



*Суботников М.В., Цыренов Д.Д.

ЭХОКАРДИОГРАФИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПЕРИКАРДИАЛЬНОГО ВЫПОТА И ТАМПОНАДЫ СЕРДЦА

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Блохина»
Министерства здравоохранения Российской Федерации, Каширское ш., д. 24, г. Москва 115522, Российская Федерация

Автор, ответственный за переписку: Суботников Максим Вячеславович, врач-кардиолог, отделение функциональной диагностики, ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России, Каширское ш., д. 24, г. Москва 115522, Российская Федерация, dr_subotnikov@mail.ru, ORCID: 0000-0001-9700-4718

Цыренов Дамба Дамдинович, к.м.н., врач-кардиолог, заведующий отделением функциональной диагностики, ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России, г. Москва, Российская Федерация, d.tsyrenov@ronc.ru, ORCID: 0000-0002-1723-0780

РЕЗЮМЕ

Цель обзора: перикардиальный выпот представляют собой особую сложность в плане эхокардиографической диагностики и потенциально может привести к жизнеугрожающему состоянию – тампонаде сердца. В данной статье рассматриваются возможности и прогностическая ценность методов трансторакальной эхокардиографии в вопросах диагностики перикардиального выпота и тампонады сердца.

Материалы и методы. Проведен анализ российской и зарубежной литературы в базах eLibrary, PubMed. Были использованы ключевые слова: «pericardial effusion», «cardiac tamponade», «constrictive pericarditis», «pericarditis», «pericarditis in echocardiography», «перикардиальный выпот», «перикардит», «тампонада сердца», «диагностика перикардита». Включенные научные работы и статьи были опубликованы с 2013 по 2023 год. Метод исследования, использованный в процессе анализа, – описательно-аналитический.

Результаты. Перикардиальный выпот представляет собой скопление жидкости в перикардиальной полости, что в ряде случаев приводит к тампонаде сердца, которая, нарушая нормальную гемодинамику и наполнение

камер сердца, в конечном итоге может вызвать системную гипотензию и остановку сердца. Таким образом, это опасное для жизни состояние, которое требует незамедлительной верификации, осуществимой в первую очередь методом эхокардиографии с последующим определением тактики лечения. Структурированный подход, включающий 2D-режим, М-режим и доплеровскую эхокардиографическую оценку, оценивающий количество и качество перикардиальной жидкости, коллабирование камер сердца, переменность диастолического размера желудочков в зависимости от дыхательного цикла, парадоксальное движение межжелудочковой перегородки, спадение нижней полой вены на вдохе, респираторную вариацию потоков через клапаны, кровотоков в печеночных и легочных венах, должны дать лечащему врачу необходимую информацию для выбора метода лечения. Из всех вышеперечисленных признаков, вероятно, наиболее высокой отрицательной прогностической ценностью для исключения тампонады сердца является отсутствие коллапса камер сердца.

Ключевые слова: эхокардиография, перикардиальный выпот, тампонада

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Финансирование. Не осуществлялось.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства согласно международным критериям ICMJE. Авторский вклад (по

системе Credit): Суботников М.В. – визуализация и верификация данных, проведение исследования, создание рукописи и её редактирование; Цыренов Д.Д. – создание рукописи и её редактирование, руководство и администрирование исследования.

✉ DR_SUBOTNIKOV@MAIL.RU

Для цитирования: Суботников М.В., Цыренов Д.Д. Эхокардиографическая оценка перикардиального выпота и тампонады сердца. Евразийский кардиологический журнал. Май 2024;(2):102-113. <https://doi.org/10.38109/2225-1685-2024-2-102-113>

Рукопись получена: 09.10.2023 | Рецензия получена: 12.01.2024 | Принята к публикации: 06.02.2024

© Суботников М.В., Цыренов Д.Д., 2024

Данная статья распространяется на условиях «открытого доступа», в соответствии с лицензией CC BY-NC-SA 4.0 («Attribution-NonCommercial-ShareAlike»/ «Атрибуция-Некоммерчески-СохранениеУсловий» 4.0), которая разрешает неограниченное некоммерческое использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии указания автора и источника. Чтобы ознакомиться с полными условиями данной лицензии на русском языке, посетите сайт: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.ru>

***Maksim V. Subotnikov, Damba D. Tsyrenov**

CONTEMPORARY ECHOCARDIOGRAPHIC ASSESSMENT OF PERICARDIAL EFFUSION AND CARDIAC TAMPONADE

N.N. BLOKHIN NATIONAL MEDICAL RESEARCH CENTER OF ONCOLOGY, KASHIRSKOYE SH., 24, MOSCOW 115522, RUSSIAN FEDERATION.

***Corresponding author: Maksim V. Subotnikov**, Cardiologist, Department of Functional Diagnostics, N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology, Kashirskoye sh., 24, Moscow 115522, Russian Federation, dr_subotnikov@mail.ru, ORCID: 0000-0001-9700-4718

Damba D. Tsyrenov, Cand. of Sc. (Med.), Cardiologist, Head of the Department of Functional Diagnostics, N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology Moscow, Russian Federation, d.tsyrenov@ronc.ru, ORCID: 0000-0002-1723-0780

SUMMARY

The aim: the aim of this review is to address the challenges in echocardiographic diagnosis of pericardial effusion, which can potentially lead to a life-threatening condition called cardiac tamponade. This article discusses the possibilities and prognostic value of transthoracic echocardiography in the diagnosis of pericardial effusion and cardiac tamponade.

Materials and Methods. An analysis of Russian and foreign literature was conducted using eLibrary and PubMed databases. The following keywords were used: «pericardial effusion», «cardiac tamponade», «constrictive pericarditis», «pericarditis», «pericarditis in echocardiography», «перикардальный выпот», «перикардит», «тампонада сердца», «диагностика перикардита». The included scientific papers and articles were published from 2013 to 2023. The research method used in the analysis was descriptive-analytical.

Results. Pericardial effusion is the accumulation of fluid in the pericardial cavity, which can lead to cardiac tamponade, disrupting normal

hemodynamics and cardiac chamber filling, ultimately resulting in systemic hypotension and cardiac arrest. Therefore, it is a life-threatening condition that requires immediate verification, primarily through echocardiography, followed by the determination of treatment strategy. A structured approach, including 2D mode, M-mode, and Doppler echocardiographic assessment, evaluating the quantity and quality of pericardial fluid, cardiac chamber collapse, diastolic ventricular size variability with the respiratory cycle, paradoxical interventricular septum motion, inferior vena cava collapse, respiratory flow variation through valves, and blood flow in hepatic and pulmonary veins, should provide the treating physician with the necessary information for choosing the treatment method. This article discusses key echocardiographic features that will ensure the appropriate assessment of patients with pericardial effusion and/or cardiac tamponade. Among all the mentioned features, the absence of cardiac chamber collapse is likely to have the highest negative prognostic value for excluding cardiac tamponade.

Keywords: Echocardiography, pericardial effusion, tamponade

Authors' contributions. All authors confirm the compliance of their authorship according to the international ICMJE criteria. CRediT author statement: Maksim V. Subotnikov – Visualization and Validation, Investigation, Writing – Review & Editing; Damba D. Tsyrenov – Writing – Review & Editing, Supervision and Project administration.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Funding for the article: none.

✉ DR_SUBOTNIKOV@MAIL.RU

For citation: Maksim V. Subotnikov, Damba D. Tsyrenov. Contemporary echocardiographic assessment of pericardial effusion and cardiac tamponade. Eurasian heart journal. May 2024;(2):102-113 (In Russ.). <https://doi.org/10.38109/2225-1685-2024-2-102-113>

Received: 09.10.2033 | **Revision Received:** 12.01.2024 | **Accepted:** 06.02.2024

© Maksim V. Subotnikov, Damba D. Tsyrenov, 2024

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

ВВЕДЕНИЕ

Перикард представляет собой околосердечную «сумку», состоящую из двух слоев – фиброзного и серозного перикарда. Ее наружный слой – фиброзный перикард (fibrous pericardium) – со всех сторон окружает сердце, переходя в наружную оболочку и покрывает отходящие от сердца крупные кровеносные сосуды. Внутренний слой перикарда – серозный перикард (serous pericardium) – представляет собой закрытую со всех сторон полость серозной оболочки: ее внутренний листок (висцеральный, visceral pericardium) или эпикард (epicardium) вплотную прилегает к стенке сердечной мышцы, а наружный листок (париетальный, parietal pericardium) сращен с фиброзным перикардом. Между обоими листками находится полость, в которой имеется небольшое количество жидкости, предотвращающее трение между двумя его листками во время сердечных сокращений [1,2]. Перикард фиксирует сердце в средостении, препятствует чрезмерной дилатации полостей сердца, уравнивает гидростатические, инерционные и гравитационные силы, тем самым поддерживая геометрию левого желудочка, а также является механическим барьером для инфекции [1].

Цель обзора: рассмотреть ключевые эхокардиографические признаки, которые обеспечат соответствующую оценку пациента с выпотным перикардитом и/или тампонадой сердца.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведен анализ российской и зарубежной литературы в базах eLibrary, PubMed. Были использованы ключевые слова: «pericardial effusion», «cardiac tamponade», «constrictive pericarditis», «pericarditis», «pericarditis in echocardiography», «перикардиальный выпот», «перикардит», «тампонада сердца», «диагностика перикардита». Включенные научные работы и статьи были опубликованы с 2013 по 2023 год. Метод исследования, использованный в процессе анализа, – описательно-аналитический. Для включения в обзор рассматривались исследования любого дизайна, в которых представлен анализ современных представлений о диагностике перикардиального выпота и тампонады при помощи трансторакальной эхокардиографии. Особое внимание уделялось статьям, опубликованным в рецензируемых научных изданиях. Проводился поиск полнотекстовых статей на русском и английском языках.

Было проанализировано 98 источников литературы, из которых в обзор вошли 34 источника.

ОБСУЖДЕНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Перикардиальный выпот: этиология, распространенность, классификация

Перикардиальный выпот определяется как аномальное скопление жидкости в перикардиальной полости, которое в норме не превышает 10–50 мл. К состояниям, ответственным за гиперпродукцию перикардиальной жидкости, относятся перикардит, травмы, гипотиреоз, снижение реабсорбции перикардиальной жидкости на фоне опухолевого процесса, дисбаланс между гидростатическим и коллоидно-осмотическим давлениями (например, сердечная недостаточность, цирроз печени и нефротический синдром) [4,5,6]. Основными причинами перикардита являются инфекционные (бактериальные, вирусные инфекции) и неинфекционные факторы (системные воспалительные заболевания, рак или травмы сердца). В развивающихся странах туберкулез является основной причиной перикардита, в развитых странах к идиопатическим (предположительно, к вирусным) перикардитам относятся от 80 до 90% случаев, в то время как на туберкулез приходится менее 5% случаев [7]. Несмотря на разнообразную этиологию, перикардиальный выпот можно классифицировать по пяти основным признакам. Основные признаки перикардиального выпота представлены в таблице 1.

Клиническая картина и диагностика перикардиального выпота

Клинические проявления перикардиального выпота варьируют от бессимптомных случаев до критических, что зависит от скорости накопления жидкости. При быстром скоплении жидкости наблюдается повышение внутриперикардиального давления, сокращение времени для растяжения перикарда, вследствие чего камеры сердца (в большинстве случаев, правые камеры из-за более тонкой и податливой стенки) спадаются во время диастолы. Таким образом, нарушается диастолическое наполнение камер сердца, снижается преднагрузка на левый желудочек, что в свою очередь снижает сердечный выброс. Типичные симптомы перикардиального выпота включают одышку при нагрузке, ортопноэ и, при наличии перикардита, боль в грудной клетке. В случае тампонады присутствуют классические симптомы, называемые триадой Бека (артериальная гипотензия, повышенное давление в яремных венах и приглушенность тонов сердца), а

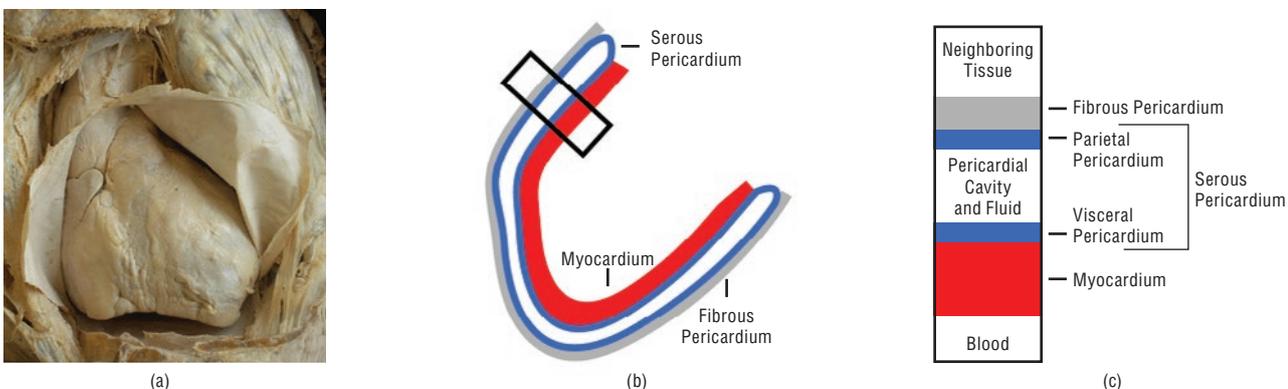


Рисунок 1. Сердце и перикард. А. Рассеченное средостение со вскрытым перикардом [Адаптировано из G. M. Gruber, Inspired by Iaizzo, Медицинский университет Вены, Австрия]. В. Расположение сердца относительно серозного и фиброзного перикарда. С. Послойный срез сердца и перикарда [3]

Figure 1. Heart and pericardium. A. Dissected mediastinum with exposed pericardium [Adapted from G. M. Gruber, Inspired by Iaizzo, Medical University of Vienna, Austria]. B. Position of the heart relative to the serous and fibrous pericardium. C. Layered section of the heart and pericardium [3]

Примечание/Note: Myocardium – миокард, serous pericardium – серозный перикард, fibrous pericardium – фиброзный перикард, neighboring tissue – прилегающие ткани, pericardial cavity and fluid – полость перикарда и жидкость, blood – кровь, parietal pericardium – париетальный перикард, visceral pericardium – висцеральный перикард

также тахикардия и парадоксальный пульс [9]. Под парадоксальным пульсом понимается падение систолического артериального давления более чем на 10 мм рт. ст. во время вдоха. Парадоксальный пульс возникает в результате изменения механических сил, воздействующих на камеры сердца, легочные сосуды вследствие заболеваний перикарда, особенно, тампонады сердца и, в меньшей степени, констриктивного перикардита [10].

Обследование пациента с перикардальным выпотом включает в себя физикальный осмотр, анамнез, электрокардиографию, анализы крови (С-реактивный белок, тропонин) и рентгенографию органов грудной клетки. Вместе с тем, рентгенография грудной клетки неспецифична, так как может показать увеличение силуэта сердца при умеренных выпотах, но имеет преимущество в выявлении сопутствующего плеврального выпота и патологии легких или средостения. Электрокардиографические данные имеют относительно низкую чувствительность и специфичность и включают в себя низкий вольтаж комплекса QRS и электрические альтернации при выпотах большого размера. В случаях, когда выпот возникает на фоне острого перикардита, могут выявляться синусовая тахикардия, диффузный вогнутый подъем сегмента ST и депрессия сегмента PR с отсутствием зубцов q [9,11]. В последние годы большую популярность приобретает мультимодальная визуализация, включающая компьютерную томографию (КТ), магнитно-резонансную томографию (МРТ), позитронно-эмиссионную компьютерную томографию (ПЭТ/КТ) с 18-фтордезоксиглюкозой (18FDG). КТ органов грудной клетки позволяет определить толщину перикарда, наличие кальцификатов и очаговых перикардальных выпотов. Магнитно-резонансная томография обладает преимуществом в определении характеристик тканей и оценки воспаления, что является идеальным методом для выявления динамики воспаления перикарда и рекомендаций по лечению. ПЭТ/КТ с 18FDG демонстрирует интенсивную метаболическую активность в случаях злокачественного распространения на перикард. Более того, ПЭТ/КТ может способствовать дифференциальной диагностике между туберкулезным и идиопатическим перикардитом, причем первый приводит к более высокому поглощению ФДГ. Согласно рекомендациям ESC, КТ грудной клетки, МРТ и ПЭТ/КТ рассматриваются как тесты второй линии для диагностики перикардальных выпотов и должны выполняться индивидуально. Выбор метода визуализации для конкретного пациента должен осуществляться с учетом клинической картины и результатов лабораторных исследований. [9,11-16].

В последних рекомендациях ESC роль катетеризации сердца для диагностики перикардита была несколько снижена. Очевидно, это связано с широкой доступностью и использованием передовых методов визуализации в повседневной клинической практике. Катетеризация сердца, которая традиционно была золотым стандартом диагностики констриктивного перикардита, в настоящее время показана, когда неинвазивные методы диагностики не позволяют установить точный диагноз констрикции. Катетеризация сердца также полезна при сложной дифференциации между констриктивным перикардитом и рестриктивной кардиомиопатией и для выявления возможного

заболевания коронарных артерий у пациентов с показаниями к кардиохирургическому вмешательству [2,6,9].

Эхокардиография является одним из основных методов диагностики перикардального выпота, служит для его количественной оценки и выявления влияния на гемодинамику сердца. Эхокардиография легко доступна, безопасна и недорога и может выполняться у постели больного. В случае близкой или явной тампонады сердца, эхокардиография выявляет большой выпот с диастолическим коллапсом правых отделов сердца, полнокровие нижней полой вены (>20 мм) с уменьшением инспираторного коллапса (<50%), увеличение респираторных вариаций волны E при дыхании через митральный и трехстворчатый клапаны, а также экспираторный диастолический реверс потока при доплерографии печеночного венозного кровотока. Однако следует подчеркнуть, что большой перикардальный выпот не является эквивалентом тампонады сердца, и хронический большой выпот может хорошо переноситься. Остановимся подробнее на влиянии перикардального выпота на сердечную гемодинамику и роли эхокардиографии в ее оценке [2,6,16].

Особенности гемодинамики при перикардальном выпоте и тампонаде сердца

Гемодинамические нарушения, вызванные перикардальным выпотом, могут варьировать от неопределяемых или умеренных до угрожающих жизни. К детерминантам, определяющим гемодинамические нарушения при выпоте, относятся скорость, с которой накапливается выпот, а также наличие или отсутствие рубцевания перикарда, что добавляет элемент констриктивного перикардита [19].

Соотношение давление-объем нормального перикарда после начальной короткой неглубокой части, которая позволяет перикарду слегка растянуться в ответ на физиологические события, такие как изменения позы или при гиперволемии, приводят к минимальным увеличениям перикардального давления. После этого перикардальное давление резко возрастает. J-образная кривая (рис. 2) при быстром увеличении объема перикардальной жидкости сначала достигает предела перикардального резервного объема (начальный плоский сегмент), а затем быстро превышает его, вызывая резкое повышение давления, которое становится еще более крутым. С другой стороны, перикардальный выпот, развивающийся в течение нескольких недель или месяцев, может достигать объема, измеряемого в литрах, однако сопровождается значительно более умеренным повышением перикардального давления. Объяснение этой разницы состоит в том, что реакция перикарда на постепенное и острое растяжение различна. При постепенном растяжении перикарда более медленное накопление перикардальной жидкости вызывает увеличение податливости перикарда; его кривая давление-объем смещена вправо, а наклон крутого участка значительно уменьшен, что при заданном увеличении объема повышение перикардального давления заметно меньше [17-19].

Поскольку кривая давление-объем имеет изогнутую J-образную форму, податливость перикарда уменьшается с

Таблица 1. Основные признаки перикардального выпота [адаптировано из Naser Yamani et al., [9]]

Table 1. Main signs of pericardial effusion [adapted from Naser Yamani et al., [9]]

По распределению выпота	По размеру выпота (в диастолу)	По течению	По характеру выпота	По наличию гемодинамических нарушений
<ul style="list-style-type: none"> Локальный Циркулярный 	<ul style="list-style-type: none"> Малый (<1 см) Умеренный (1-2 см) Большой (>2 см) 	<ul style="list-style-type: none"> Острый (<1 недели) Подострый (1 неделя – 3 месяца) Хронический (>3 месяцев) 	<ul style="list-style-type: none"> Транссудат Экссудат 	<ul style="list-style-type: none"> С тампонадой Без тампонады Констриктивный (сдавливающий перикардит)

увеличением объема. Различия гемодинамики острой и хронической тампонады заключается в том, что в первом случае удаление даже 100 мл жидкости может резко снизить перикардальное давление и спасти жизнь, тогда как во втором случае для достижения сопоставимого облегчения состояния, необходимо удалить значительно большее количество жидкости [18,19].

При тампонаде сердца кровообращение адаптируется за счет повышения центрального системного и легочного венозного давления до уровня давления в перикарде, тем самым предотвращая полный коллапс камер сердца. Диастолическое давление камер сердца повышается, чтобы сравняться с давлением в перикарде. Это выравнивание давлений является отличительной чертой тампонады. Ударный объем снижается, но сердечный выброс частично сохраняется за счет тахикардии, обусловленной повышенным адренергическим тонусом. Когда перикард максимально сильно растянут, он становится практически нерастяжимым. В результате общий объем перикарда остается постоянным на протяжении всего дыхательного цикла. Любое изменение объема одной половины сердца вызывает противоположное изменение объема другой стороны. В результате увеличение объема правых отделов сердца может происходить только за счет выпячивания межпредсердной и межжелудочковой перегородок в левое предсердие и желудочек, и наоборот [19,20]. На вдохе возрастает возврат крови к правым отделам сердца, и межжелудочковая перегородка смещается влево [рис. 3]. На выдохе наоборот – возврат к левым камерам увеличивается, и перегородка смещается вправо [рис. 3].

Описанное явление лежит в основе парадоксального пульса. Этим же обусловлена выраженная респираторная вариация трансмитрального и трансстрикспидального кровотоков [17,19].

Эхокардиографическая оценка перикардального выпота и тампонады сердца

Эхокардиография является важным и простым методом в диагностике перикардального выпота и позволяет оценить:

1. количество и качество перикардальной жидкости;
2. коллабирование камер сердца;
3. вариабельность диастолического размера желудочков в зависимости от дыхательного цикла;
4. парадоксальное движение межжелудочковой перегородки;
5. спадение нижней полой вены на вдохе;
6. респираторную вариацию потоков через клапаны;
7. кровоток в печеночных и легочных венах.

Первые пять признаков легко получить как при 2D эхокардиографии, так и в М-режиме. Для оценки картины потоков через клапаны и кровотока в венах потребуется доплеровский режим.

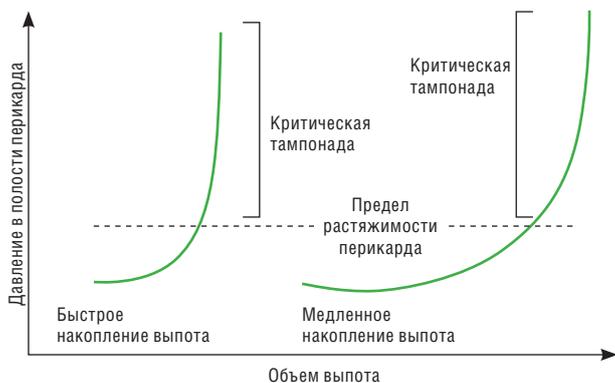


Рисунок 2. Кривая давление в полости перикарда – объем выпота с быстрым и медленным накоплением выпота [Адаптировано из Stopdick D.H.]

Figure 2. Pericardial pressure-effusion volume curve with fast and slow accumulation of effusion [Adapted from Stopdick D.H.]

Количественная и качественная оценка перикардальной жидкости по данным 2D эхокардиографии и М-режима.

Оценка выпота должна проводиться в субкостальной, апикальной 4-х камерной и парастернальной позициях по короткой и длинной осям. Комбинация данных позиций должна использоваться для того, чтобы не пропустить локализованный выпот, хотя в экстренной ситуации достаточно и субкостальной позиции. Оценка размеров перикардального выпота основана на линейных измерениях по данным 2D- и М-режима наибольшей ширины выпота в конце диастолы. По данной системе размер выпота классифицируется как небольшой (<1,0 см), умеренный (1,0-2,0 см) или большой (>2,0 см) (рис. 4). С точки зрения объема перикардального выпота, небольшой выпот соответствует 50-250 мл жидкости, умеренный – 250-500 мл и >500 мл – большому выпоту. Однако эта система классификации подвержена потенциальным ошибкам из-за различий в размерах камер сердца, сдвигов в расположении жидкости во время сердечного цикла и асимметричного характера многих выпотов. В рекомендациях не указывается, какой вид использовать для измерений или как поступать с асимметричными выпотами [21]. Существует ограниченное количество исследований по использованию волнометрических подходов к оценке размера перикардального выпота. Для оценки объема перикардального выпота используют метод дисков, проводят трассировку границ перикарда и эпикарда в 4-х камерной апикальной или субкостальной позициях. Для подсчета объема находят разницу между объемами по границе перикарда и эпикарда. Так, например, объем перикарда вместе с выпотом составил 1456 мл, а объем сердца по границе эпикарда – 643 мл, таким образом объем выпота составит 1456 мл–643 мл=813 мл (рис. 5). Данный метод хорошо коррелирует с данными, полученными при перикардиоцентезе [21].

При использовании М-режима из парастернальной позиции по длинной оси можно обнаружить эхо-негативное пространство между висцеральным и париетальным перикардом. Этот признак виден только в систолу при незначительных выпотах, и в систолу и диастолу при умеренно-значительных выпотах (рис. 6) [20].

Наличие нитей фибрина (рис. 7) и сгустков крови легко распознаются при эхокардиографии. Гемоперикард можно дифференцировать из-за спонтанного контрастного сигнала, возникающего в результате завихрения крови в перикардальном пространстве [22].

Оценка коллабирования камер сердца

Общим признаком тампонады сердца со значительным нарушением гемодинамики является коллапс правых камер сердца.

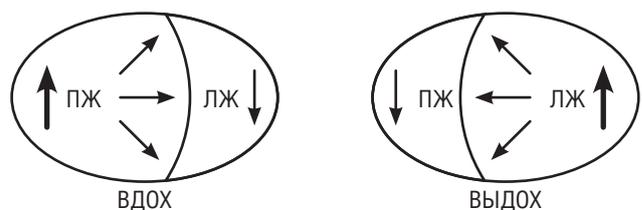


Рисунок 3. Респираторная вариация внутрисердечной гемодинамики при тампонаде [Адаптировано из Stopdick D.H.]

Figure 3. Respiratory variation of intracardiac hemodynamics during tamponade [Adapted from Stopdick D.H.]

Примечание/Note: ПЖ – правый желудочек, ЛЖ – левый желудочек.

Предсердный и желудочковый коллапсы наблюдаются в разные периоды сердечного цикла. Коллапс предсердий обычно наблюдается перед коллапсом желудочков. Коллапс правого предсердия наблюдается во время начала систолы желудочков (около пика зубца R), когда внутриполостное давление в предсердии ниже перикардиального (рис. 8, рис. 8.1). Более того, продолжи-

тельность коллапса предсердий (коллапс дольше, чем одна треть сердечного цикла) описывается как почти 100% чувствительный и специфический признак клинической тампонады сердца. Сообщаемая чувствительность эхокардиографических данных о коллапсе правого предсердия для диагностики тампонады колеблется от 50% до 100%; для специфичности варьируется от

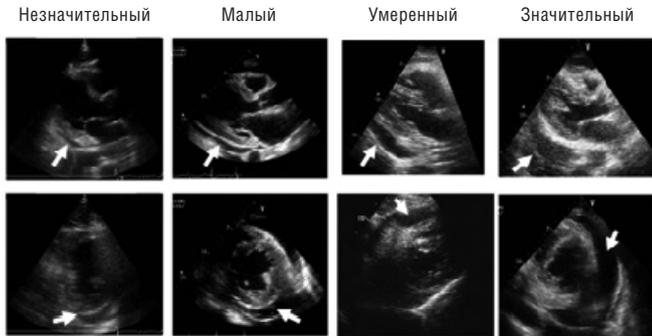


Рисунок 4. Размер выпота по данным 2D-эхокардиографии [Адаптировано из Klein et al.]. Выпот указан стрелкой. Парастеральная позиция по длинной и короткой осям. При этом незначительное количество выпота в области коронарного синуса может соответствовать норме, либо небольшому перикардиальному выпоту.

Figure 4. Size of effusion by 2D echocardiography [Adapted from Klein et al.]. The effusion is indicated by the arrow. Parasternal position along the long and short axes. In this case, a small amount of effusion in the coronary sinus area may correspond to the norm or a small pericardial effusion.

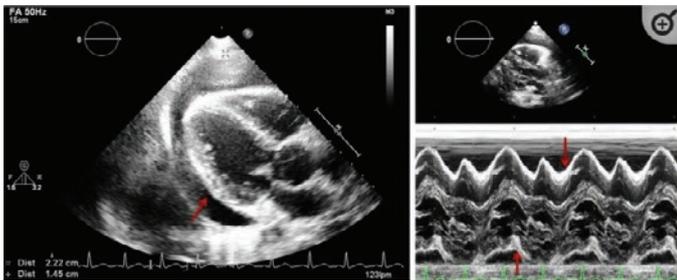


Рисунок 6. Парастеральная длинная ось (2-D режим слева и M-режим справа) у пациента с перикардиальным выпотом. Стрелкой показано эхонегативное пространство. В M-режиме выпот виден только во время систолы [Alejandro Pérez-Casares et al.]

Figure 6. Parasternal long axis view (2-D mode on the left and M-mode on the right) in a patient with pericardial effusion. The arrow indicates the echo-negative space. In M-mode, effusion is visible only during systole [Alejandro Pérez-Casares et al.]

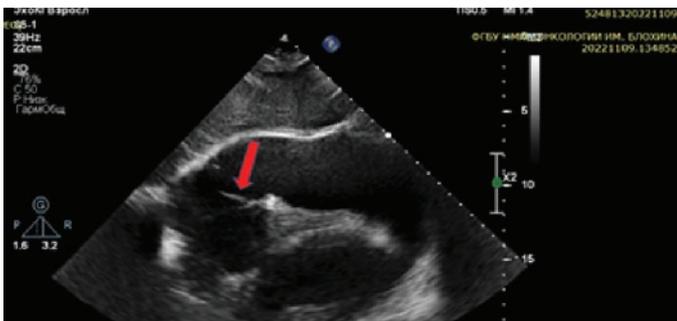


Рисунок 7. Субкостальная позиция у пациента со значительным перикардиальным выпотом. Стрелка указывает на нити фибрина [ФГБУ НМИЦ онкологии им Н.Н. Блохина, собственные данные]

Figure 7. Subcostal view in patient with pericardial effusion. Arrow points to fibrin threads [N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology, own data]

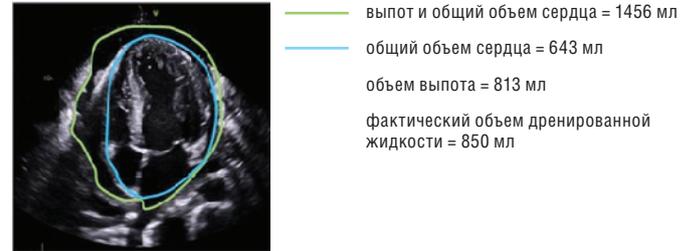


Рисунок 5. Оценка объема перикардиального выпота методом дисков (David DeMaria et al.)

Figure 5. Assessment of the volume of pericardial effusion using the disc method. (David DeMaria et al.)

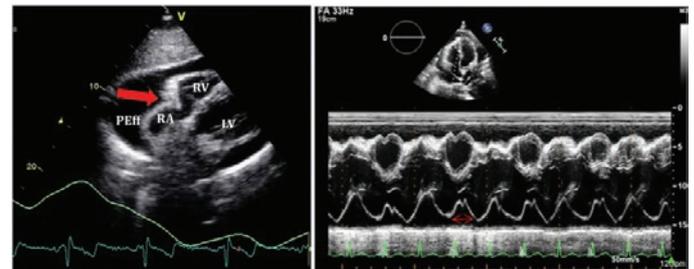


Рисунок 8. Слева – субкостальная позиция у пациента со значительным перикардиальным выпотом и признаками коллапса правого предсердия (РА). Справа – M-режим через правое предсердие показывает продолжительность коллапса более 1/3 систолы [Alejandro Pérez-Casares et al.]

Figure 8. On the left is the subcostal view in a patient with significant pericardial effusion and signs of right atrium (RA) collapse. On the right, M-mode through the right atrium shows the duration of collapse more than 1/3 of systole [Alejandro Pérez-Casares et al.]
Примечание/Note: Peff. – выпот; RA – правое предсердие; RV – правый желудочек; LV – левый желудочек

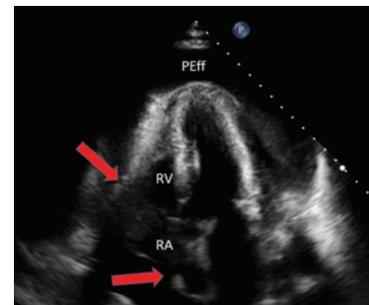


Рисунок 8.1. Апикальная 4-х камерная позиция. Значительный перикардиальный выпот с признаками коллапса в большей степени правого предсердия (РА) и в меньшей степени правого желудочка (RV) [ФГБУ НМИЦ онкологии им Н.Н. Блохина, собственные данные]

Figure 8.1. Apical 4-chamber view. Significant pericardial effusion with signs of collapse to a greater extent of the right atrium (RA) and to a lesser extent of the right ventricle (RV) [N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology, own data]
Примечание/Note: Peff. – выпот; RA – правое предсердие; RV – правый желудочек;

33% до 100%. Чувствительность при выявлении коллапса правого желудочка колеблется от 48% до 100%, специфичность – от 72% до 100% [32]. Изолированный коллапс правого предсердия наблюдается чаще, чем левого предсердия. Коллапс обоих предсердий увеличивает чувствительность и специфичность тампонады сердца [20,32].

Оценка вариабельности диастолического размера желудочков в зависимости от дыхательного цикла.

При наличии тампонады сердца М-режим как в парастеральной длинной, так и в короткой осях является полезным инструментом для оценки взаимозависимости желудочков от дыхательного цикла. Во время вдоха наполнение правого желудочка увеличивается, а размер левого желудочка в диастолу уменьшается (рис. 9). Противоположный сценарий присутствует во время выдоха [20-22].

Парадоксальное движение межжелудочковой перегородки

Парадоксальное движение перегородки является распространенным эхокардиографическим признаком, который возникает при нескольких патологиях, таких как митральный стеноз, блокада левой ножки пучка Гиса, тяжелая легочная гипертензия и при перикардитах. Межжелудочковая перегородка имеет характерный паттерн движения в течение сердечного цикла: утолщение и движение от датчика (движение кзади или внутрь к левому желудочку) после начала электрической деполаризации (комплекс QRS) с последующим коротким «дрожанием» в конце систолы (ранняя диастола), совпадающим с окончанием реполяризации желудочков (зубец T), и более ранним открытием трехстворчатого клапана и наполнением правого желудочка по сравнению с левым желудочком. Далее перегородка возвращается к своей первоначальной толщине и положению, перемещаясь назад к датчику (движение кпереди или к правому желудочку) во время диастолы (рис. 10) [23,24].

Как говорилось выше, ключевой особенностью движения перегородки при тампонаде сердца является изменение ее движения во время дыхания. В нормальном физиологическом состоянии во время вдоха происходит снижение внутригрудного давления, что приводит к незначительным изменениям правого и левого желудочка. Постнагрузка на правый желудочек снижается, а преднагрузка увеличивается, что приводит к увеличению объема правого желудочка и кровотока. Напротив, преднагрузка на левый желудочек снижается, однако отрицательное внутригрудное давление передается на перикард и помогает поддерживать градиент давления. При тампонаде растяжимость желудочков снижается из-за фиксированного объема перикарда, а изменения внутригрудного давления не передаются на камеры сердца. Следовательно, происходит увеличение наполнения правого желудочка на вдохе со значительным снижением наполнения левого желудочка. Уменьшение наполнения левого желудочка на вдохе происходит в связи с ограничением растяжения перикарда, снижающим общую податливость желудочков и создающим фиксированный общий сердечный объем. Следовательно, если объем правого желудочка увеличивается на вдохе, объем левого желудочка должен падать, что приводит к смещению перегородки в начале диастолы, при выдохе – все наоборот. Это называется классической желудочковой взаимозависимостью, согласно которой наполнение одного желудочка зависит от объема наполнения в другом желудочке (рис. 11, 12, 13) [23].

Оценка коллабирования нижней полой вены

Важным признаком тампонады, наблюдаемым при 2D эхокардиографии, является расширение печеночных вен и нижней по-

лой вены (НПВ) >2,0 см у взрослых (рис. 13). Это известно как расширение НПВ и, хотя и не очень специфично, является очень чувствительным признаком тампонады сердца (92-97%) [34]. Часто наблюдаемым признаком является снижение физиологической растяжимости и коллабирования НПВ во время вдоха. М-режим через НПВ будет демонстрировать уменьшение калибра

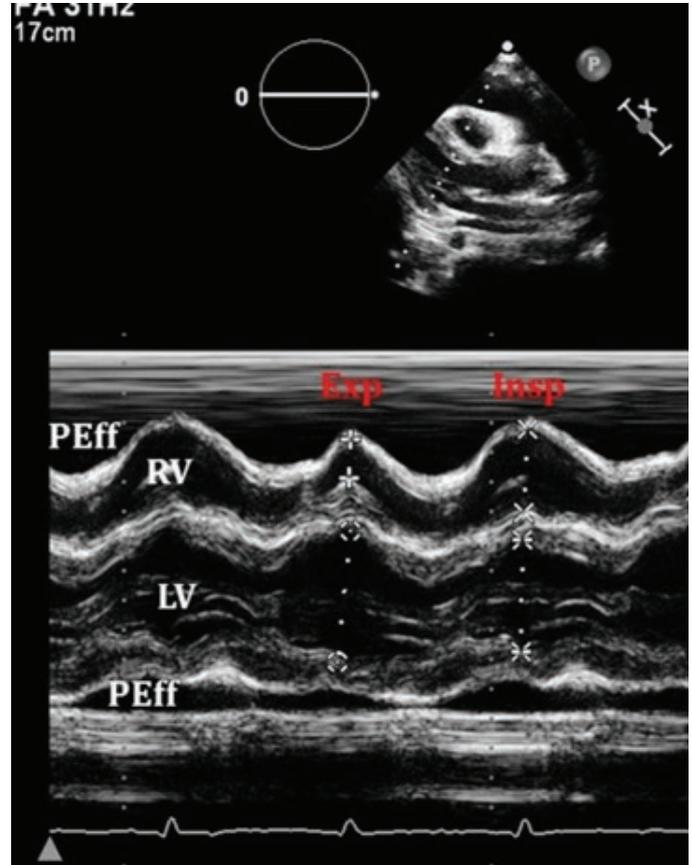


Рисунок 9. Уменьшение размеров левого желудочка на вдохе [Alejandro Pérez-Casares et al.]

Figure 9. Reduction in the size of the left ventricle during inspiration [Alejandro Pérez-Casares et al.]

Примечание/Note: Exp. – выдох; Insp. – вдох; PEff. – выпот; RV – правый желудочек; LV – левый желудочек

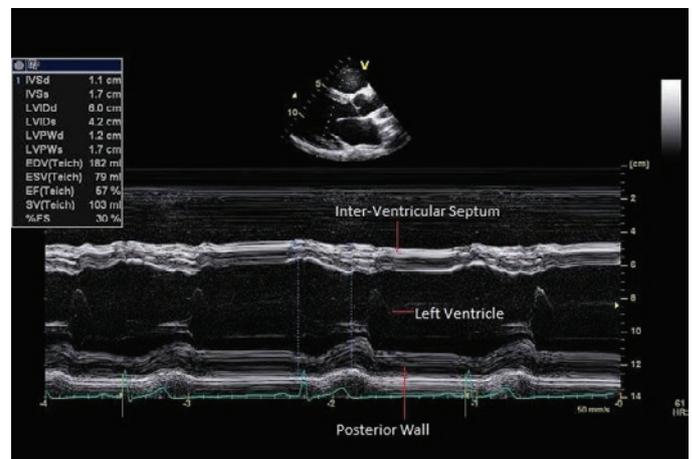


Рисунок 10. Нормальное движение межжелудочковой перегородки. М-режим [David Oxborough]

Figure 10. Normal movement of the interventricular septum. M-mode [David Oxborough]

Примечание/Note: Inter-Ventricular Septum – межжелудочковая перегородка, Left Ventricle – левый желудочек, Posterior wall – задняя стенка левого желудочка

менее чем на 50% на вдохе в большинстве случаев значительного перикардального выпота [20] (рис. 14). Специфичность данного метода невысока и составляет около 40% [34].

Респираторная вариация потоков через клапаны

Доплер-эхокардиография играет ключевую роль в оценке респираторных вариаций через клапаны у пациентов с выпотным перикардитом и тампонадой сердца. У здоровых людей доплеровские пиковые скорости на трехстворчатом и легочном клапанах увеличиваются во время вдоха, тогда как на митральном

и аортальном клапанах во время вдоха они уменьшаются. При нормальном дыхательном цикле физиологические колебания сердечного выброса составляют около 5%, а нормальные пиковые вариации зубца E составляют до 10% [20]. В нормальных условиях пиковая скорость трансмитрального потока варьирует до 15% и менее, пиковая скорость транстрикуспидального потока – до 25% и менее. Различия в пиковой скорости и интеграле профилей скоростей аортального и легочного кровотока обычно составляют менее 10% (рис. 15) [22].

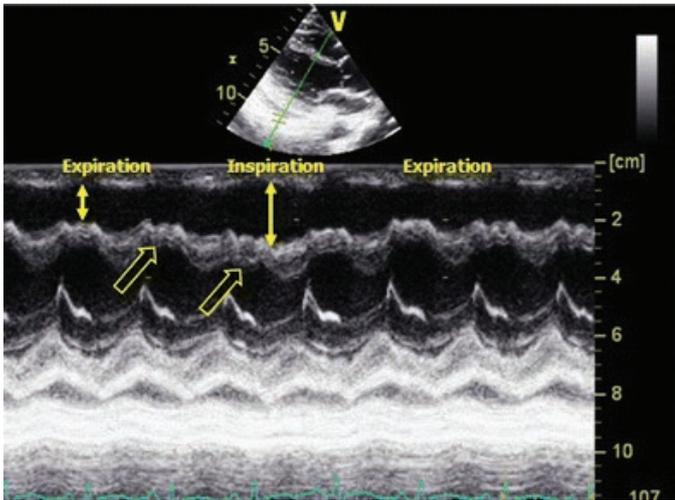


Рисунок 11. Парадоксальное движение межжелудочковой перегородки у пациента с констриктивным перикардитом. М-режим. Перегородка смещается в сторону правого желудочка во время выдоха и в сторону левого желудочка во время вдоха (двунаправленные стрелки). Кроме того, во время диастолы в каждом сердечном цикле происходит быстрое колебательное движение перегородки, известное как «дрожание перегородки» (неокрашенные стрелки) [Ahmad Abdelhalim Mahmoud et al.]

Figure 11. Paradoxical movement of the interventricular septum in a patient with constrictive pericarditis. M-mode The septum moves toward the right ventricle during exhalation and toward the left ventricle during inspiration (double-headed arrows). In addition, during diastole in each cardiac cycle, rapid oscillatory motion of the septum occurs, known as “septal flutter” (open arrows) [Ahmad Abdelhalim Mahmoud et al.]

Примечание/Note: Inspiration – вдох; Expiration – выдох.

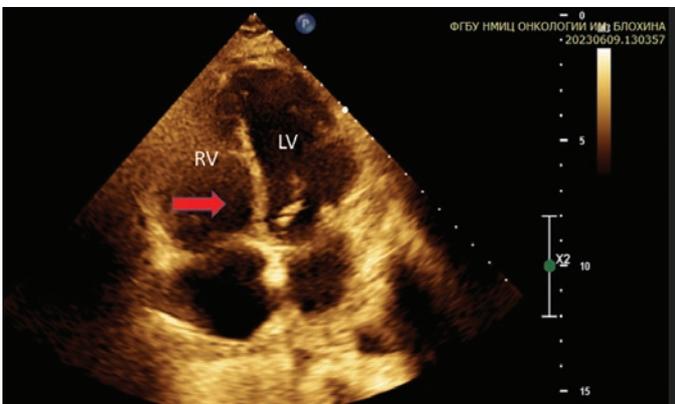


Рисунок 12. Парадоксальное движение межжелудочковой перегородки у пациентки с констриктивным перикардитом. D-образный левый желудочек. 2-D режим. Указано стрелкой [ФГБУ НМИЦ онкологии им Н.Н. Блохина, собственные данные]

Figure 12. Paradoxical movement of the interventricular septum in a patient with constrictive pericarditis. D-shaped left ventricle. 2-D mode. Indicated by arrow [N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology, own data]

Примечание/Note: RV – правый желудочек; LV – левый желудочек

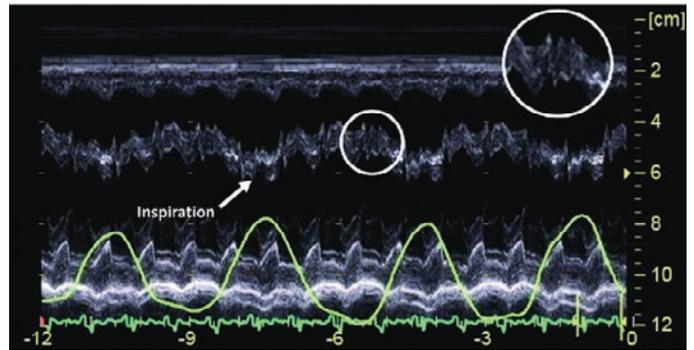


Рисунок 13 Респираторное смещение межжелудочковой перегородки у пациента с констриктивным перикардитом. М-режим. На вдохе межжелудочковая перегородка смещается кнутри, на выдохе –кнаружи (белая стрелка). Так же крупным планом отмечено «дрожание» межжелудочковой перегородки [Jeffrey B Geske]

Figure 13. Respiratory shift of the interventricular septum in a patient with constrictive pericarditis. M-mode. On inspiration, the interventricular septum shifts inward, and on exhalation, outward (white arrow). A close-up view also shows “tremor” of the interventricular septum [Jeffrey B Geske]

Примечание/Note: Inspiration – вдох.

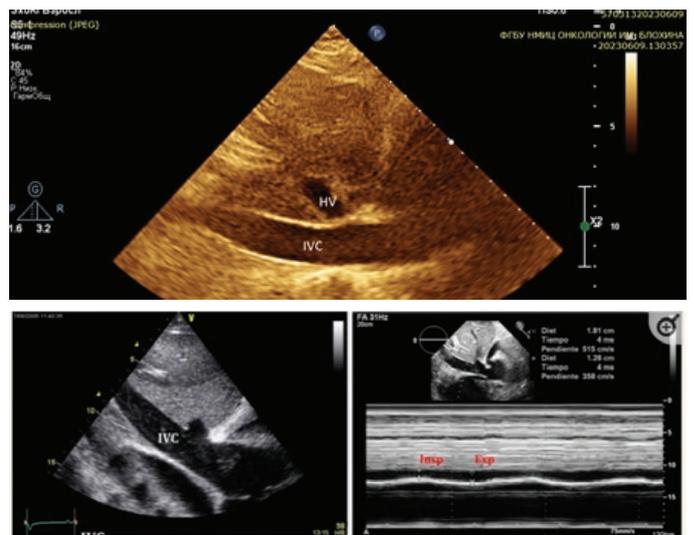


Рисунок 14. Расширение НПВ и печеночной вены у пациента со значительным перикардальным выпотом. Спадение НПВ на вдохе менее 50%. 2-D и М-режимы [Вверху – ФГБУ НМИЦ Онкологии им. Н.Н. Блохина, собственные данные; слева и справа внизу – Alejandro Pérez-Casares et al.]

Figure 14. Dilation of the IVC and hepatic vein in a patient with significant pericardial effusion. The decrease in IVC during inspiration is less than 50%. 2-D and M-modes [Above – N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology, own data; left and right bottom – Alejandro Pérez-Casares et al.]

Примечание/Note: IVC – НПВ; HV – печеночная вена

При тампонаде сердца в связи с описанной выше гемодинамикой на вдохе наблюдается уменьшение скорости пика E на митральном клапане более 25%, на трикуспидальном клапане увеличение скорости пика E более 40%, в выносящем тракте левого желудочка на вдохе будет наблюдаться уменьшение пиковой скорости более 10%, а в выносящем тракте правого желудочка на вдохе будет наблюдаться увеличение пиковой скорости более 10% (рис. 16) [22-25].

Следует отметить, что существуют различные ложноположительные и ложноотрицательные причины дыхательной вариабельности на клапанах сердца. У пациентов со значительным повышением давления в левом предсердии, при констрикции,

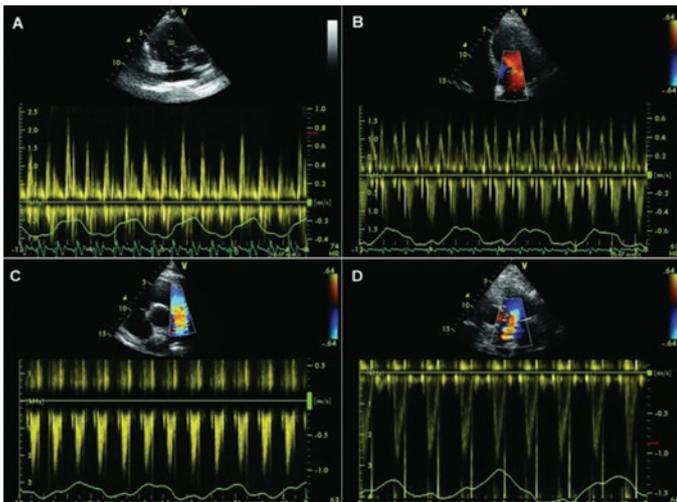


Рисунок 15. Физиологические вариации скоростей через трехстворчатый клапан (А), митральный клапан (В), легочный клапан (С) и аортальный клапан (D) при спокойном дыхании в норме [Ginghina et al.]

Figure 15. Physiological variations in velocities through the tricuspid valve (A), mitral valve (B), pulmonary valve (C), and aortic valve (D) during quiet breathing are normal [Ginghina et al.]

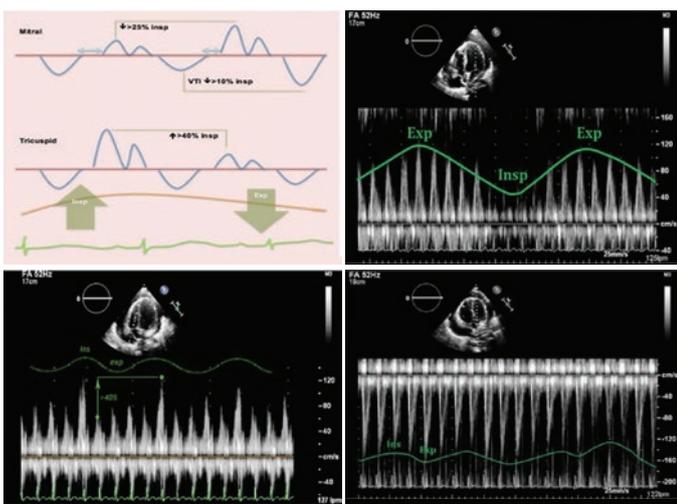


Рисунок 16. Дыхательная вариабельность на клапанах при тампонаде сердца. Справа сверху – на митральном клапане, слева внизу – на трикуспидальном клапане, справа внизу – в выносящем тракте левого желудочка [Alejandro Pérez-Casares et al.]

Figure 16. Respiratory variability in valves during cardiac tamponade. Top right – on the mitral valve, bottom left – on the tricuspid valve, bottom right – in the outflow tract of the left ventricle [Alejandro Pérez-Casares et al.]

Примечание/Note: Inspiration – вдох; Expiration – выдох

после оперативного вмешательства дыхательные вариации доплеровских потоков могут отсутствовать. Наоборот, у пациентов с хронической обструктивной болезнью легких могут наблюдаться повышенные дыхательные вариации скоростей через митральный и трехстворчатый клапаны из-за повышенного изменения внутригрудного давления при дыхании. В этом случае может быть полезен анализ доплеровского сигнала в нижней полой вене. У пациентов с фибрилляцией предсердий оценка респираторных изменений потока в легочных венах является более полезной, чем дыхательная вариабельность через митральный клапан [22]. Для инспираторного снижения трансмитрального потока более 22% чувствительность составляет около 77%, специфичность –

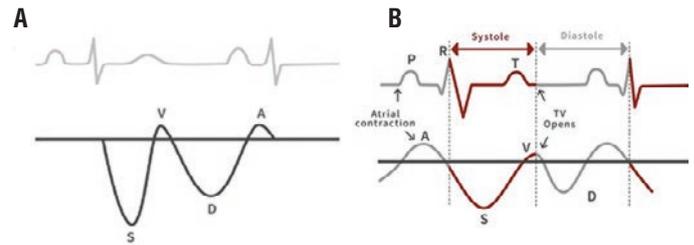


Рисунок 17. Схематическое изображение нормального потока в печеночной вене. А. S-, V-, D- и A-волны. В. Atrial contraction – сокращение предсердия. TV opens – открытие трехстворчатого клапана. S – систола правого желудочка; D – диастола правого желудочка; P, R, T – зубцы ЭКГ. [Andrea Fields]

Figure 17. Schematic representation of normal flow in the hepatic vein. A. S-, V-, D- and A-waves. B. Atrial contraction – contraction of the atrium. TV opens – opening of the tricuspid valve. S – systole right ventricle; D – diastole right ventricle; P, R, T – ECG waves [Andrea Fields]

S – systole – систола правого желудочка; D – diastole – диастола правого желудочка; P, R, T – зубцы ЭКГ.

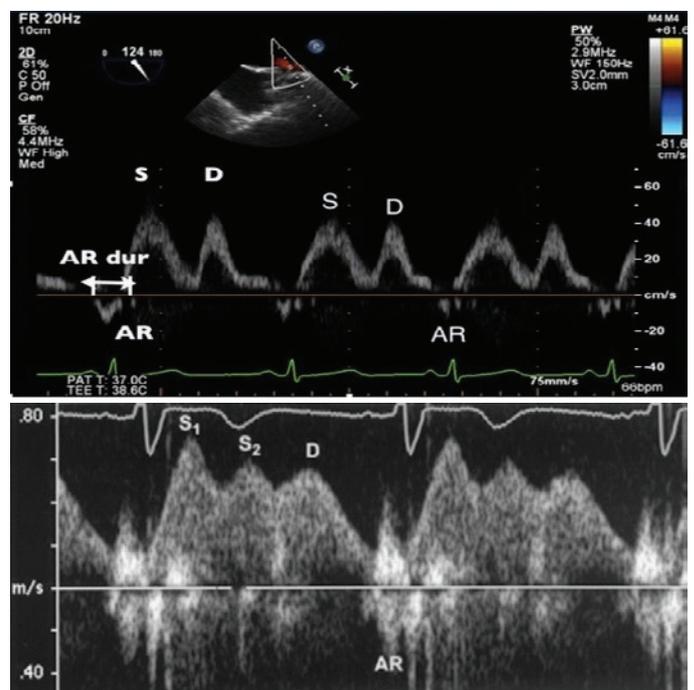


Рисунок 18. Нормальная форма потока в легочной вене. Вверху – поток в легочных венах при чреспищеводной эхокардиографии, внизу – при трансторакальной эхокардиографии [Duke University School of Medicine, Tomotsugu Tabata et al.]

Figure 18. Normal flow pattern in the pulmonary vein. On the top is the flow in the pulmonary veins with transesophageal echocardiography, on the bottom is with transthoracic echocardiography [Duke University School of Medicine, Tomotsugu Tabata et al.]

80%; для трансаортального потока более 20% чувствительность составляет 75%, специфичность – 89%; для увеличения транс-трикуспидального потока на вдохе более 30% чувствительность составляет 50%, а специфичность – 69%; при инспираторном увеличении пиковой скорости транслегочного потока более 25% чувствительность составляет 87%, а специфичность – 85% [33].

Оценка кровотока в печеночных и легочных венах

Печеночные вены представляют собой сосуды, которые транспортируют венозную кровь из печени в НПВ, которая далее перекачивает кровь в правое предсердие (ПП). Кровь течет от НПВ к сердцу и в доплеровском режиме обычно маркируется синим цветом (кровь течет от датчика). Печеночные вены обычно представлены тремя ветвями (средняя, правая и левая печеночные вены), имеют трехфазную форму потока, и их нормальный размер в проксимальном отделе НПВ составляет менее 1,0 см. При обсуждении картины кровотока в печеночных венах мы должны учитывать пути кровотока в отношении системы кровообращения и датчика: антеградный поток к сердцу (от датчика, синий, ниже базовой линии), ретроградный поток от сердца (к датчику, красный, выше базовой линии). Нормальный поток в печеночной вене состоит из 4 фаз: А-волна – сокращение предсердий (систола), S-волна – систола желудочков, V-волна – переходная фаза, D-волна – диастола желудочков (рис. 17 А). Во время А-волны происходит систола предсердий с увеличением давления в ПП; эта волна отражает максимальный ретроградный венозный поток, трехстворчатый клапан при этом открыт. Кровь перекачивается в 2-х направлениях – в сторону правого желудочка (ПЖ) и по направлению к НПВ/печени. Во время S-волны наибольшее количество крови поступает из печеночных вен в ПП, стенки ПЖ сокращаются, выталкивая кровь в выходной тракт правого желудочка, а кольцо трехстворчатого клапана смещается вверх, к верхушке ПЖ, что вызывает отрицательное давление в ПП. Во время V-волны, когда ПП переполнено, кольцо трехстворчатого клапана возвращается в исходное положение, происходит снижение кровенаполнения ПП и скорости кровотока к сердцу. Во время D-волны происходит диастола желудочков, трехстворчатый клапан открывается с пассивным заполнением ПП и ПЖ, возникает антеградный поток из печени в ПП и раннее быстрое диастолическое наполнение ПЖ (рис. 17 В, рис. 18.) [26,27]. Для оценки потока в легочных венах обычно используют 4-х камерную апикальную позицию, контрольный объем устанавливается на 1-2 см в устье правой верхней легочной вены. Таким образом, поток в легочной вене состоит из трех компонентов: S-волна –

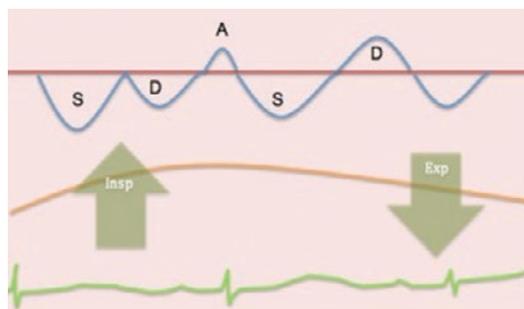


Рисунок 19. Диастолический реверсивный поток в печеночной вене [Alejandro Pérez-Casares et al.]

Figure 19. Diastolic reverse flow in the hepatic vein [Alejandro Pérez-Casares et al.]

Примечание/Note: S – systole – систола правого желудочка; D – diastole – диастола правого желудочка; A – atrial contraction – сокращение правого предсердия; Insp. – inspiration – вдох, Exp. – Expiration – выдох.

систолический поток (иногда состоит из 2-х пиков, S1, S2), D-волна – диастолический поток, А-волна – реверсивный поток и Ar Duration – время реверсивного потока.

При тампонаде сердца на выдохе будет наблюдаться диастолический реверсивный поток (рис. 19, рис. 20). Тем не менее кровоток в печеночных венах трудно оценить примерно у одной трети пациентов.

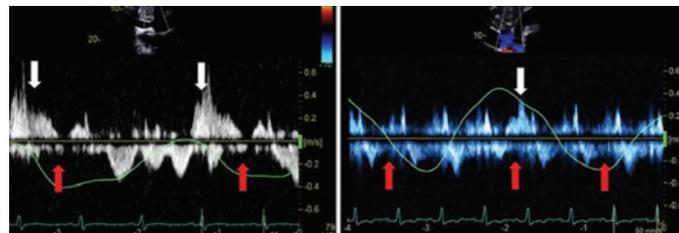


Рисунок 20. Усиление диастолического экспираторного реверсивного потока в печеночной вене (белые стрелки) с заметно сниженным диастолическим прямым потоком (красные стрелки), что соответствует нарушению диастолического наполнения правого желудочка при тампонаде сердца [Morgan M. et al.]. При тампонаде сердца и/или констриктивном перикардите во время вдоха происходит уменьшение амплитуды D-волны из-за уменьшения притока крови к левому желудочку, наоборот, на выдохе в связи с увеличением притока крови к левому желудочку происходит увеличение амплитуды S- и D-волны [20,30].

Figure 20. Increased diastolic expiratory reverse flow in the hepatic vein (white arrows) with markedly reduced diastolic forward flow (red arrows), consistent with impaired right ventricular diastolic filling during cardiac tamponade [Morgan M. et al.]. With cardiac tamponade and/or constrictive pericarditis, during inspiration, the amplitude of the D-wave decreases due to a decrease in blood flow to the left ventricle; on the contrary, on exhalation, due to an increase in blood flow to the left ventricle, the amplitude of the S- and D-wave increases [20,30].

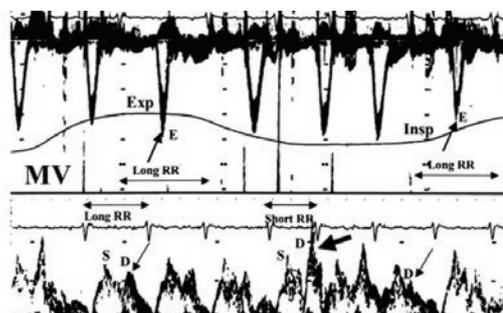


Рисунок 21. Дыхательная вариабельность в легочных венах при констриктивном перикардите/тампонаде сердца. Вверху – дыхательная вариабельность пика E через митральный клапан, внизу – дыхательная вариабельность потоков S и D в легочных венах. Отмечается увеличение пиков S и D (особенно пика D) во время выдоха в связи с неполной передачей инспираторного падения внутригрудного давления на левое предсердие [Tomotsugu Tabata et al.]

Figure 21. Respiratory variability in the pulmonary veins during constrictive pericarditis/cardiac tamponade. Above – respiratory variability of the E peak through the mitral valve, below – respiratory variability of the S and D flows in the pulmonary veins. There is an increase in S and D peaks (especially peak D) during exhalation due to incomplete transmission of the inspiratory drop in intrathoracic pressure to the left atrium [Tomotsugu Tabata et al.]

Примечание/Note: MV – mitral valve – митральный клапан; PV – pulmonary vein – легочная вена; E-пик (E-peak) – E через митральный клапан (E through the mitral valve); Insp. – Inspiration – вдох; Exp. – Expiration – выдох; S – systole – систола левого желудочка; D – diastole – диастола левого желудочка; Long RR – длинный интервал RR; short RR – короткий интервал RR (исследование на фоне фибрилляции предсердий)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Эхокардиография является доступным, простым и недорогим методом для оценки перикардального выпота и тампонады сердца благодаря возможности неинвазивной оценки гемодинамики. Из всех вышеперечисленных признаков, вероятно, наиболее высокой отрицательной прогностической ценностью для исключения тампонады сердца является отсутствие коллапса камер сердца [21]. Несмотря на значимость эхокардиографических данных в диагностике перикардального выпота и тампонады сердца, ни один из ультразвуковых признаков не является стопроцентным достоверным диагностическим критерием. Таким образом, ведение пациентов с перикардальным выпотом и тампонадой сердца всегда должно осуществляться с учетом соответствующей клинической картины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/ REFERENCES:

1. Rehman I, Nassereddin A, Rehman A. *Anatomy, Thorax, Pericardium*. 2023 Jul 24. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan-. PMID: 29489245.
2. John K. Volpe, Amgad N. Makaryus. *Anatomy, Thorax, Heart and Pericardial Cavity*. StatPearls [Internet]. StatPearls Publishing. July, 2023. PMID: 29494059.
3. Adler Y, Charron P, Imazio M et al (2015) ESC Guidelines for the diagnosis and management of pericardial diseases. *Eur Heart J*. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehv318>
4. Pfaller MR, Hörmann JM, Weigl M, Nagler A, Chabiniok R, Bertoglio C, Wall WA. The importance of the pericardium for cardiac biomechanics: from physiology to computational modeling. *Biomech Model Mechanobiol*. 2019 Apr;18(2):503-529. Epub 2018 Dec 10. PMID: 30535650. <https://doi.org/10.1007/s10237-018-1098-4>
5. Maisch V, Seferović PM, Ristić AD, Erbel R, Rienmüller R, Adler Y, Tomkowiński WZ, Thiene G, Yacoub MH; Task Force on the Diagnosis and Management of Pericardial Diseases of the European Society of Cardiology. Guidelines on the diagnosis and management of pericardial diseases executive summary; The Task force on the diagnosis and management of pericardial diseases of the European society of cardiology. *Eur Heart J*. 2004 Apr;25(7):587-610. <https://doi.org/10.1016/j.ehj.2004.02.002>
6. Imazio M. Contemporary management of pericardial diseases. *Curr Opin Cardiol*. 2012;27:308-317. PMID: 22450720.
7. Арутюнов Г.П., Палеев Ф.Н., Тарловская Е.И., Моисеева О.М., Арутюнов А.Г., Козиолова Н.А., Чесникова А.И., Ребров А.П., Шапошник И.И., Петрова М.М., Григорьева Н.Ю., Фомин И.В., Орлова Я.А., Мальчикова С.В., Королева Л.Ю., Носов В.П., Айвазян С.А., Зайратьянц О.В., Синицын В.Е., Васюк Ю.А., Гендлин Г.Е., Драгунов Д.О., Соколова А.В., Иртыуга О.Б. Перикардиты. Клинические рекомендации 2022. *Российский кардиологический журнал*. 2023;28(3):5398. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2023-5398> [Arutyunov G.P., Paleev F.N., Tarlovskaya E.I., Moiseeva O.M., Arutyunov A.G., Kozioleva N.A., Chesnikova A.I., Rebrov A.P., Shaposhnik I.I., Petrova M.M., Grigorieva N.Yu., Fomin I.V., Orlova Ya.A., Malchikova S.V., Koroleva L.Yu., Nosov V.P., Ayvazyan S.A., Zairatyants O.V., Sinitsyn V.E., Vasyuk Yu.A., Gendlin G.E., Dragunov D.O., Sokolova A.V., Irtyuga O.B. Pericarditis. *Clinical Guidelines 2022. Russian Journal of Cardiology*. 2023;28(3):5398. (In Russ.). <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2023-5398>]
8. Imazio M, Gaita F, LeWinter M. Evaluation and Treatment of Pericarditis: A Systematic Review. *JAMA*. 2015 Oct 13;314(14):1498-506. PMID: 26461998. <https://doi.org/10.1001/jama.2015.12763>
9. Naser Yamani, Ayesha Abbasi, Talal Almas, Farouk Mookadam, Samuel Unzek. Diagnosis, treatment, and management of pericardial effusion – review. *Ann Med Surg (Lond)* 2022 Aug;80:104142. Published online 2022 Jul. <https://doi.org/10.1016%2Fj.amsu.2022.104142>
10. George Lazaros, Charalambos Vlachopoulos, Emilia Lazarou, and Konstantinos Tsioufis. New Approaches to Management of Pericardial Effusions. *Curr Cardiol Rep*. 2021; 23(8):106. Published online 2021 Jul 1. PMID: 34196832. <https://doi.org/10.1007/s11886-021-01539-7>
11. Matthew N. Van Dam; Brian M. Fitzgerald. *StatPearls [Internet]. Pulsus Paradoxus*. PMID: 29493917.
12. Meyers D.G., Bagin R.G., Levene J.F. *Electrocardiographic changes in pericardial effusion*. *Chest*. 1993 Nov;104(5):1422-6. PMID: 8222799. <https://doi.org/10.1378/chest.104.5.1422>
13. Zhen J., Wang, Gautham P Reddy, Michael B Gotway, Benjamin M Yeh, Steven W Hetts, Charles B Higgins. *CT and MR imaging of pericardial disease*. *Radiographics*. 2003 Oct;23 Spec No:S167-80. <https://doi.org/10.1148/rg.23si035504>
14. Tom Kai Ming Wang, Chadi Ayoub, Michael Chetrit, Deborah H Kwon, Christine L Jellis, Paul C Cremer, Michael A Bolen, Scott D Flamm, Allan L Klein. *Cardiac Magnetic Resonance Imaging Techniques and Applications for Pericardial Diseases*. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2022 Jul;15(7):e014283. <https://doi.org/10.1161/CIRCIMAGING.122.014283>
15. Bo Xu, Deborah H Kwon, Allan L Klein. *Imaging of the Pericardium: A Multimodality Cardiovascular Imaging Update*. *Cardiol Clin*. 2017 Nov;35(4):491-503. <https://doi.org/10.1016/j.ccl.2017.07.003>
16. Shaimaa A Fadl, Ayesha Nasrullah, Andrew Harris, Rachael Edwards, Gregory Kicska. *Comprehensive review of pericardial diseases using different imaging modalities*. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2020 May;36(5):947-969. <https://doi.org/10.1007/s10554-020-01784-x>
17. Allan L Klein, Suhny Abbara, Deborah A Agler, Christopher P Appleton, Craig R Asher, Brian Hoit, Judy Hung, Mario J Garcia, Itzhak Kronzon, Jae K Oh, E Rene Rodriguez, Hartzell V Schaff, Paul Schoenhagen, Carmela D Tan, Richard D White. *American Society of Echocardiography clinical recommendations for multimodality cardiovascular imaging of patients with pericardial disease: endorsed by the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance and Society of Cardiovascular Computed Tomography*. *J Am Soc Echocardiography*. 2013 Sep;26(9):965-1012.e15. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2013.06.023>
18. Охотин А.Н., Осипов М.А. Констриктивный перикардит: трудности диагностики. *Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия*. 2020;13(5):403-412. <https://doi.org/10.17116/kardio202013051403> [Okhotin AN, Osipov MA. Constrictive pericarditis: diagnostic challenges. *Kardiologiya i Serdechno-Sosudistaya Khirurgiya*. 2020;13(5):403-412. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/kardio202013051403>]
19. Massimo Imazio. Chapter 28. Pericardial Diseases. *CURRENT Diagnosis & Treatment Cardiology*, 4e.
20. R Shabetai. Pericardial effusion: haemodynamic spectrum. *Heart*. 2004 Mar; 90(3):255-256. <https://doi.org/10.1136%2Fhrt.2003.024810>
21. Alejandro Pérez-Casares, Sergi Cesar, Laia Brunet-Garcia, and Joan Sanchez-de-Toledo. *Echocardiographic Evaluation of Pericardial Effusion and Cardiac Tamponade*. *Front Pediatr*. 2017;5:79. Published online 2017 Apr 24. <https://doi.org/10.3389%2Ffped.2017.00079>
22. DeMaria DM, Waring AA, Gregg DE, Litwin SE. *Echocardiographic Assessment of Pericardial Effusion Size: Time for a Quantitative Approach*. *J Am Soc Echocardiogr*. 2019 Dec;32(12):1615-1617. e1. Epub 2019 Oct 19. PMID: 31635971. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2019.08.019>
23. Ghingina C, Beladan CC, Iancu M, Calin A, Popescu BA. *Respiratory maneuvers in echocardiography: a review of clinical applications*. *Cardiovasc Ultrasound*. 2009 Aug 26;7:42. <https://doi.org/10.1186/1476-7120-7-42>
24. David J. Glancy, Anthony Mclean, Michel Slama. *Paradoxical septal motion: A diagnostic approach and clinical relevance*. *Australas J Ultrasound Med*. 2018 May;21(2):79-86. Published online 2018 Feb 28. <https://doi.org/10.1002/ajum.12086>
25. Ahmad Abdelhalim Mahmoud, Manish Bansal, Partho P Sengupta. *New Cardiac Imaging Algorithms to Diagnose Constrictive Pericarditis Versus Restrictive Cardiomyopathy*. *Curr Cardiol Rep*. 2017 May;19(5):43. <https://doi.org/10.1007/s11886-017-0851-0>
26. Fahmi Othman, MD. *Cardiac Tamponade Non Invasive Assessment by Echo*. <https://www.escardio.org/static-file/Escardio/Subspecialty/EACVI/Education/Teaching%20courses/2019/Cardiac%20Tamponade.pdf>
27. Andrea Fields MHA, RDCS. *Hepatic Veins – 101*. <https://www.linkedin.com/pulse/hepatic-veins-101-andrea-fields-mha-rdcs>
28. Morgan M, Baba Y, Murphy A, et al. *Normal hepatic vein Doppler*.

- Reference article, Radiopaedia.org (Accessed on 17 Aug 2023)
<https://doi.org/10.53347/riD-56800>
29. William R. Miranda, Darrell B. Newman, Jae K. Effusive Constrictive Pericarditis: Doppler Findings. Springer Science, Business Media, LLC, part of Springer Nature 2019. *Curr Cardiol Rep.* 2019 Nov 22;21(11):144. PMID: 31758271. <https://doi.org/10.1007/s11886-019-1243-4>
 30. Duke Perioperative Echocardiography Service. <https://anesthesiology.duke.edu/echo-service/tee-protocol/measure-pulmonary>
 31. Tomotsugu Tabata MD, James D. Thomas MD, Allan L. Klein MD. Pulmonary venous flow by doppler echocardiography: revisited 12 years later. *J Am Coll Cardiol actions Search in PubMed Search in NLM Catalog Add to Search* . 2003 Apr 16;41(8):1243-50. [https://doi.org/10.1016/S0735-1097\(03\)00126-8](https://doi.org/10.1016/S0735-1097(03)00126-8)
 32. Sensitivity and specificity of echocardiographic evidence of tamponade: implications for ventricular interdependence and pulsus paradoxus. W G Guntheroth. *Pediatr Cardiol.* 2007 Sep-Oct;28(5):358-62. <https://doi.org/10.1007/s00246-005-0807-9>
 33. Carlo Materazzo, Patrizia Piotti, Roberto Meazza, Maria Paola Pellegrini, Vincenzo Viggiano, Salvatore Biasi. Respiratory changes in transvalvular flow velocities versus two-dimensional echocardiographic findings in the diagnosis of cardiac tamponade. *Ital Heart J.* 2003 Mar;4(3):186-92. PMID: 12784745.
 34. Ronald B. Himelman, Barbara Kircher, Don C. Rockey, Nelson B. Schiller. Inferior vena cava plethora with blunted respiratory response: A sensitive echocardiography sign of cardiac tamponade. *J Am Coll Cardiol.* 1988 Dec;12(6):1470-7. [https://doi.org/10.1016/s0735-1097\(88\)80011-1](https://doi.org/10.1016/s0735-1097(88)80011-1)