

Битчук Н.Д.

Харьковский национальный медицинский университет, г. Харьков, Украина

Диагностика присутствия феномена миокардиального станнинга в клинических условиях с помощью инструментальных методов исследования

Резюме. В аналитическом обзоре рассматриваются возможности доступных для широкой клинической практики методов диагностики феномена миокардиального станнинга. С учетом определения самого феномена миокардиального станнинга его диагностика должна включать: 1) выявление признаков миокардиальной ишемии с дальнейшей реперфузией; 2) определение клинически значимого снижения производительности сердца, обусловленного именно недостаточностью иотропной функции миокарда. В соответствии с содержанием современных авторитетных руководств, созданных международными группами экспертов, произведена систематизация наиболее характерных и достоверных электрокардиографических признаков наличия миокардиальной ишемии, эхокардиографических признаков снижения сократимости отдельных сегментов миокарда и сердечной мышцы в целом. С учетом всех преимуществ и недостатков дана характеристика самых распространенных инструментальных методов оценки производительности сердца, которые являются основой гемодинамического мониторинга. Электрокардиографическая диагностика с проведением эхокардиографического мониторинга считается наиболее доступным для клинического применения методом выявления ишемии миокарда, наиболее безопасным для пациентов, находящимся в критическом состоянии. Объективная оценка состояния сократительной функции отдельных сегментов миокарда возможна при применении многочисленных методик эхокардиографического исследования. В настоящее время бурно развиваются методы 3D-сонографической диагностики. Однако единые рекомендации по их использованию еще не разработаны. Для выявления наличия глобального уменьшения производительности сердца широко используют современные методы гемодинамического мониторинга: термодилуцию, электрический метод определения биологического импеданса, фотоплетизмографию.

Ключевые слова: миокардиальный станнинг; ишемия миокарда; производительность сердца; электрокардиография; эхокардиография; гемодинамический мониторинг; обзор

Введение

Феномен миокардиального станнинга («оглушения» миокарда) характеризуется снижением сократительной способности миокарда после перенесенного эпизода ишемии при полном или практически полном восстановлении коронарной перфузии до исходного уровня с отсутствием образования некроза миокарда [1, 2]. В связи с тем что в настоящее время говорят о возможности развития миокардиального станнинга не только у больных с пер-

вичным поражением сердца и его сосудов, весьма актуальной становится проблема диагностики миокардиального станнинга в клинической практике. Очевидно, что для клиники интерес представляют в первую очередь те случаи, которые имеют клиническое значение. То есть когда временное снижение миокардиальной перфузии приводит действительно к такому снижению производительности сердца, которое требует экстренной медицинской помощи (ЭМП) и интенсивной терапии.

Целью нашей работы является обзор результатов современных исследований, посвященных проблеме диагностики феномена миокардиального стеноза в клинической практике, и систематизация собранного материала.

Материалы и методы

Детально изучены результаты современных клинических исследований, посвященных оценке диагностических возможностей различных инструментальных методов в выявлении клинически значимого снижения сократительной способности миокарда у пациентов, находящихся в критических состояниях. Анализ проведен на основании изучения и систематизации последней информации, представленной в Интернете на специализированных сайтах для профессионалов в области медицины.

Результаты

Исходя из определения самого феномена миокардиального стеноза, его диагностика должна включать: 1) выявление признаков миокардиальной ишемии с дальнейшей реперфузией; 2) определение клинически значимого снижения производительности сердца, обусловленного именно недостаточностью инотропной функции миокарда.

Диагностика признаков миокардиальной ишемии:

1. Электрокардиографическая диагностика

Наиболее доступным методом диагностики ишемии миокарда на догоспитальном этапе и в клинических условиях является ЭКГ-исследование. Ишемия миокарда ассоциирована прежде всего с острым коронарным синдромом без подъема сегмента ST (non-ST-elevation acute coronary syndrome, NSTEMI) и проявляется двумя вариантами событий: 1) нестабильной стенокардией; 2) инфарктом миокарда без подъема сегмента ST (NSTEMI, non-ST-elevation myocardium infarction). Выявление различий между этими двумя состояниями обычно является ретроспективным и основывается на наличии или отсутствии повышения активности сердечных ферментов через 8–12 часов после начала боли в груди. Для обоих состояний характерным является один и тот же спектр ЭКГ-изменений, и в отделениях неотложной помощи (emergency department) у всех таких пациентов применяются очень сходные лечебные мероприятия [3].

Паттерны ишемии миокарда включают 2 основных типа изменений ЭКГ, связанных с NSTEMI: 1) депрессию сегмента ST (восходящую, нисходящую, горизонтальную); 2) сглаживание или инверсию зубца T.

Хотя существуют многочисленные состояния, которые могут имитировать ишемию миокарда (например, гипертрофия левого желудочка, эффект дигитализации), констатация динамических изменений сегмента ST и зубца T (то есть отличающиеся от базовой ЭКГ или изменяющиеся во времени)

настоятельно свидетельствует об ишемии миокарда. Другими ЭКГ-паттернами ишемии миокарда, которые констатируются значительно реже, являются: 1) сверхострые (пиковые) зубцы T или псевдонормализация ранее инвертированных зубцов T; 2) инверсия U-волны [3, 4].

Горизонтальная или нисходящая депрессия ST $\geq 0,5$ мм в точке J в 2 или более смежных отведениях указывает на ишемию миокарда в соответствии с критериями Целевой группы по стандартизации и интерпретации ЭКГ Американской ассоциации сердца 2007 г. [5].

Депрессия ST ≥ 1 мм более специфична и дает худший прогноз.

Депрессия ST ≥ 2 мм в 3 или более отведениях связана с высокой вероятностью NSTEMI и прогнозирует значительную летальность (35 % летальных исходов через 30 дней). Восходящая ST-депрессия неспецифична для ишемии миокарда [3–5].

Депрессия сегмента ST при ишемии миокарда может присутствовать в различном количестве отведений и иметь различную форму. Депрессия ST при субэндокардиальной ишемии обычно широко распространена и присутствует в отведениях I, II, V4–6 и в различном количестве дополнительных отведений. Характер распространенной депрессии ST, сочетающейся с подъемом ST в отведении aVR > 1 мм, свидетельствует об окклюзии левой главной коронарной артерии. Депрессия сегмента ST, локализованная на определенном участке (особенно в нижнем или в верхнем отделе боковой стенки левого желудочка), с большей вероятностью представляет собой реципрокные изменения, обусловленные наличием STEMI. Соответствующее повышение ST может быть труднозаметным, но его следует искать [5, 6].

Инверсия зубца T может рассматриваться как свидетельство ишемии миокарда, если: 1) она имеет глубину не менее 1 мм; 2) присутствует в 2 или более соседних отведениях с доминирующими зубцами R (отношение R/S > 1); 3) отсутствует на старой ЭКГ или изменяется с течением времени [3, 5].

Синдром Велленса представляет собой паттерн инвертированных или двухфазных зубцов T в отведениях V2–V4 (у пациентов с болью в грудной клетке в проекции сердца), который является высокоспецифичным для критического стеноза левой передней нисходящей артерии. Пациенты могут не предъявлять жалоб на боль в груди в момент регистрации ЭКГ. У них также может регистрироваться нормальная или минимально повышенная активность сердечных ферментов. Тем не менее они подвергаются чрезвычайно высокому риску развития обширного инфаркта миокарда передней стенки в течение следующих 2–3 недель. Существует два типа аномалии зубца T при синдроме Велленса: тип А — двухфазный, с начальной позитивностью и терминальной негативностью (25 % случаев); тип В — с глубоким и симметричным отрицательным зубцом T (75 % случаев) [3, 7].

Неспецифические изменения сегмента ST и зубца Т при ишемии миокарда включают: 1) депрессию сегмента ST < 0,5 мм; 2) инверсию зубца Т < 1 мм; 3) сглаживание зубца Т; 4) восходящую депрессию сегмента ST [3]. Результаты ЭКГ-исследования позволяют заподозрить наличие у пациента снижения насосной функции сердца, вызванного ишемией с последующей реперфузией, однако не дают никакой информации о степени тяжести снижения инотропной функции миокарда и нарушениях функционирования его отдельных участков. Наиболее доступными для прояснения этих вопросов являются результаты эхокардиографического исследования (ЭхоКГ).

2. Эхокардиографическая диагностика

Функция левого желудочка является чрезвычайно важным параметром в ЭхоКГ, поскольку она может меняться при многих заболеваниях. Состоятельность функции левого желудочка коррелирует с многочисленными клиническими симптомами, такими как тяжесть одышки, и является ключевым прогностическим фактором при остром инфаркте миокарда [8–10]. Общая систолическая функция левого желудочка обычно оценивается путем измерения разницы между конечной диастолической и конечной систолической величиной, деленной на конечную диастолическую величину. Это может быть применено как для двухмерного (2D-изображения), так и для трехмерного ультразвукового исследования (3D). Существует множество способов количественной оценки и измерения функции левого желудочка. Параметры для количественной оценки функции левого желудочка следующие [10, 11].

Визуальная оценка функции левого желудочка основана на наблюдении за региональной функцией миокарда, другими словами, за утолщением стенки и движением эндокарда нескольких сегментов миокарда. Региональная деформация, такая как утолщение, укорочение или смещение, является центром этого наблюдения с учетом того, что аномалии движения стенки могут быть связаны с уменьшением насосной функции сердца. Каждый сегмент должен оцениваться в нескольких видах. В соответствии с рекомендациями Американского общества эхокардиографии используется 17-сегментная модель [8, 9, 11]. Для объективизации нарушения движения стенок миокарда рекомендована следующая система оценки: 1) нормальный или гиперкинетический режим; 2) гипокинетический (уменьшенное утолщение); 3) акинетический (отсутствие или незначительное утолщение); 4) дискинезия (систолическое истончение или растяжение) [8, 9, 11].

Фракционное (дробное) сокращение (Fractional Shortening) — это метод оценки 2D-изображения в М-режиме. М-режим (англ. motion — движение) предоставляет информацию в виде одномерного изображения, вторая координата заменена временной. По вертикальной оси откладывается расстояние от датчика до лоцируемой структуры, а по горизонтальной — время. М-режим используется в основном для исследования сердца. Дает информацию о виде кривых, отражающих амплитуду и скорость движения кардиальных структур. Используя М-режим, можно определить параметры конечного систолического диаметра левого желудочка (LVESD, left ventricle end systolic diameter) и конечного диастолического диаметра левого желудочка (LVEDD, left ventricle end diastolic diameter). Эти параметры относятся к размеру желудочка (захваченного с помощью М-режима) в конце систолы и диастолы. Используя формулу $(LVEDD - LVESD) : LVEDD \cdot 100$, мы получаем процент разности размеров левого желудочка как параметр того, насколько хорошо левый желудочек сокращается и, следовательно, уменьшает размер во время систолы. Значения > 28 % считаются нормальными.

Однако измерение общей функции левого желудочка по линейному изображению при наличии аномалий движения стенок может привести к неправильным результатам с завышением или занижением функции левого желудочка. Измерения объема, основанные на линейных измерениях, считаются неточными и, в соответствии с содержанием последних руководств, больше не рекомендуются. Формула Тейхольца $Vol = 7D^3 : (2,4 + D)$, где диаметр желудочка D измеряется в М-режиме, также не упоминается в современных рекомендациях [8, 9, 11].

Фракция выброса (Ejection Fraction, EF) определяется на основе оценок конечного диастолического объема и конечного систолического объема. Это соотношение между количеством крови, выбрасываемой в течение каждого сердечного цикла, и размером желудочка. Исследование может быть выполнено как в 2D-, та и в 3D-изображении. В настоящее время метод Симпсона, или метод двухмерной эхо-сонографии (в 2D-изображении), рекомендуется для оценки фракции изгнания левого желудочка. Для расчета применяется следующая формула:

$$EF = (EDV - ESV) : EDV \cdot 100,$$

где EF — фракция выброса; EDV — конечный диастолический объем; ESV — конечный систолический объем.

Таблица 1

Тяжесть дисфункции	Норма	I	II	III
Мужчины	72–52	51–41	40–30	< 30
Женщины	74–54	53–41	40–30	< 30

В отличие от метода фракционного сокращения расчет производится, исходя не из размера диаметра, а из объема левого желудочка. Фракция выброса левого желудочка у мужчин ниже 52 % и у женщин ниже 54 % интерпретируется как недостаточная систолическая функция левого желудочка [8]. Нормальные предельные значения диапазона фракции выброса левого желудочка для 2D-исследования в процентах в соответствии с текущими рекомендациями ASA следующие (табл. 1).

Сердечный выброс/индекс/ударный объем. Допплеровская ЭхоКГ и 2D-визуализация могут быть использованы для расчета нескольких гемодинамических параметров, таких как ударный объем, сердечный выброс и сердечный индекс. Эти параметры важны для оценки сократительной функции левого желудочка. Они могут быть получены из двух измерений: интеграла скорости по времени (VTI, velocity time interval) и поперечного сечения оттока из левого желудочка (LVOT, left ventricle outflow). VTI представляет общий поток через область измеряемого объема в систолу. Соответственно, импульсно-волновой доплер-датчик помещается в LVOT. Диаметр LVOT равен поперечному сечению LVOT. Ударный объем рассчитывается как результат VTI, умноженный на диаметр LVOT. Ударный объем сердца не может быть рассчитан у пациентов с нарушениями оттока из левого желудочка (аортальный стеноз). Некоторые ультразвуковые устройства также рассчитывают ударный объем на основе метода Симпсона. Основным ограничением этого подхода является то, что он не может применяться при наличии митральной регургитации [9–11].

Глобальная скорость продольной деформации (Global Longitudinal Strain (GLS)) — это изменение длины левого желудочка в определенном направлении, связанное с его исходной величиной. Это методика тканевой доплерографии, которая обеспечивает оценку региональной функции миокарда. Нарушения, выявленные при определении скорости продольной деформации, являются чувствительным и ранним предиктором региональной дисфункции левого желудочка. Это особенно важно, поскольку сократительная дисфункция часто возникает до того, как фракция выброса снижается. GLS определяет укорочение миокарда как корреляцию с сократимостью в отличие от методики определения фракции выброса, при которой измеряются объемы. Скорость деформации определяется как изменение двух скоростей, деленное на расстояние между точками измерения. Обычно используется формула $GLS (\%) = (MLs - MLd) : MLd$, где MLs — длина участка миокарда во время систолы; MLd — длина участка миокарда во время диастолы.

Поскольку длина миокарда во время систолы меньше, чем во время диастолы, значения GLS являются отрицательными. Другими словами, отрицательные значения GLS указывают на активное сокращение, тогда как положительные значения относятся к релаксации. Недостатком в методике

GLS является зависимость от угла сканирования. Этот недостаток можно значительно нивелировать, используя более новые методики, например такие, как определение скорости деформации, оцененной с помощью отслеживания спеклов [11–13].

Напряжение и скорость деформации, оцененные с помощью спекл-трекинга. 2D спекл-трекинг — это новая методика. С помощью 2D спекл-трекинга, как и при тканевой доплерографии, можно рассчитать скорость движения миокарда и параметры деформации. При 2D спекл-трекинге измеряются различные компоненты сокращения миокарда и предоставляется информация о глобальном сокращении путем оценки не только продольной деформации, но также радиальной и циркулярной деформации. При отслеживании спеклов записанные цифровые петли обрабатываются программным обеспечением, в котором движения участков миокарда отслеживаются на протяжении всего сердечного цикла. Затем программа вычисляет деформацию и другие ее параметры. Результаты затем визуализируются в различных формах. Скорость деформации может быть представлена цветовой кодировкой на дисплее в виде «бычьего глаза» или кривыми, показывающими изменение деформации с течением времени в форме анатомического M-режима. Дополнительным преимуществом отслеживания спеклов является независимость от угла сканирования (в отличие от определения глобальной скорости деформации). Определение скорости деформации в настоящее время используется для количественной оценки региональной функции миокарда, поскольку методика предоставляет точную информацию о движении стенки. Существенным недостатком отслеживания спеклов остается зависимость измерений от производителя аппаратуры и программного обеспечения. Методика спекл-трекинга должна выполняться в динамике с использованием одного и того же оборудования и программного обеспечения. Трехмерная ЭхоКГ с отслеживанием спеклов может фиксировать движение спеклов независимо от их направления. Это дает преимущество по сравнению с 2D-исследованием. Данные, полученные с помощью 3D спекл-трекинга измерения объемов левого желудочка, сопоставимы со значениями, полученными при МРТ. Кроме того, с помощью 3D спекл-трекинга можно анализировать сократимость значительно большего количества сегментов миокарда. Самым большим недостатком 3D спекл-трекинга является зависимость от качества изображения. Интерпретация нормальных значений различается в разных научных публикациях, и результат серьезно зависит от используемого оборудования [11, 14, 15].

Сократительная способность (Contractility, dp/dt). Dp/dt является параметром изоволюметрического сокращения миокарда, отражающим скорость повышения давления в левом желудочке во время систолы. Чем быстрее левый желудочек способен создавать давление, тем лучше его функция.

Это повышение давления может быть зафиксировано при помещении постоянно-волнового доплер-датчика над митральным клапаном. Скорость измеряется в двух разных временных точках: 1 м/с и 3 м/с. Если мы вычислим разницу между этими двумя временными точками, результат будет представлять собой время, необходимое для изменения давления в левом желудочке на 32 мм рт.ст. (выраженное в секундах). Этот метод имеет несколько недостатков. Например, при некоторых заболеваниях, сопровождающихся развитием блокады левой ножки пучка Гиса (аортальный стеноз, аортальная недостаточность, дилатационная кардиомиопатия, распространенный коронаросклероз и др.), правожелудочковой электрокардиостимуляции и синдроме WPW показатель dp/dt может быть уменьшен из-за десинхронизации, а не из-за сниженной сократимости. Кроме того, для этого расчета необходим хороший сигнал с митрального клапана, который бывает сложно получить, в зависимости от качества изображения [9, 11].

Индекс Tei/индекс производительности миокарда (Myocardial Performance Index, MPI). Индекс Tei, или индекс производительности миокарда, является инструментом для оценки глобальной функции левого желудочка. Для вычисления индекса Tei используют 3 показателя, которые получают при доплеровском исследовании. Формула для расчета:

$$MPI = (IVCT + IVRT) : ET,$$

где IVCT — время изоволюметрического сокращения; IVRT — время изоволюметрической релаксации; ET — время выброса.

При наличии систолической дисфункции у пациентов IVCT (isovolumetric contraction time) будет увеличиваться, а ET (ejection time) — уменьшаться. Применение этого в формуле приведет к увеличению MPI. Нормальным диапазоном считается $0,39 \pm 0,05$. Величина MPI, превышающая 0,5, считается показателем недостаточности сократительной функции [11, 16].

Скорость миокарда, определенная с помощью тканевой доплерографии. При визуализации скорости движения миокарда с помощью тканевой доплерографии оценивается сигнал, который коррелирует с движением миокарда. На анатомическом 4-камерном изображении имеется цветной дисплей, затем импульсно-волновой доплер-датчик помещается, направляя поток в разные области миокарда. Таким образом, могут быть определены различные скорости в интересующей области. Обычно датчик проецируется на перегородку или латеральный отдел митрального кольца. Кольцевая скорость в систоле показала корреляцию с фракцией выброса левого желудочка. Методика зависит от угла сканирования, поэтому скорости можно измерять только параллельно ультразвуковому лучу. Недостатки методики в том, что сократительная функция левого желудочка оценивается только в определенной области. Это методика выявления нарушенной продольной

систолической функции. Она не представлена в современных руководствах по количественной оценке систолической функции левого желудочка [9, 11].

Плоскостная систолическая экскурсия митрального кольца (Mitral Annular Plane Systolic Excursion, MAPSE). Это маркер эффективности продольной деформации левого желудочка, определяемый в М-режиме. Для расчета датчик, функционирующий в М-режиме, помещается в область верхушки для получения четырехкамерной визуализации латерального отдела митрального кольца. Экскурсия митрального клапана измеряется во время систолы и диастолы. Величина экскурсии, превышающая 10 мм, считается нормальной. Значение MAPSE также используют для расчета величины сердечного выброса. Эмпирическая формула расчета фракции сердечного выброса с помощью величины MAPSE выглядит так:

$$EF = 4,8 \cdot MAPSE \text{ (мм)} + 5,8 \text{ (в \%)},$$

где EF — фракция выброса (ejection fraction); MAPSE — плоскостная систолическая экскурсия митрального кольца.

В настоящее время эта формула очень редко используется в клинической практике и в действующих руководствах [11].

3D-эхокардиография. Быстрые технологические разработки в последние годы привели к появлению новых методик. С помощью матричных преобразователей в реальном времени можно создавать изображения бьющегося сердца. Этот более новый метод обладает рядом преимуществ, поскольку он не основан на геометрических допущениях и на него не влияет ракурс, он более точен и воспроизводим и, следовательно, уменьшает недостатки методик, использующих 2D-изображения. Недостатком трехмерной ЭхоКГ является зависимость от качества изображения. Пока еще имеется серьезный недостаток количества опубликованных работ, предоставляющих данные о правильной интерпретации нормальной функции. Предельные значения нормального диапазона для оценки функции сердца на основании 3D-ЭхоКГ варьируют среди этнических групп. До сих пор не стандартизированы нормальные значения. В соответствии с текущими рекомендациями 3D-оценка функции левого желудочка должна проводиться только в лабораториях с опытом в 3D-ЭхоКГ и в тех случаях, когда качество изображения делает это возможным [11].

Стресс-эхокардиография. При стресс-ЭхоКГ с помощью двухмерного ультразвукового исследования выявляют переходящие нарушения сократимости миокарда, проявления которых индуцированы физической нагрузкой (нагрузка на тредмиле, велоэргометре), фармакологическими пробами (с добутамином, дипиридамолом, нитроглицерином, аденозином, эргометрином и др.) или электрокардиостимуляцией [17–19]. И гибернированный («спящий»), и «оглушенный» миокард, в отличие от необратимо поврежденного, имеет положитель-

ный инотропный резерв, проявление которого во время исследования может быть вызвано нитроглицерином, катехоламинами или постэкстрасистолической потенциацией [17, 20]. Наиболее широкое распространение в клинической практике получила стресс-ЭхоКГ с добутамином. Считается, что добутаминовый стресс-тест наиболее точно соответствует дозированной физической нагрузке. Для выявления инотропных резервов миокарда и скрытой ишемии используют введение добутамина через инфузомат в возрастающих концентрациях. Для выявления жизнеспособного миокарда обычно используют введение малых доз — от 5,0 до 15,0 мкг/кг/мин, повышая дозу каждые 3–5 минут. Для выявления ишемии чаще используют более продолжительное введение препарата, повышая скорость введения с 5,0 до 30–40 мкг/кг/мин. Наличие миокардиальной гибернации ассоциировано со значительным поражением коронарных артерий, и поэтому начальный положительный эффект на фоне добутаминовой стимуляции затем сменяется угнетением сократительной способности. При трансмуральном поражении миокарда прирост его сократимости при использовании любых доз добутамина отсутствует. «Оглушенный» миокард не требует мероприятий по реваскуляризации, так как определение самого феномена миокардиального станнинга предусматривает полное восстановление коронарного кровотока [17–19].

3. Методы интегральной клинической оценки сердечного выброса

Эти методы не позволяют выявить снижение сократительной активности отдельных сегментов миокарда. Они дают возможность рассчитать только показатели центральной гемодинамики, характеризующие производительность сердца в целом: ударный объем сердца, минутный объем кровообращения, ударный индекс сердца и сердечный индекс.

Метод Фика (принцип Фика). Заключается в том, что количество кислорода, поступающее в легочную артерию, вместе с количеством кислорода, которое попадает из альвеол в легочные капилляры, в условиях стабильной гемодинамики должно полностью соответствовать количеству кислорода, которое приносится в сердце по легочным венам. Метод Фика предполагает обязательную катетеризацию легочной артерии. Потребление кислорода рассчитывается на основе измерения количества кислорода в определенном объеме выдыхаемого воздуха. Длительное время принцип Фика рассматривался в качестве чуть ли не эталонного метода изучения производительности сердца. Однако на самом деле повторяемость результатов даже у одного и того же пациента со стабильной гемодинамикой через короткие промежутки времени воспроизвести крайне сложно. Метод непригоден при наличии больших внутрисердечных шунтов, так как в этом случае производительность желудочков сердца различается. Практически невозможно обеспечить качественное определение сердечного выброса у больных с неста-

бильной гемодинамикой, например пребывающих в состоянии шока, у пациентов, требующих особой респираторной поддержки [21, 22].

Метод Стюарта — Гамильтона. Это метод разведения индикатора. В качестве индикатора может использоваться краситель или радиоизотопный препарат. Заключается во введении в сосудистое русло известной массы (количества) индикатора с дальнейшим определением его концентрации через строго выверенные промежутки времени. Ранее этот метод использовался в исследованиях на людях чрезвычайно широко [21, 22].

Методы термодилуции. В настоящее время референтным методом и золотым стандартом для всех неинвазивных мероприятий определения сердечного выброса признается метод пульмональной термодилуции с катетеризацией легочной артерии. Вместе с объемом сердечного выброса определяют величину систолического, диастолического и среднего давления в легочной артерии и давление заклинивания легочных капилляров. Есть возможность определять насыщение смешанной венозной крови кислородом (SvO_2 (%)), это кровь, взятая именно из легочной артерии). Однако в последние годы количество катетеризаций с использованием методики Свана — Ганца серьезно уменьшилась. Главная причина — инвазивность метода. Возможные осложнения: разрывы внутригрудных сосудов, повреждение клапанов сердца, перфорация стенок сердца, свертывание катетера в камерах сердца в узел, разрывы легочных сосудов с легочным кровотечением. Практически во всех случаях установка катетера Свана — Ганца сопровождается различными нарушениями сердечного ритма, вследствие чего рядом с большим обязательно должен находиться дефибриллятор. За последние 10 лет количество таких исследований в США в связи с бурным развитием точных неинвазивных методов уменьшилась втрое. Однако возможность измерения давления заклинивания легочных капилляров позволяет с наибольшей точностью судить о том, в результате чего снижен сердечный выброс. Именно констатация увеличения давления заклинивания легочных капилляров до 18 мм рт.ст. и выше указывает на наличие снижения сократимости миокарда [23, 24].

Метод термодилуции предполагает введение в легочную артерию определенного количества охлажденного раствора, температура которого меньше температуры тела больного. При этом изменяется температура крови, контактирующей с термическим датчиком, находящимся в сосудистом русле. Степень изменения температуры обратно пропорциональна сердечному выбросу. Изменение температуры незначительно при высоком сердечном выбросе и увеличивается, если сердечный выброс низок. Графическое изображение зависимости изменений температуры от времени представляет собой кривую термодилуции. Сердечный выброс определяют с помощью компьютерной программы, которая рассчитывает площадь под кривой термо-

диллюции. Различают метод пульмональной термодиллюции и метод транспульмональной термодиллюции. При пульмональной термодиллюции введение охлажденной жидкости осуществляют в легочную артерию, где и находится термистор. Метод транспульмональной термодиллюции (The PiCCO: Pulsion Medical Systems, Munich, Germany) отличается уже меньшей инвазивностью. Введение жидкости проводят в центральную вену, а термистор находится в бедренной артерии [23–25].

Индикаторная литиевая диллюция. При транспульмональной индикаторной диллюции (The LiDCO (LiDCO, London, UK)) в организм больных вводят раствор лития хлорида и используют селективный литиевый электрод, который находится в артериальной системе. Новая версия LiDCO LiDCO Rapid не требует обязательной калибровки в течение каждых 8 часов [26].

Система NiCO. Система расчета сердечного выброса на основе определения парциального напряжения углекислого газа в выдыхаемом воздухе (NiCO). Работает по принципу Фика, но расчет идет не по кислороду, а по CO_2 . Система состоит из датчика CO_2 и датчика потока воздуха в сочетании с пульсоксиметром. Продукция CO_2 измеряется путем умножения выделенного содержания CO_2 на минутный объем дыхания. Артериальное напряжение CO_2 происходит от конечного приточного CO_2 . Через каждые три минуты начинается цикл повторного дыхания с использованием отработанной смеси, что приводит к уменьшению градиента давления CO_2 и его выделения. Предполагая, что сердечный выброс является стабильным как в норме, так и в условиях умеренного роста парциального давления CO_2 , для его расчета используется разница между нормальными и обратными соотношениями. Однако, поскольку она зависит от стабильности вентиляции, ее можно использовать только у полностью успокоенных (глубокая седация) пациентов с мандаторной вентиляцией. Тяжелые заболевания легких мешают измерениям. На сегодняшний день существует недостаточно данных для подтверждения точности технологии NiCO, особенно у критически больных пациентов [27].

Биоимпедансный метод. Основывается на измерении снижения электрического сопротивления тела при пропускании через него тока высокой частоты. Увеличение кровенаполнения органа или участка тела во время систолического притока крови сопровождается снижением базового импеданса, которое и регистрируется реоплетизмографами. В дальнейшем проводят расчет объемного кровотока, используя антропометрические параметры пациента, время выброса крови из левого желудочка сердца и другие показатели. Наиболее широкое распространение получили тетраполярная грудная реография по Кубичеку и биполярная интегральная реография тела по Тищенко. Отечественные варианты за границей не признаны, хотя и их результаты очень точно соответствуют клинической картине неотложных и крити-

ческих состояний. Методика Тищенко чрезвычайно удобна и легко выполнима, так как электроды накладываются на дистальные отделы верхних и нижних конечностей. Методика не может быть использована при наличии в конечностях металлических конструкций. Реография по Кубичеку считается более точным методом определения сердечного выброса, однако очень некомфортна для пациента, так как круговые ленточные электроды закрепляют на грудной клетке и шее. Для пациентов, находящихся в критических состояниях, это может быть связано с повышением риска манифестации различных гемодинамических расстройств. В настоящее время ручная обработка реограмм уже практически не проводится. Расчет показателей происходит с помощью компьютера. На современном этапе широко востребованы мониторы фирмы Cheetah Medical, Inc — NICOM (Non-Invasive Cardiac Output Monitoring). Методика NICOM предполагает отказ от использования круговых ленточных электродов и замену их четырьмя парами наклеиваемых на грудную клетку точечных электродов. Расчет сердечного выброса компьютером монитора ведется по формуле Кубичека. Методика NICOM также известна под названием «методика биореактанса». Биоимпедансные методики определения сердечного выброса не применяются у пациентов с кардиостимуляторами [28, 29].

Фотоплетизмометрическая методика esCCO. Методика Estimated Continues Cardiac Output (продолжительной оценки сердечного выброса) предполагает использование периферического пульсоксиметрического датчика, регистрирующего не только насыщение кислородом крови, но и плетизмограмму, а также грудных ЭКГ-электродов. С помощью мониторинга ЭКГ регистрируется начало электрической систолы левого желудочка сердца и определяется время от него до максимальной амплитуды плетизмограммы. Чем короче время и выше амплитуда плетизмограммы, тем больше ударный объем сердца. Монитор esCCO дает непрерывную информацию о состоянии сердечного выброса и очень быстро реагирует на его изменения под влиянием мероприятий интенсивной терапии. В настоящее время это наиболее удобные мониторы, поскольку можно обходиться наименьшей нагрузкой электродами на тело пациента [28, 30].

Выводы

Мы рассмотрели в первую очередь наиболее доступные методы исследования для диагностики миокардиального станнинга, которые могут широко применяться в повседневной клинической практике. Возможностей диагностики на самом деле, несомненно, больше. Безусловно, наиболее точную информацию о состоянии коронарного кровотока можно получить в результате ангиографического исследования. Однако всегда необходимо оценивать целесообразность проведения сложных исследований у любого пациента в конкретное время, при конкретной патологии, состоянии больного,

при реальных возможностях проведения интенсивной терапии и перспективности результатов лечения. Для оценки перфузии, целостности мембран и метаболизма миокарда используются сцинтиграфия с ^{201}Tl , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -метоксиизобутилизонитрилом, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -тетрафосмином, позитронно-эмиссионная томография с ^{82}Rb , $^{13}\text{NH}_3$, ^{14}C -ацетатом, позитронно-эмиссионное томографическое сканирование с фтордезоксиглюкозой [31]. При интенсивной терапии, во время пребывания пациента в критическом состоянии, значительно важнее обеспечить более простой мониторинг сердечного выброса, для того чтобы четко представлять себе тяжесть глобального снижения производительности сердца у пациента, быстро оценивать лечебный эффект и прогнозировать дальнейшие возможности доступных методов коррекции.

Перспективы дальнейших исследований. Оценка информативности биохимических маркеров миокардиального повреждения в диагностике миокардиального стэннинга.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии какого-либо конфликта интересов и собственной финансовой заинтересованности при подготовке данной статьи.

Список литературы

1. Guaricci A.I., Bulzis G., Pontone G. et al. Current interpretation of myocardial stunning. *Trends Cardiovasc. Med.* 2018. Vol. 28. P. 263-271.
2. Pomblum V.J., Korbmacher B., Cleveland S. et al. Cardiac stunning in the clinic: the full picture. *Interactive CardioVascular and Thoracic Surgery.* 2010. Vol. 10. P. 86-91.
3. Burns E. Myocardial Ischemia [electronic resource]. *Life in the Fastlane* [last update March 16, 2019]. Access mode: <https://litfl.com/myocardial-ischemia-ecg-library/>
4. Brady W.J. *Critical Decisions in Emergency and Acute Cardiac Electrophysiology.* Hong Kong: Wiley-Blackwell, 2009. 506 p.
5. Kligfield P., Gettes L.S., Bailey J.J. et al. Recommendations for the Standardization and Interpretation of the Electrocardiogram: Part I: The Electrocardiogram and Its Technology A Scientific Statement From the American Heart Association Electrocardiography and Arrhythmias Committee, Council on Clinical Cardiology; the American College of Cardiology Foundation; and the Heart Rhythm Society Endorsed by the International Society for Computerized Electrocardiology. *Journal of the American College of Cardiology.* 2007. Vol. 49, № 10. P. 1109-1127.
6. Smith S. ST depression does not localize: 2 cases of "inferior" ST depression diagnostic of high lateral STEMI [electronic resource]. *Dr. Smith's ECG Blog: Instructive TCGs in Emergency Medicine Clinical Context* [May 02; 2019]. Access mode: <https://hqmeded-ecg.blogspot.com/>
7. Marzlin K.M. Wellense Syndrome. *AACN Advanced Critical Care.* 2018. Vol. 29, № 3. P. 360-364.
8. Lang R.M., Badano L.P., Mor-Avi V. et al. Recommendations for Cardiac Chamber Quantification by Echocardiography in Adults: An Update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *Journal of the American Society of Echocardiography.* 2014. Vol. 28, № 3. e1-e14.

graphy and the European Association of Cardiovascular Imaging. *Journal of the American Society of Echocardiography.* 2014. Vol. 28, № 3. e1-e14.

9. Goliasch G. *Echo Facts.* Wien, Publisher: 123sonography.com, 2014. 252 p.

10. Systolic Function of the LV [electronic resource]. *British Society of Echocardiography* [08 Nov; 2013] Access mode: <https://www.bsecho.org/evaluation-of-systolic-function-of-the-left-ventricle/>

11. Left Ventricular Function [electronic resource] / 123sonography Team: *Free Lectures of Our Echo Master Class; 123sonography.com; Medical University of Vienna* [10 May; 2019] Access mode: <https://www.123sonography.com/left-ventricular-function>

12. Kadappu K.K. Tissue Doppler Imaging in Echocardiography: Value and Limitations. *Heart, Lung and Circulation.* 2015. Vol. 24. P. 224-233.

13. Галимская В.А. Оценка показателей сократительной функции миокарда у здоровых людей методом X-Strain. *Известия высших учебных заведений. Поволжский район. Медицинские науки.* 2011. Т. 3, № 19. С. 36-43.

14. Никифоров В.С. Современные возможности speckle tracking эхокардиографии в клинической практике. *Рациональная фармакотерапия в кардиологии.* 2017. Т. 13, № 2. С. 248-255.

15. Bansal M. How Do I Do it? Speckle-tracking Echocardiography. *Indian Heart Journal.* 2013. Vol. 65, № 1. P. 117-123.

16. Goroshi M. Myocardial Performance Index (Tei Index): A simple tool to identify cardiac dysfunction in patients with diabetes mellitus. *Indian Heart Journal.* 2016. Vol. 68, № 1. P. 83-87.

17. Krahwinkel W., Ketteler T., Wolfertz J. et al. Detection of myocardial viability using stress echocardiography. *European Heart Journal.* 1997. Vol. 18, Suppl. D. D111-D116.

18. Саидова М.А. Стресс-эхокардиография с добутамином: возможности клинического применения в кардиологической практике. *Рациональная фармакотерапия в кардиологии.* 2009. Т. 5, № 4. С. 73-79.

19. Солнышков С.К. Стресс-эхокардиография с добутамином: физиологические основы, методические аспекты, показания к применению и безопасность. *Вестник Ивановской медицинской академии.* 2009. Т. 14, № 1. С. 54-59.

20. Steger A., Sinnecker D., Barthel P. et al. Post-extrasystolic Blood Pressure Potentiation as a Risk Predictor in Cardiac Patients. *Arrhythmia & Electrophysiology Review.* 2016. Vol. 5, № 1. P. 27-30.

21. Раишмер Р.Ф. Динамика сердечно-сосудистой системы [перевод с английского]. Москва: Медицина, 1981. 600 с.

22. Савицкий Н.Н. Биофизические основы кровообращения и клинические методы изучения гемодинамики. Издание 2-е, переработанное и дополненное. Ленинград: Медицина, 1974. 332 с.

23. McCanny P., Colreavy F., Bakker J. et al. Hemodynamic Monitoring & Management: Skills and Techniques, 2013 [electronic resource]. *European Society of Intensive Care Medicine* [cited 03 Jun 2019]. DOI: 10.1007/s00134-014-3525-z

24. Cecconi M., De Backer D., Antonelli M. et al. Consensus on circulatory shock and hemodynamic monitoring. Task force of the European Society of Intensive Care Medicine. *Intensive Care Med.* 2014. Vol. 40, № 12. P. 1795-1815.

25. Zhong Yuanbo, Wang Jin, Shi Fei, Long Liangong et al. ICU management based on PiCCO parameters reduces duration of mechanical ventilation and ICU length of stay in patients with severe thoracic trauma and acute respiratory distress syndrome.

Annals of Intensive Care. 2016. Vol. 6. P. 113. DOI: 10.1186/s13613-016-0217-6

26. Menger J., Mora B., Skhirtladze K. et al. Accuracy of Continuous Cardiac Output Measurement with the LiDCOplus System During Intra-Aortic Counterpulsation after Cardiac Surgery. *Cardiothoracic & Vascular Anesthesia. 2016. Vol. 30, № 3. P. 592-598.*

27. Нууыг J., Peeters Y., Bernards J. et al. Hemodynamic monitoring in the critically ill: an overview of current cardiac output monitoring methods [electronic resource]. *F1000 Research. 2016. Vol. 5. Faculty Rev.-2855. [Published online 2016 Dec 16] doi: 10.12688/f1000research.8991.1*

28. Ніконов В.В. Шок: сучасний погляд на проблему та надання медичної допомоги на догоспітальному та ранньому госпітальному етапі. Харків; Мадрид, 2019. 182 с.

29. Sodolski T. Impedance Cardiography: A Valuable Method of Evaluating Haemodynamic Parameters. *Cardiology Journal. 2007. Vol. 14, № 2. P. 115-126.*

30. Белецкий А.В. Фотоплетизмографический мониторинг сердечного выброса у пациентов с травмой в практике интенсивной терапии. Харківська хірургічна школа. 2017. № 3–4 (84–85). С. 58-62.

31. Bholra R. Hibernating and Stunned Myocardium Imaging [electronic resource]. *Medscape. Drugs & Diseases. Jun 29, 2018. Access mode: <https://emedicine.medscape.com/article/352588-overview#showall>*

Получено/Received 11.06.2019

Рецензировано/Revised 24.06.2019

Принято в печать/Accepted 27.06.2019 ■

Бітчук М.Д.

Харківський національний медичний університет, м. Харків, Україна

Діагностика присутності феномена міокардіального станнінгу в клінічних умовах за допомогою інструментальних методів дослідження

Резюме. В аналітичному огляді розглядаються можливості доступних для широкої клінічної практики методів діагностики феномена міокардіального станнінгу. З урахуванням визначення самого феномена міокардіального станнінгу його діагностика повинна включати: 1) виявлення ознак міокардіальної ішемії з подальшою реперфузією; 2) визначення клінічно значущого зниження продуктивності серця, обумовленого саме недостатністю інотропної функції міокарда. Відповідно до змісту сучасних авторитетних посібників, створених міжнародними групами експертів, проведено систематизацію найбільш характерних і вірогідних електрокардіографічних ознак наявності міокардіальної ішемії, ехокардіографічних ознак зниження скоротливості окремих сегментів міокарда та серцевого м'яза в цілому. З урахуванням усіх переваг і недоліків надана характеристика найпоширеніших інструментальних методів оцінки продуктивності серця, що є основою гемодинамічного моніторингу.

Електрокардіографічна діагностика з проведенням ехокардіографічного моніторингу вважається найбільш доступним для клінічного застосування методом виявлення ішемії міокарда, найбільш безпечним для пацієнтів, які перебувають у критичному стані. Об'єктивна оцінка стану скорочувальної функції окремих сегментів міокарда можлива при застосуванні численних методик ехокардіографічного дослідження. У даний час бурхливо розвиваються методи 3D-сонографічної діагностики. Однак єдині рекомендації щодо їх використання ще не розроблені. Для визначення наявності глобального зменшення продуктивності серця широко використовують сучасні методи гемодинамічного моніторингу: термодилуції, електричний метод визначення біологічного імпедансу, фотоплетизмографія.

Ключові слова: міокардіальний станнінг; ішемія міокарда; продуктивність серця; електрокардіографія; ехокардіографія; гемодинамічний моніторинг; огляд

M.D. Bitchuk

Kharkiv National Medical University, Kharkiv, Ukraine

Diagnosis of the presence of myocardial stunning phenomenon in clinical settings using instrumental methods of research

Abstract. The analytical review examines the possibilities of research methods available for a wide clinical practice in the diagnosis of the phenomenon of myocardial stunning. Based on the definition of the phenomenon of myocardial stunning itself, its diagnosis should include: 1) identification of signs of myocardial ischemia with further reperfusion; 2) determination of a clinically significant decrease in cardiac performance, due precisely to the insufficiency of the myocardial inotropic function. In accordance with the content of modern authoritative guidelines created by international groups of experts, the most characteristic and reliable electrocardiographic signs of myocardial ischemia, echocardiographic signs of a decrease in contractility of some myocardial segments and cardiac muscle in general were systematized. Taking into account all the advantages and disadvantages, the characteristics of the most common instrumental methods for evaluating heart performance are given,

which are the basis of hemodynamic monitoring. Electrocardiographic diagnosis with echocardiographic monitoring is recognized as the method for detecting myocardial ischemia, which is most accessible for clinical use and most safe for critically ill patients. Objective assessment of the state of contractile function of some myocardial segments is possible with the use of numerous methods of echocardiography. At present, methods of 3D-sonographic diagnosis are rapidly developing. However, unified recommendations for their use have not been developed yet. Modern methods of hemodynamic monitoring, such as thermodilution, electrical method for determining biological impedance, photoplethysmography, are widely used to reveal the presence of a global reduction in cardiac performance.

Keywords: myocardial stunning; myocardial ischemia; cardiac performance; electrocardiography; echocardiography; hemodynamic monitoring; review