

Нужный В. П.¹, Дерновой Б. Ф.^{1,2}, Киблер Н. А.¹, Прошева В. И.¹, Шмаков Д. Н.¹

¹ Институт физиологии ФГБУН ФИЦ «Коми научный центр Уральского отделения РАН», Сыктывкар, Россия

² ФКУЗ «Медико-санитарная часть МВД России по Республике Коми», Сыктывкар, Россия

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СЕРДЦА У ЧЕЛОВЕКА В ПРОН-ПОЗИЦИИ

Цель	Изучение внутрисердечной гемодинамики у здоровых мужчин в положении лежа на спине и в прон-позиции (на животе).
Материал и методы	В исследование с применением эхокардиографии были включены 14 практически здоровых мужчин, средний возраст 38 лет.
Результаты	Установлено, что в прон-позиции изменяются конфигурация и положение сердца в грудной полости, увеличивается на 7,3% частота сердечных сокращений и уменьшается на 13,7% скорость трансортального кровотока. В то же время увеличиваются скорости гемодинамики раннего и позднего диастолического кровенаполнения правого желудочка и систолического потока крови в легочной артерии на 31,7, 11,4 и 5,6% соответственно. Выявлено уменьшение на 7% скорости и на 14,2% градиента давления регургитации на интактном трикуспидальном клапане.
Заключение	Таким образом, в прон-позиции пространственное изменение расположения сердца и его структур влияет на скорости внутрисердечного кровотока, что при длительной прон-позиции может инициировать развитие сердечной недостаточности.
Ключевые слова	Прон-позиция; эхокардиография; системная и внутрисердечная гемодинамика
Для цитирования	Nuzhny V.P., Dernovoj B.F., Kibler N.A., Prosheva V.I., Shmakov D.N. Functioning of the Human Heart in the Pron-Position. Kardiologiya. 2023;63(1):42–47. [Russian: Нужный В.П., Дерновой Б.Ф., Киблер Н.А., Прошева В.И., Шмаков Д.Н. Функционирование сердца у человека в прон-позиции. Кардиология. 2023;63(1):42–47].
Автор для переписки	Шмаков Дмитрий Николаевич. E-mail: shmakovdn@yandex.ru

Введение

Изменение положения тела влияет на функциональную деятельность сердца, которая обеспечивает его эффективную работу посредством изменения внутрисердечной гемодинамики [1]. Клиническая оценка функциональной деятельности сердца основана на изучении линейных и функциональных параметров, для чего широко используется метод ультразвуковой эходоплерокардиографии [2]. Пандемия COVID-19 внесла существенные коррективы в проведение эхокардиографических исследований. Для определения функциональных изменений сердца этим пациентам требуется мониторинг эхокардиографических параметров [3]. С целью улучшения вентиляции легких при тяжелых и среднетяжелых формах пневмоний требуется перевод пациента в прон-позицию. Положение лежа на животе является эффективным для быстрого улучшения оксигенации крови у пациентов с пневмонией, вызванной COVID-19. Установлено, что положение прон-позиции у пациентов снижает смертность при умеренном и тяжелом остром респираторном дистресс-синдроме [4], улучшает оксигенацию крови и уменьшает дисфункцию правого желудочка (ПЖ). Снимая нагрузку с ПЖ, прон-позиция способствует улучшению деятельности сердца [5]. У пациентов с резервом преднагрузки прон-позиция увеличивает сердечный индекс, что подчеркивает важную роль преднагруз-

ки в гемодинамических эффектах положения человека лежа на животе [6]. Существует множество доказательств в пользу прон-позиции при тяжелой гипоксической дыхательной недостаточности и остром респираторном дистресс-синдроме [7, 8].

Вместе с тем прон-позиция создает трудности в сканировании сердца из парастеральной позиции. Предложенные различными авторами методики ЭхоКГ у пациентов, находящихся в прон-позиции, проводятся из правого латерального и левого латерального апикального доступов [9, 10]. Измеряемые параметры для двухмерных расчетов ФВ ЛЖ могут быть ошибочными и не позволяют в достаточной степени правильно интерпретировать полученные результаты, так как в положении лежа на животе изменяется нормальная конфигурация ЛЖ, что может приводить к изменению деятельности сердца. В положении прон-позиции практически невозможно использовать М-режим для расчета ФВ ЛЖ, так как отсутствует оптимальный доступ для проведения исследования из парастеральной позиции. Кроме того, получаемые данные для расчета ФВ ЛЖ в М-режиме дают, к сожалению, лишь информацию о сократимости базального отдела ЛЖ [2]. С помощью одного, пусть даже такого информативного показателя, как ФВ ЛЖ, невозможно адекватно охарактеризовать состояние внутрисердечной гемодинамики. ФВ ЛЖ – изменчивый показатель и существенно зави-

сит от величины пред- и постнагрузки, поэтому не может быть определяющим в оценке состояния сердца, особенно у пациентов, находящихся в прон-позиции. Следует принять во внимание, что регистрируемые параметры при ЭхоКГ в положении лежа на животе аппроксимируются на нормативные показатели, полученные у здоровых людей из стандартных позиций в положении лежа на спине или левом боку.

Имеющиеся в литературе данные, зарегистрированные в прон-позиции посредством трансторакальной [6] и чреспищеводной ЭхоКГ [11], получены в основном у пациентов с острым респираторным дистресс-синдромом при заболевании COVID-19. К настоящему времени имеются лишь единичные работы по изучению деятельности сердца методом ЭхоКГ у здоровых лиц после изменения положения тела в прон-позицию [12]. Особый интерес представляет исследование влияния прон-позиции на внутрисердечные гемодинамические параметры у здоровых людей.

Цель

Изучение внутрисердечной гемодинамики в прон-позиции у здоровых мужчин.

Материал и методы

Исследования с изменением положения тела в прон-позицию проводили на одной и той же группе мужчин ($n=14$), средний возраст которых составлял $38\pm 3,6$ года, длина тела $175,7\pm 4,4$ см, масса тела $80,2\pm 12,4$ кг. На период проведения исследований испытуемые не имели острых и хронических заболеваний и не предъявляли жалоб при осмотре врача. Мужчины – жители Европейского Севера России, (г. Сыктывкар, 62° с.ш.). Исследование сердечно-сосудистой системы проводили при температуре в помещении $21\pm 1,0^\circ\text{C}$ и влажности воздуха 58%. Эксперимент осуществляли в спокойной обстановке, натощак. У испытуемых после стабилизации частоты ритма сердца в положении лежа на спине двукратно измеряли артериальное давление. С помощью ультразвуковой доплерографии исследовали внутрисердечную гемодинамику. Затем испытуемые поворачивались на живот и ложились таким образом, чтобы сохранялся доступ к проведению ультразвукового исследования сердца, для чего использовалась специальная медицинская кушетка с окном для доступа к исследованию сердца. В таком положении испытуемые находились в течение 3 мин. После этого поэтапно проводилась регистрация артериального давления и внутрисердечной гемодинамики. Исследования выполняли с соблюдением этических медико-биологических норм, изложенных в Хельсинкской декларации, Директивах европейского сообщества и одобренных локальным этическим комитетом Института физиологии

Коми НЦ УрО РАН. Обследуемые предварительно были информированы о целях, задачах, методах проводимых исследований, о существующей возможности отказаться от дальнейшего участия на любом из этапов работ. Свое добровольное согласие на участие в исследовании испытуемые подтверждали письменно.

Регистрация параметров сердечно-сосудистой системы основывалась на данных, полученных поверенными приборами: полуавтоматическим манометром OMRON-M1 Plus, ультразвуковым сканером MyLab Class C. С помощью манометра оценивали систолическое АД (САД) и диастолическое АД. Методом эходоплерографии кардиологическим датчиком 2–5 МГц трансторакально выполняли ультразвуковое исследование внутрисердечной гемодинамики из апикального и парастернального доступов, в положении испытуемых лежа на спине и на животе.

В импульсном режиме доплеровского исследования измеряли скорости транстрикуспидального раннего ($V_{\text{Етр.}}$) и позднего ($V_{\text{Атр.}}$) диастолического потока, скорость трансартериального потока в корне аорты ($V_{\text{Ао}}$), скорость транспульмонального потока в корне легочной артерии ($V_{\text{Лег}}$). В режиме непрерывно-волнового доплеровского исследования измеряли скорость регургитации на трикуспидальном клапане ($V_{\text{Тр.рег.}}$). Программой, заложенной в ультразвуковом сканере, автоматически рассчитывался градиент давления регургитации на трикуспидальном клапане ($P_{\text{рег.тр.}}$). Дополнительно рассчитывали соотношение скорости потоков – $V_{\text{Етр.}}/V_{\text{Атр.}}$, по сердечным комплексам на эхограмме рассчитывали ЧСС.

Для ясного представления изменения конфигурации и расположения сердца в полости грудной клетки в прон-позиции представлены компьютерные томограммы (КТ) в положении лежа на спине (фон) и на животе, выполненные на приборе Toshiba Aquilion 64.

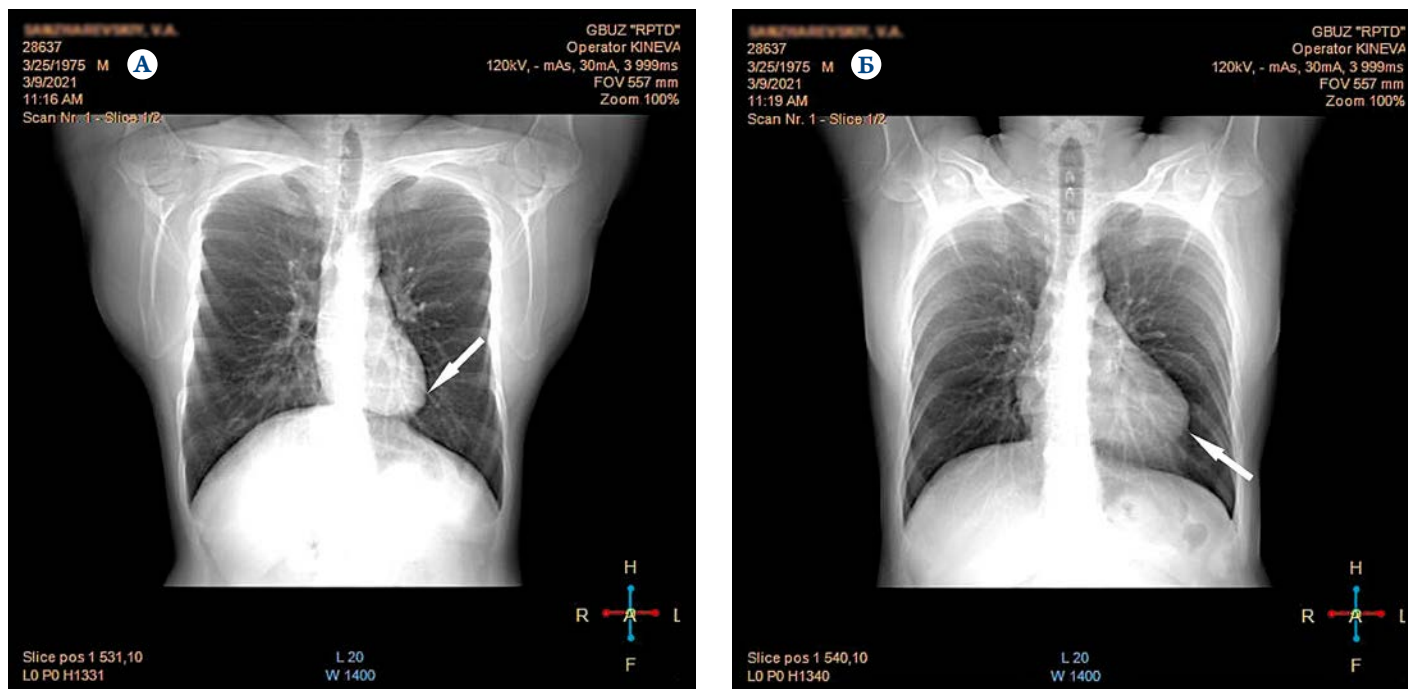
Статистический анализ

Полученные данные анализировали с использованием программы для медико-биологической статистики BIOSTAT 4.03. Использовали критерий Стьюдента и непараметрические критерии Манна–Уитни. Данные представлены в виде $M\pm m$, где M – средняя арифметическая значений показателей, m – стандартная ошибка среднего значения. Достоверными считали различия при $p<0,05$.

Результаты

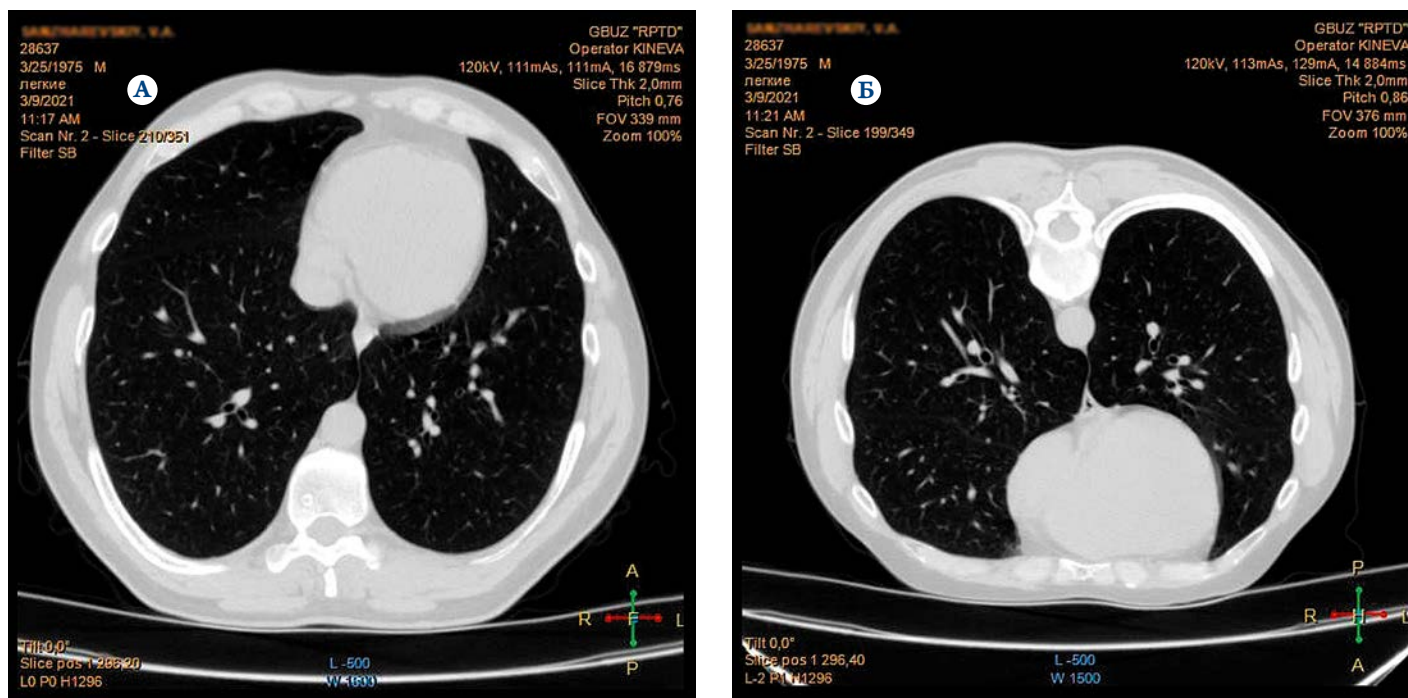
На рентгеновских снимках органов грудной клетки в положении лежа на спине (рис. 1, А) контур сердца расположен вертикально, а тень верхушки располагается медиальнее среднеключичной линии. В прон-позиции (рис. 1, Б) диафрагма смещается в краниальном направлении

Рисунок 1. Рентгеновский снимок органов грудной клетки в положении на спине (А) и в прон-позиции (Б)



Стрелкой показано расположение верхушки сердца. Объяснение в тексте.

Рисунок 2. Компьютерная томограмма органов грудной клетки в положении на спине (А) и в прон-позиции (Б). Аксиальный срез



Объяснение в тексте.

нии, очевидно, за счет увеличения внутрибрюшного давления, а верхушка сердца смещается латеральнее среднеключичной линии, ближе к передней аксилярной линии.

При этом длинная ось контура сердца смещается относительно фона горизонтально. На фронтальных снимках и аксиальных срезах КТ (рис. 2) видно, что в прон-позиции сердечно-сосудистая тень сердца большим

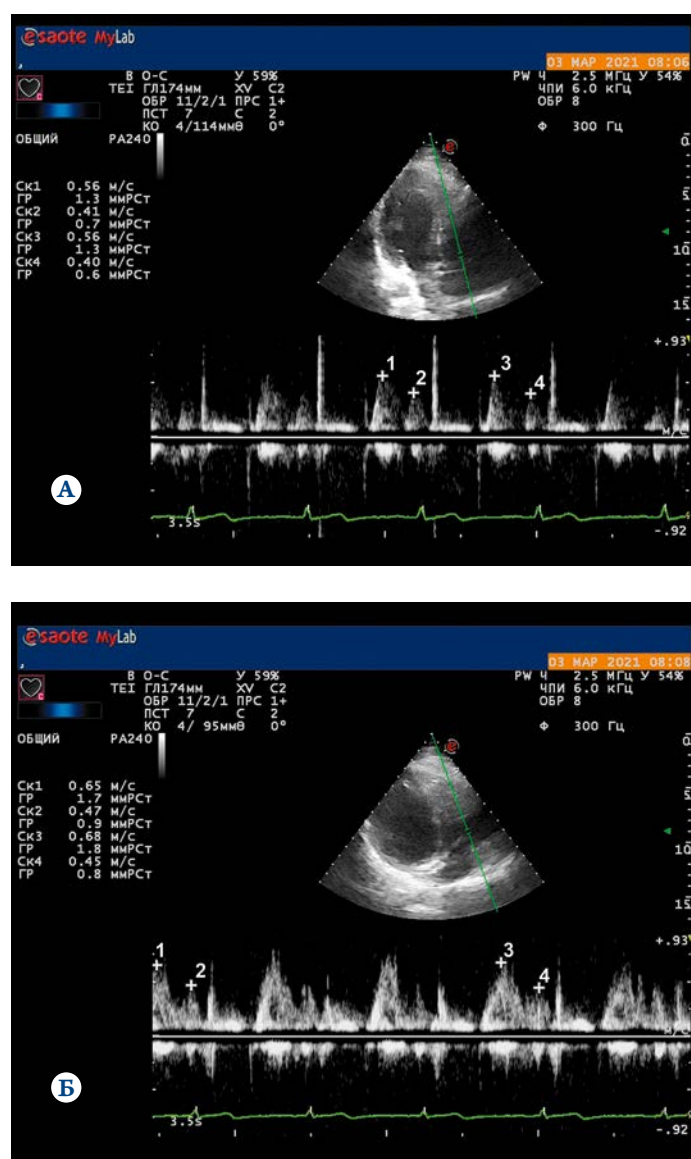
объемом прилежит к переднему отделу грудной клетки, меняется положение ее оси, и она разворачивается по часовой стрелке.

В прон-позиции прилежащие легкие в переднем отделе гиповентилированы, в заднем отделе относительно более пневматизированы. Так как передний отдел грудной клетки подвижнее заднего, то при положении на животе пе-

реднезадний размер грудной клетки уменьшается относительно того же уровня, измеряемого в положении на спине. Само сердце смещается кпереди и в большей степени влево, изменяя конфигурацию относительно исходного положения и, как бы расплываясь, принимает шаровидную форму. Это, возможно, происходит за счет нависания ЛЖ над правым и смещения передней и боковой стенок ЛЖ вперед. Верхушка сердца, которая и так ограничена в движении, также отклоняется в сторону передней грудной стенки, при этом контуры ее сглаживаются.

Изменение пространственного расположения структур сердца в грудной клетке приводит к тому, что основная механическая нагрузка приходится на базальные отделы ЛЖ и межжелудочковой перегородки (МЖП).

Рисунок 3. Двумерный и режим импульсно-волнового доплеровского исследования транстрикуспидального кровотока в положении на спине (А) и в прон-позиции (Б)

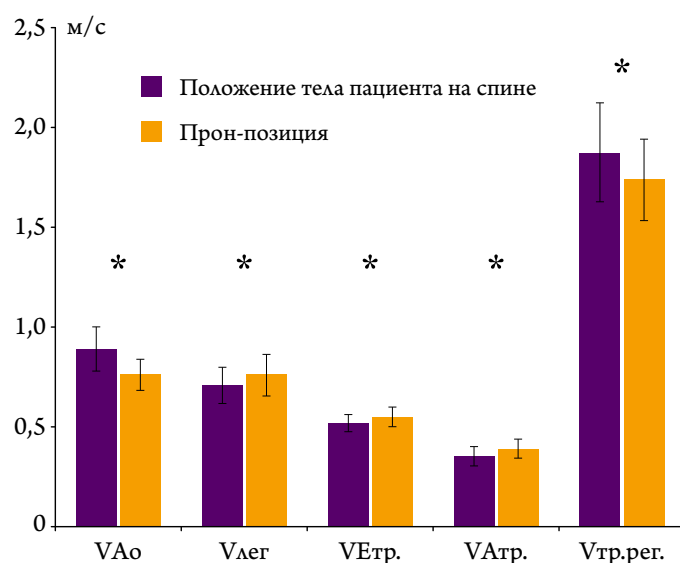


На доплерограмме выше изолинии показан более высокий пик 1, 3 раннего и более низкий пик 2, 4 позднего диастолического кровенаполнения правого желудочка. Объяснение в тексте.

Известно, что перемещения масс крови, вызванные переменной положения тела, обусловлены величиной венозного возврата к сердцу и степенью гемодинамического сопротивления [13]. Из-за сложного анатомического строения ПЖ и его изменившегося расположения визуальная оценка сократимости его свободной стенки затруднена. Изменение пространственного расположения структур сердца в грудной клетке приводит к тому, что основная механическая нагрузка приходится на базальные отделы ЛЖ и МЖП. При этом изменяется и биомеханика движения трикуспидального кольца [12]. Возможно, при данной изменившейся конфигурации сердца физиологические пути притока и оттока крови в ПЖ и ЛЖ модифицируются, что вызовет изменения скоростей внутрисердечных потоков крови. Поэтому для оценки деятельности миокарда мы использовали опосредованные показатели скоростных характеристик потоков крови.

Исходно у исследуемых в положении лежа на спине было выявлено нормально высокое САД – $131,64 \pm 10,48$ мм рт.ст. В течение нахождения в прон-позиции у исследуемой группы параметры САД существенно не отличались от исходного положения и составили $130,93 \pm 10,5$ мм рт.ст. При этом выявля-

Рисунок 4. Гемодинамические показатели сердца в положении тела пациента на спине и в прон-позиции (в м/с)



VAo – скорость систолического потока выбрасываемой крови в аорту левым желудочком через аортальный клапан; Vлег. – скорость систолического кровотока в легочной артерии; VEтр. – скорость кровотока через трикуспидальный клапан в период раннего диастолического наполнения правого желудочка; VАтр. – скорость систолического потока крови в предсердную систолу через трикуспидальное отверстие; Vтр.рег. – скорость реверсивного кровотока на интактном трикуспидальном клапане. Достоверность различий параметров кардиогемодинамики в прон-позиции: * $p < 0,05$ – по сравнению с показателями в положении тела пациента на спине.

но незначительное повышение ДАД с $79,14 \pm 7,97$ до $81,00 \pm 8,45$ мм рт. ст. Последнее, возможно, обусловлено увеличением волемиической нагрузки и повышением давления в ЛЖ при изменившейся пространственной конфигурации сердца.

ЧСС у исследуемых увеличивалась при переводе в прон-позицию с $69,57 \pm 9,35$ уд/мин в положении лежа на спине до $74,71 \pm 10,41$ уд/мин в прон-позиции, что, по-видимому, обусловлено регуляторными реакциями организма на изменение положения тела за счет усиления влияния симпатической нервной системы в миогенной ауторегуляции сердца в ответ на повышенный венозный возврат к сердцу [14]. Нами установлено, что скорость систолического потока крови в аорту, выбрасываемой ЛЖ через аортальный клапан (VAo), уменьшилась с $0,88 \pm 0,11$ м/с в положении лежа на спине, до $0,76 \pm 0,08$ м/с в прон-позиции ($p < 0,05$; рис. 3, 4).

Обсуждение

Снижение VAo, по-видимому, обусловлено, с одной стороны, депонированием части крови в сосудах легких, а с другой стороны – снижением насосной функции ЛЖ в условиях измененной конфигурации сердца в положении лежа на животе. В положении прон-позиции скорость кровотока через трикуспидальный клапан в период раннего диастолического наполнения ПЖ (VETp.) возрастает с $0,41 \pm 0,05$ до $0,54 \pm 0,05$ м/с ($p < 0,05$). Скорость систолического потока крови в предсердную систолу через трикуспидальное отверстие (VATp.) также увеличивается с $0,35 \pm 0,05$ до $0,39 \pm 0,05$ м/с. Предполагается, что это может быть обусловлено увеличением венозного возврата к сердцу. Увеличение скорости систолического кровотока в легочной артерии с $0,71 \pm 0,08$ до $0,75 \pm 0,10$ м/с ($p < 0,05$), уменьшение реверсивного кровотока (VTrp.) с $1,86 \pm 0,25$ до $1,73 \pm 0,05$ м/с и снижение градиента давления реверсивного кровотока на ин-

тактном трикуспидальном клапане (Pтр.рег.) с $14,15 \pm 3,67$ до $12,12 \pm 2,87$ мм рт. ст. ($p < 0,05$) могут указывать на уменьшение постнагрузки на миокард ПЖ. Предполагается, что для сохранения оптимальной сократительной функции ПЖ важную роль играет МЖП сердца, которая в прон-позиции, по-видимому, более активно участвует в изгнании крови из ПЖ в легочную артерию. В этих условиях за счет улучшения вентиляционно-перфузионных соотношений в легких, по-видимому, уменьшается легочно-сосудистое сопротивление, что, возможно способствует увеличению центрального резерва крови и снижает волемиическую нагрузку на левые отделы сердца [15–17].

Заключение

Таким образом, в прон-позиции пространственное изменение положения сердца и его структур влияет на скорость внутрисердечного кровотока, что при длительной прон-позиции может инициировать развитие сердечной недостаточности.

В прон-позиции увеличивается частота сердечных сокращений и уменьшается скорость трансаортального кровотока, увеличиваются скорости гемодинамики раннего и позднего диастолического кровенаполнения правого желудочка и систолического потока крови в легочной артерии.

Работа выполнена в рамках темы «Механизмы формирования электрической неоднородности на разных уровнях организации сердца» (шифр темы FUUU-2022-0068).

Регистрационный номер темы 1021052404529-3-3.1.8

Конфликт интересов не заявлен.

Статья поступила 10.02.2022

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Muthiah K, Gupta S, Otton J, Robson D, Walker R, Tay A et al. Body Position and Activity, But Not Heart Rate, Affect Pump Flows in Patients With Continuous-Flow Left Ventricular Assist Devices. JACC: Heart Failure. 2014;2(4):323–30. DOI: 10.1016/j.jchf.2014.02.008
- Bartosh-Zelenaya S.Yu., Novikov V.I., Guseva O.A. Possibilities of echocardiography in assessing the right chambers of the heart in normal conditions and with focal myocardial damage. Vestnik of Saint Petersburg University. Medicine. 2013;2:28–46. [Russian: Бартош-Зеленая С.Ю., Новиков В.И., Гусева О.А. Возможности эхокардиографии в оценке правых камер сердца в норме и при очаговом поражении миокарда. Вестник Санкт-Петербургского университета. Медицина. 2013;2:28–46]
- Yakovlev S.A., Duhin O.A., Kalinskaya A.I., Ryzhkova E.V., Andreeva E.V., Lebedeva A.Yu. et al. Echocardiographic features of patients with COVID-19 without significant underlying cardiovascular pathology. Creative cardiology. 2021;15(3):367–76. [Russian: Яковлев С.А., Духин О.А., Калинская А.И., Рыжкова Е.В., Андреева Э.В., Лебедева А.Ю. и др. Эхокардиографические особенности
- пациентов с COVID-19 без существенной исходной сердечно-сосудистой патологии. Креативная кардиология. 2021;15(3):367–76]. DOI: 10.24022/1997-3187-2021-15-3-367-376
- Coppo A, Bellani G, Winterton D, Di Pierro M, Soria A, Faverio P et al. Feasibility and physiological effects of prone positioning in non-intubated patients with acute respiratory failure due to COVID-19 (PRON-COVID): a prospective cohort study. The Lancet Respiratory Medicine. 2020;8(8):765–74. DOI: 10.1016/S2213-2600(20)30268-X
- Jaglan A, Kaminski A, Payne A, Salinas PD, Khandheria BK. Focus, Not Point-of-Care, Echocardiography in Prone Position: It Can Be Done in COVID-19 Patients. CASE. 2021;5(1):53–5. DOI: 10.1016/j.case.2020.10.007
- Jozwiak M, Teboul J-L, Anguel N, Persichini R, Silva S, Chemla D et al. Beneficial Hemodynamic Effects of Prone Positioning in Patients with Acute Respiratory Distress Syndrome. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. 2013;188(12):1428–33. DOI: 10.1164/rccm.201303-0593OC

7. Rawal G, Yadav S, Kumar R. Acute respiratory distress syndrome: An update and review. *Journal of Translational Internal Medicine*. 2018;6(2):74–7. DOI: 10.1515/jtim-2016-0012
8. Othman F, Alsagami N, Alharbi R, Almuammer Y, Alshahrani S, Ismaeil T. The efficacy of airway pressure release ventilation in acute respiratory distress syndrome adult patients: A meta-analysis of clinical trials. *Annals of Thoracic Medicine*. 2021;16(3):245–52. DOI: 10.4103/atm.ATM_475_20
9. Ugalde D, Medel JN, Romero C, Cornejo R. Transthoracic cardiac ultrasound in prone position: a technique variation description. *Intensive Care Medicine*. 2018;44(6):986–7. DOI: 10.1007/s00134-018-5049-4
10. Giustiniano E, Padua E, Negri K, Bragato RM, Cecconi M. Echocardiography during Prone-Position Mechanical Ventilation in Patients with COVID-19: A Proposal for a New Approach. *Journal of the American Society of Echocardiography*. 2020;33(7):905–6. DOI: 10.1016/j.echo.2020.04.027
11. Mekontso Dessap A, Proost O, Boissier F, Louis B, Roche Campo F, Brochard L. Transesophageal echocardiography in prone position during severe acute respiratory distress syndrome. *Intensive Care Medicine*. 2011;37(3):430–4. DOI: 10.1007/s00134-010-2114-z
12. Santos-Martínez LE, Mendoza-Copa G, García-Cruz E, Álvarez-Álvarez RJ, Bucio-Reta RE, González-Ruiz FJ et al. Feasibility in the echocardiographic estimation of parameters of the right ventricle in prone position. *Archivos de cardiología de Mexico*. 2020;90(2):4487. DOI: 10.24875/ACME.M20000104
13. Irzhak L.I., Dernovoy B.F. Changes in human cardiohemodynamics in postural tests. *News of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2015;1(21):44–7. [Russian: Иржак Л.И., Дерновой Б.Ф. Изменения кардиогемодинамики человека в постуральных пробах. *Известия Коми научного центра УРО РАН*. 2015;1(21):44–7]
14. Lai C, Adda I, Teboul J-L, Persichini R, Gavelli F, Guérin L et al. Effects of Prone Positioning on Venous Return in Patients With Acute Respiratory Distress Syndrome. *Critical Care Medicine*. 2021;49(5):781–9. DOI: 10.1097/CCM.0000000000004849
15. Williams L, Frenneaux M. Diastolic ventricular interaction: from physiology to clinical practice. *Nature Clinical Practice Cardiovascular Medicine*. 2006;3(7):368–76. DOI: 10.1038/ncpcardio0584
16. Paternot A, Repessé X, Vieillard-Baron A. Rationale and Description of Right Ventricle-Protective Ventilation in ARDS. *Respiratory Care*. 2016;61(10):1391–6. DOI: 10.4187/respcare.04943
17. Koulouras V, Papathanakos G, Papathanasiou A, Nakos G. Efficacy of prone position in acute respiratory distress syndrome patients: A pathophysiology-based review. *World Journal of Critical Care Medicine*. 2016;5(2):121–36. DOI: 10.5492/wjccm.v5.i2.121