выраженной одышкой ($mMRC \geq 2$) показатели продольной деформации миокарда правого желудочка были значительно ниже по сравнению с пациентами, имеющими менее выраженные клинические проявления. Кроме того, выявлена достоверная обратная корреляция между длительностью течения заболевания и значениями RVLS, что подтверждает постепенное прогрессирование кардиопульмонального ремоделирования по мере развития патологического процесса [13].

Наряду с изменениями со стороны правого желудочка у пациентов с ХОБЛ отмечалось снижение глобальной продольной деформации левого желудочка даже при сохранённой фракции выброса. Полученные результаты подтверждают концепцию кардиопульмонального континуума, согласно которой структурно-функциональные изменения правых и левых отделов сердца формируются одновременно под влиянием хронической гипоксии, системного воспаления и нарушений межжелудочкового взаимодействия [13].

В исследовании Rice и соавт. продемонстрировано, что параметры продольной деформации правого желудочка обладают более высокой диагностической чувствительностью в выявлении лёгочной гипертензии у пациентов с ХОБЛ по сравнению с традиционными эхокардиографическими показателями [14]. Авторы установили, что снижение значений RVLS регистрируется на ранних этапах заболевания, ещё до появления выраженного повышения давления в лёгочной артерии и клинических признаков правожелудочковой недостаточности.

Дополнительное подтверждение высокой диагностической ценности метода получено в исследовании Brindeiro Filho и соавт., где показатели RVLS тесно коррелировали с переносимостью физической нагрузки и результатами шестиминутного теста ходьбы. Brindeiro Filho и соавт. пришли к выводу, что снижение продольной деформации может служить ранним маркером функциональной декомпенсации правого желудочка [15].

Особое место среди заболеваний, сопровождающихся ремоделированием правого желудочка, занимает лёгочная гипертензия. Независимо от этиологии ЛГ состояние ПЖ является одним из

главных факторов, определяющих прогноз пациентов [16, 17]. В связи с этим поиск высокочувствительных методов оценки правожелудочковой функции остаётся одной из приоритетных задач современной кардиологии.

Согласно систематическому обзору и метаанализу Nabeshima и соавт. (2024), включившему 20 исследований и 2790 пациентов с различными формами лёгочной гипертензии, снижение RVfwLS являлось независимым предиктором неблагоприятных сердечно-сосудистых событий и смертности [18]. Nabeshima и соавт. показали, что уменьшение значения RVfwLS на одно стандартное отклонение сопровождалось увеличением риска неблагоприятного исхода на 80 %.

Особенно важным является тот факт, что RVfwLS продемонстрировал более высокую прогностическую ценность по сравнению с традиционными эхокардиографическими параметрами, включая TAPSE, FAC, s'-TV и давление в лёгочной артерии [18]. Аналогичные результаты были получены в систематическом обзоре Shukla и соавт., подтвердившем высокую прогностическую значимость показателей деформации ПЖ у пациентов с различными формами лёгочной гипертензии [19].

В исследовании Park и соавт. было показано, что снижение RVGLS менее $-15,5$ % ассоциируется с существенным увеличением риска летальности и прогрессирования правожелудочковой недостаточности у пациентов с лёгочной артериальной гипертензией [20]. Park и соавт. продемонстрировали тесную взаимосвязь между показателями деформации, гемодинамическими параметрами и клиническим состоянием больных. Дополнительный интерес представляет возможность использования STE в качестве неинвазивного метода оценки лёгочной гемодинамики.

В исследованиях, проведённых Theres L., Bastian K., Schmitz L. и соавт., была выявлена статистически значимая взаимосвязь между показателями продольной деформации правого желудочка (RVLS) и результатами инвазивной гемодинамической оценки, полученными при катетеризации правых отделов сердца. В частности, установлена корреляция RVLS со средним давлением в лёгочной артерии, величиной лёгочного сосудистого сопротивления и давлением наполнения правых отделов сердца [21].

Полученные данные подтверждают высокую информативность спекл-трекинг эхокардиографии при оценке функционального состояния правого желудочка и позволяют рассматривать показатели деформации миокарда как потенциальные неинвазивные маркеры тяжести гемодинамических нарушений.

Согласно современным рекомендациям European Society of Cardiology и European Respiratory Society, оценка функции правого желудочка является одним из важнейших компонентов стратификации риска у пациентов с лёгочной гипертензией [22].

Хотя параметры миокардиальной деформации пока не входят в перечень обязательных критериев оценки риска, накопленные научные данные свидетельствуют о высокой диагностической и прогностической ценности этих показателей. В связи с этим всё чаще обсуждается необходимость включения методов оценки деформации миокарда правого желудочка в современные диагностические алгоритмы обследования пациентов с лёгочной гипертензией и хроническими заболеваниями лёгких.

В последние годы активно изучаются возможности трёхмерной спекл-трекинг эхокардиографии и технологий искусственного интеллекта в оценке функции ПЖ. По данным Martini и соавт. (2024), использование 3D-STE позволяет более точно учитывать сложную геометрию правого желудочка и повышать воспроизводимость результатов исследования [23].

Дополнительные перспективы связаны с внедрением автоматизированного анализа изображений на основе алгоритмов машинного обучения, что может способствовать стандарту

Несмотря на высокую диагностическую и прогностическую ценность STE, метод имеет определённые ограничения. К ним относятся зависимость результатов от качества эхокардиографической визуализации, необходимость достаточной частоты кадров, межпроизводительская вариабельность программного обеспечения и отсутствие универсальных референсных значений для различных категорий пациентов [23, 24]. Тем не менее большинство исследователей сходятся во мнении, что преимущества метода существенно превосходят его ограничения.

Таким образом, накопленные данные свидетельствуют о том, что показатели деформации правого желудочка являются высокочувствительными маркерами раннего кардиопульмонального ремоделирования. Их использование позволяет выявлять субклиническую дисфункцию ПЖ, более

точно оценивать степень тяжести заболевания, осуществлять стратификацию риска и контролировать эффективность проводимой терапии. Следовательно, хронические заболевания лёгких сопровождаются прогрессирующим ремоделированием правого желудочка, которое играет ключевую роль в развитии сердечно-сосудистых осложнений и определяет прогноз пациентов. Современные исследования демонстрируют, что спекл-трекинг эхокардиография обладает высокой чувствительностью в выявлении ранних нарушений функции миокарда и превосходит ряд традиционных эхокардиографических показателей в диагностике субклинической правожелудочковой дисфункции. Наиболее информативным параметром является деформация свободной стенки правого желудочка (RVfwLS), которая тесно связана с тяжестью заболевания, лёгочной гемодинамикой и риском неблагоприятных сердечно-сосудистых исходов. Интеграция показателей деформационного анализа в рутинную эхокардиографическую практику способствует совершенствованию ранней диагностики, стратификации риска и мониторинга эффективности терапии у пациентов с хроническими заболеваниями лёгких и лёгочной гипертензией. Перспективы дальнейшего развития метода связаны с внедрением трёхмерной эхокардиографии, технологий искусственного интеллекта и мультимодальных алгоритмов оценки кардиопульмонального ремоделирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease (GOLD). Global strategy for prevention, diagnosis and management of COPD: 2024 report. Fontana (WI): GOLD. 2024.
2. Nathan S.D., Barbera J.A., Gaine S.P., Harari S., Martinez F.J., Olschewski H., et al. Pulmonary hypertension in chronic lung disease and hypoxia. *Eur Respir J*. 2019. Vol. 53(1). P. 1801914.
3. Vonk Noordegraaf A., Chin K.M., Haddad F., Hassoun P.M., Hemnes A.R., Hopkins S.R., et al. Pathophysiology of the right ventricle and of the pulmonary circulation in pulmonary hypertension. *Eur Respir J*. 2019. Vol. 53(1). P. 1801900.
4. Campo A., Mathai S.C., Le Pavec J., Zaiman A.L., Hummers L.K., Boyce D., et al. Outcomes of hospitalisation for right heart failure in pulmonary arterial hypertension. *Eur Respir J*. 2011. Vol. 38(2). P. 359–367.
5. Rudski L.G., Lai W.W., Afilalo J., Hua L., Handschumacher M.D., Chandrasekaran K., et al. Guidelines for the echocardiographic assessment of the right heart in adults. *J Am Soc Echocardiogr*. 2010. Vol. 23(7). P. 685–713.
6. Lang R.M., Badano L.P., Mor-Avi V., Afilalo J., Armstrong A., Ernande L., et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2015. Vol. 16(3). P. 233–270.
7. Smiseth O.A., Torp H., Opdahl A., Haugaa K.H., Urheim S. Myocardial strain imaging: how useful is it in clinical decision making? *Eur Heart J*. 2016. Vol. 37(15). P. 1196–207.
8. Tadic M., Cuspidi C., Pieske B., Franeková J., Belyavskiy E., Morris D.A. The role of right ventricular strain in the clinical assessment of patients with cardiopulmonary diseases. *Heart Fail Rev*. 2021. Vol. 26(6). P. 1319–1329.
9. Fine N.M., Chen L., Bastiansen P.M., Frantz R.P., Pellikka P.A., Oh J.K., et al. Outcome prediction by quantitative right ventricular function assessment in pulmonary arterial hypertension. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2013. Vol. 6(5). P. 711–721.
10. Naeije R., Manes A. The right ventricle in pulmonary arterial hypertension. *Eur Respir Rev*. 2014. Vol. 23(134). P. 476–487.
11. Nonaka H., Sato T., Kato T.S. Advances in right ventricular functional assessment using myocardial strain imaging. *J Clin Med*. 2024. Vol. 13(12). P. 3412.
12. Sin D.D., Man S.F. Chronic obstructive pulmonary disease as a risk factor for cardiovascular morbidity and mortality. *Proc Am Thorac Soc*. 2005. Vol. 2(1). P. 8–11.
13. Nguyen Ngoc Dang, Nguyen Thi Thu Hoai, Tran Van Nguyen, Pham Quoc Dat, Le Thi Bich Ngoc. Evaluation of myocardial strain in patients with chronic obstructive pulmonary disease using speckle-tracking echocardiography. *Echocardiography*. 2025. Vol. 42(2). P. 145–154.
14. Rice K.L., Kinnard D.R., Melhorn S.J., Schultheis L.W., Han M.K. Right ventricular strain in chronic obstructive pulmonary disease and pulmonary hypertension. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2016. Vol. 32(12). P. 1807–1815.

-
15. Brindeiro Filho D.F., Mendes C.A., Cavalcante J.L., Ferreira E.V., Campos T.F., Nunes MCP. Right ventricular strain and exercise capacity in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Echocardiography*. 2018. Vol. 35(9). P. 1338–1345.
 16. Humbert M., Kovacs G., Hoeper M.M., Badagliacca R., Berger RMF, Brida M., et al. 2022 ESC/ERS Guidelines for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension. *Eur Heart J*. 2022. Vol. 43(38). P. 3618–3731.
 17. Thenappan T., Ormiston M.L., Ryan J.J., Archer S.L. Pulmonary arterial hypertension: pathogenesis and clinical management. *BMJ*. 2018. Vol. 360. j5492.
 18. Nabeshima Y., Kitano T., Takeuchi M., et al. Prognostic value of right ventricular free-wall longitudinal strain in pulmonary hypertension: a systematic review and meta-analysis. *Heart Fail Rev*. 2024. Vol. 29(2). P. 455–468.
 19. Shukla A., Sachdeva K., Bansal M. Right ventricular strain for prognosis in pulmonary hypertension: systematic review and meta-analysis. *Echocardiography*. 2018. Vol. 35(11). P. 1825–1834.
 20. Park J.H., Negishi K., Kwon D.H., Popovic Z.B., Grimm R.A., Marwick T.H. Validation of global longitudinal strain and prognostic implications in pulmonary hypertension. *J Am Soc Echocardiogr*. 2015. Vol. 28(5). P. 557–565.
 21. Theres L., Bastian K., Schmitz L., et al. Correlation between right heart strain parameters and invasive hemodynamics in pulmonary hypertension. *ESC Heart Fail*. 2020. Vol. 7(3). P. 1112–21.
 22. Galiè N., Humbert M., Vachiery J.L., Gibbs S., Lang I., Torbicki A., et al. 2015 ESC/ERS Guidelines for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension. *Eur Heart J*. 2016. Vol. 37(1). P. 67–119.
 23. Martini C., Gallina S., Di Marco G., et al. Three-dimensional speckle-tracking echocardiography in right ventricular assessment: current perspectives and future directions. *J Cardiovasc Echogr*. 2024. Vol. 34(1). P. 1–10.
 24. Voigt J.U., Cvijic M. 2- and 3-dimensional myocardial strain in cardiac health and disease. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2019. Vol. 12(9). P. 1849–1863.