**Возможности диастолического стресс-теста при обследовании пациентов перед внесердечными хирургическими вмешательствами**

Джиоева О.Н., Драпкина О.М.

***Резюме.***

Предоперационная оценка соматического статуса пациента, которому предстоит плановое внесердечное хирургическое вмешательство высокого риска, требует выявления факторов, связанных как с типом хирургического вмешательства, так и с особенностями коморбидного фона каждого пациента. Определение клинически значимых отклонений от нормы эхокардиографических показателей, даже при отсутствии выраженных симптомов, может способствовать изменению тактики ведения или пересмотра запланированных сроков и объемов операции. Аспекты определения эхокардиографических критериев потенциальных осложнений со стороны сердечно-сосудистой системы в послеоперационном периоде, особенно у малосимптомных пациентов с сохраненной фракцией выброса левого желудочка, представляют собой важную клиническую проблему. Диастолический стресс-тест, относительно новый вид нагрузочного тестирования, в настоящее время является дополнительным диагностическим инструментом, позволяющим выявить сердечную недостаточность у пациентов без снижения фракции выброса. Возможность использования этого метода как вспомогательного пособия в оценке риска перед внесердечными хирургическими вмешательствами у пациентов с сохраненной фракцией выброса левого желудочка рассмотрим в этой статье.

***Ключевые слова:*** *стратификация периоперационного риска; внесердечные хирургические вмешательства; эхокардиография; диастолический стресс-тест.*

***Список сокращений:***

АД- артериальное давление;

ЧСС-частота сердечных сокращений;

ЛЖ-левый желудочек;

ФВ- фракция выброса;

СН- сердечная недостаточность;

СНсФВ- сердечная недостаточность с сохраненной фракцией выброса;

Е-ранняя диастолическая трансмитральная скорость;

 e'-ранняя диастолическая скорость движения митрального кольца;

E/e′- показатель давления наполнения ЛЖ;

ИКСО-индекс конечного систолического объема;

ЛП-левое предсердие;

СДЛА- систолическое давление в легочной артерии.

Объем и виды предоперационных обследований у пациентов с хроническими сердечно-сосудистыми заболеваниями при внесердечных хирургических вмешательствах остаются темой профессиональной дискуссии среди специалистов хирургического, терапевтического и анестезиологического профиля. Предоперационная оценка соматического статуса пациента, которому предстоит плановое внесердечное хирургическое вмешательство высокого риска, требует выявления факторов, связанных как с типом хирургического вмешательства, так и с особенностями коморбидного фона каждого пациента. Определение клинически значимых отклонений от нормы эхокардиографических показателей, даже при отсутствии выраженных симптомов, может способствовать изменению тактики ведения или пересмотра запланированных сроков и объемов операции [1]. Трансторакальная эхокардиография является доступным методом диагностики, часто используемым перед большими плановыми хирургическими вмешательствами у пациентов высокого риска, однако аспекты определения эхокардиографических критериев потенциальных осложнений со стороны сердечно-сосудистой системы в послеоперационном периоде, особенно у малосимптомных пациентов с сохраненной фракцией выброса левого желудочка (ЛЖ), представляют собой важную клиническую проблему [2]. Диастолический стресс-тест, относительно новый вид нагрузочного тестирования, в настоящее время является дополнительным диагностическим инструментом, позволяющим выявить сердечную недостаточность с сохраненной фракцией выброса (СНсФВ) у пациентов с фракцией выброса (ФВ) ЛЖ≥ 50%, даже при отсутствии симптомов в покое [3]. Перспективы рационального использования трансторакальной эхокардиографии покоя и диастолического стресс-теста у хирургических пациентов мы обсудим в этой статье.

 Определение критериев высокого риска периоперационного повреждения миокарда является сложной задачей, поскольку почти половина всех осложнений отмечается у пациентов, исходно не рассматриваемых как группа высокого риска или даже без диагностированных ранее заболеваний сердца [4]. Современные рекомендации по оценке сердечно-сосудистого риска у хирургических пациентов традиционно основаны на исключении активных или прогрессирующих изменений структуры миокарда и внутрисердечных структур, определении риска самой операции, функциональных возможностей пациента и наличия сопутствующих факторов риска [5].  Трансторакальная эхокардиография рассматривается европейскими и американскими экспертами как основной диагностический метод у пациентов высокого риска [5,6]. Особенность протокола эхокардиографического обследования у пациентов перед плановым внесердечным хирургическим вмешательством заключается в том, что это не скрининговый подход к рутинной ультразвуковой оценке всех показателей. Это прицельное углубленное исследование, направленное на выявление потенциальных эхокардиографических маркеров возможного риска развития осложнений в условиях большой операции, ассоциированной с эндотрахеальной анестезией, активацией симпатоадреналовой системы, активной внутривенной инфузией в рамках восполнения объема циркулирующей крови при кровопотере, синдромом системного воспалительного ответа и т.д. Поэтому, протокол эхокардиографического исследования у пациентов перед внесердечным хирургическим вмешательством высокого риска должен максимально подробно отражать параметры гемодинамики, особенно у ранее необследованных пациентов, пациентов старшей возрастной группы, пациентов с коморбидной патологией. Текущие рекомендации регламентируют обязательное проведение предоперационной трансторакальной эхокардиографии у следующих категорий плановых хирургических больных:

* с одышкой неизвестного происхождения или недавним усилением симптомов сердечной недостаточности, или прогрессирующего снижения толерантности к физической нагрузке;
* с целью оценки клапанного аппарата у пациентов с шумами различных градаций;
* у пациентов после открытых, малоинвазивных и рентгенэндоваскулярных вмешательств на сердце [5,6].

Также эхокардиография рекомендована в качестве метода выбора для оценки риска периоперационных осложнений у лиц с исходным средним и высоким риском сердечно-сосудистых периоперационных осложнений при вмешательствах высокого риска [7]. При трансторакальном ультразвуковом исследовании можно получить полную информацию о миокардиальной дисфункции, поражении клапанного аппарата, наличии нарушений внутрисердечной гемодинамики и нарушениях регионарной сократимости миокарда [8].  Тем не менее, клинические данные относительно пользы предоперационной эхокардиографии при рутинном использовании метода для оценки предоперационного риска ограничены.  В некоторых работах высказано предположение, что информация, полученная при трансторакальном эхокардиографическом исследовании, не имеет дополнительной прогностической ценности, а в одном популяционном когортном исследовании было указано, что проведение предоперационной эхокардиографии и полученные в ходе исследования данные никак не были связаны с улучшением выживаемости [9,10]. Некоторые исследования показали, что специфические предоперационные параметры эхокардиографии, в том числе показатели систолической и диастолической функции, могут служить маркерами послеоперационных осложнений [11-13]. В то же время, есть данные ряда исследований, в которых не было обнаружено статистически значимой связи между фракцией выброса левого желудочка и послеоперационными исходами [14].  В настоящее время доказано, что не следует рассматривать лиц с сохраненной фракцией выброса как пациентов с низким риском периоперационных осложнений, поскольку риск послеоперационной декомпенсации сердечной недостаточности, специфических серьезных нежелательных явлений, возникает при любом показателе фракции выброса, включая значения более 50% [15]. Вероятно, именно поэтому было отмечено, что пациенты с СНсФВ и диастолической дисфункцией более предрасположены к эпизодам гемодинамической нестабильности во время хирургического вмешательства [16]. Изменение давления наполнения у пациентов с диастолической дисфункцией может быть результатом вентиляции с положительным давлением, снижения венозного возврата и нарушенной сократительной способности предсердий [17]. Имеются данные о различном влиянии анестезирующих средств на параметры диастолической функции левого желудочка [18]. Следовательно, важным и необходимым аспектом предоперационного трансторакального эхокардиографического исследования является подробная оценка параметров диастолического наполнения. Симптомы, ассоциированные с сердечной недостаточностью (СН), не всегда могут быть подтверждены эхокардиографическими показателями в покое. У типичного пожилого пациента с множественными сопутствующими заболеваниями, наличие или отсутствие структурных и / или функциональных нарушений в покое не всегда позволяют исключить диагноз СНсФВ. У пациентов со структурными изменениями ЛЖ (увеличенный индекс массы миокарда ЛЖ и\или увеличенный индексированный объем левого предсердия), но с нормальными показателями давления наполнения (Е\е’≤ 14) в покое, рекомендовано выполнение стресс теста для выявления показателей диастолического наполнения ЛЖ при нагрузке (диастолический стресс-тест) [19]. Этот метод позволяет также провести дифференциальный диагноз одышки при физической нагрузке у пациентов с заболеваниями сердца и внесердечными причинами одышки.  Нарушение релаксации является одним из самых ранних проявлений диастолической дисфункции ЛЖ [[2](https://link.springer.com/article/10.1007/s11886-019-1187-8#ref-CR1)]. Релаксационные свойства постепенно снижаются при старении, ожирении, сахарном диабете, артериальной гипертензии. У большинства людей с нарушением релаксации нет симптомов или признаков СН в состоянии покоя [[20](https://link.springer.com/article/10.1007/s11886-019-1187-8#ref-CR2)]. Тем не менее, одышка при физической нагрузке и неудовлетворительная переносимость физических нагрузок часто встречаются у этих пациентов, и поэтому нарушение релаксации ЛЖ часто является латентным предшественником явной сердечной недостаточности [21]. Диагностика повышения давления диастолического наполнения в этой группе пациентов является сложной задачей и основывается на выявлении повышения этих показателей, которые в покое могут соответствовать нормальным значениям, с помощью эргометрического тестирования [[22](https://link.springer.com/article/10.1007/s11886-019-1187-8#ref-CR3)]. Валидированным прямым методом оценки давления наполнения ЛЖ при физической нагрузке является гемодинамическая катетеризация сердца [ [23](https://link.springer.com/article/10.1007/s11886-019-1187-8#ref-CR4)]. Этот метод имеет очевидное ограничение за счет технической сложности исполнения, но несколько исследований показали хорошую корреляцию между эхокардиографическим показателем отношения ранней диастолической трансмитральной скорости (E) к ранней диастолической скорости митрального кольца (e') и инвазивно измеренным давлением наполнения ЛЖ как в покое, так и при физической нагрузке.  Более того, появляется все больше доказательств того, что диастолическая стресс-эхокардиография предоставляет важные диагностические данные, которые могут быть полезны при ведении малосимптомных пациентов и лиц с одышкой неясной этиологии [ [24](https://link.springer.com/article/10.1007/s11886-019-1187-8#ref-CR5)]. В связи с увеличением числа исследований, посвященных валидации параметров гемодинамики и их прогностическом значении, в руководствах различных обществ были представлены положительные рекомендации в отношении использования диастолической стресс-эхокардиографии с акцентом на демонстрацию повышения давления наполнения ЛЖ и расчетного систолического давления в легочной артерии [ [25](https://link.springer.com/article/10.1007/s11886-019-1187-8#ref-CR6) ]. У пациентов с неизмененной диастолической функцией, наполнение ЛЖ при нагрузке увеличивается без значительного увеличения давления. У здоровых людей с нормальной релаксацией миокарда было показано, что ранняя диастолическая трансмитральная скорость (E) и ранняя диастолическая скорость митрального кольца (e'), пропорционально увеличиваются во время тренировки, что приводит к неизменному соотношению показателя давления наполнения ЛЖ-E/e′ [ [26](https://link.springer.com/article/10.1007/s11886-019-1187-8#ref-CR7) , [27](https://link.springer.com/article/10.1007/s11886-019-1187-8#ref-CR8) ]. Во время физической нагрузки у здоровых людей усиливается раскручивание ЛЖ, и раннее диастолическое наполнение поддерживает или увеличивает ударный объем несмотря на укорочение времени наполнения и без нарастания давления наполнения ЛЖ. У пациентов с СНсФВ за счет нарушения раннего диастолического расслабления уменьшается наполнение ЛЖ, и плохая податливость ЛЖ приводит к неадекватному увеличению ударного объема при физической нагрузке, что приводит к увеличению давления наполнения ЛЖ. У пациентов с диастолической дисфункцией скорость e’ митрального кольца, которая отражает степень расслабления миокарда, уменьшается в покое и не увеличивается при физической нагрузке в той же степени, что и у нормальных людей, тогда как скорость митрального E увеличивается из-за повышенного наполнения ЛЖ в покое.  [[28](https://link.springer.com/article/10.1007/s11886-019-1187-8#ref-CR9) ]. Многие пациенты с СНсФВ имеют симптомы, главным образом, при физической нагрузке, которые обусловлены увеличением давления наполнения ЛЖ. Получение эхокардиографических данных во время физической нагрузки позволяет в полной мере оценить диастолическую функцию ЛЖ. Было показано, что дополнительная оценка Е\е’ при физической нагрузке в процессе диастолического стресс-теста значительно улучшило диагностическую точность для выявления СНсФВ [29-31]. Критерием положительного диастолического стресс-теста является индуцированное увеличение Е/e’ более 14. Тест обычно проводится без отмены лекарственных препаратов. Если пациент использует ингаляционные короткодействующие бета-агонисты, не рекомендуется их использовать менее, чем за 3 часа до нагрузочного теста.

Первый этап диастолического стресс- теста (ДСТ) заключается в сжатом эхокардиографическом исследовании покоя, при котором оцениваются:

* Е\е’,
* Систолическое давление в легочной артерии (СДЛА), мм рт ст,
* Индекс конечного систолического объема левого предсердия (ИКСО ЛП), мл\м2,
* ФВ ЛЖ (%).

Второй этап представляет собой непосредственно тестирование на велоэргометре. Исследование проводится под контролем параметров центральной гемодинамики: артериального давления (АД), частоты сердечных сокращений (ЧСС). Начинается исследование с педалирования со скоростью не менее 60 оборотов в минуту при начальной нагрузке 50 Ватт (для лиц моложе 75 лет) и 25 Ватт (для лиц старше 75 лет). Каждая ступень нагрузки длится 3 минуты (180 секунд), по истечении которых происходит ее увеличение на 25 Ватт. При достижении ЧСС 100 ударов в минуту эргометрия продолжается в течение 3 минут без увеличения нагрузки. Далее в процессе и\или в течение 5 минут после остановки теста оцениваются пороговые значения, в настоящее время известные только для нехирургической популяции пациентов с СН без указания фенотипа:

* Е\е’ (пороговое значение >14),
* СДЛА, мм рт ст (пороговое значение > 50),
* ИКСО ЛП, мл\м2, (пороговое значение >34)
* ФВ ЛЖ (%) (нет точных данных по пороговому значению).

Критерием прекращения пробы является полностью выполненная нагрузка в течение 3-х минут после достижения ЧСС=100 ударов в минуту при стабильных условиях выполнения эргометрии. Отказ от продолжения тестирования, снижение САД менее чем на 20 мм рт. cт. от исходного или повышение выше 220 мм рт ст, появление симптомной аритмии, одышки, которая не позволяет продолжить исследование, боли в нижних конечностях являются критериями досрочной остановки пробы. Эхокардиографический диастолический стресс-тест также имеет ограничения. Было показано, что E/e’ не поддается измерению примерно у 10% испытуемых, около 20% тестов считались ложноположительными. Но в случае сомнительных данных в покое, рекомендуется провести провести диастолический гемодинамический стресс-тест, особенно если клиническое решение зависит от его результата [32].

Связь между патологическим повышением E/e ' при физической нагрузке и неблагоприятными исходами имеет важное клиническое значение. Holland и соавт. наблюдали 522 пациента, которым была выполнена эхокардиография с диастолическим стресс-тестом [ [33](https://link.springer.com/article/10.1007/s11886-019-1187-8#ref-CR26)]. При среднем периоде наблюдения 13,2 месяца пациенты с изолированным повышением E/e' при нагрузке и изолированными симптомами ишемии имели сходный прогноз.  Luong и соавт. была исследована прогностическая ценность результатов диастолического стресс-теста в большой регистрационной когорте из 14 446 пациентов, которым была выполнена нагрузочная эхокардиография по поводу известной или подозреваемой ишемической болезни сердца. Повышение Е\е′ было сильным предиктором смертности от всех причин, независимо от наличия ишемии, возраста и анамнеза одышки при физической нагрузке.  Кроме того, у пациентов с повышением Е\е’ после эргометрии риск внезапной смерти был вдвое выше, чем у людей с нормальным давлением наполнения при физической нагрузке [34].

Верификация диастолической дисфункции у пациентов перед внесердечными хирургическими вмешательствами имеет важное значение. Так, в работе Toda и соавт. было показано, что диастолическая дисфункция является предиктором периоперационного миокардиального повреждения [35]. В исследовании Cabrera Schulmeyer было показано, что что тканевой допплеровский индекс E/e' может быть полезным показателем для прогнозирования патологических событий после внесердечной операции. Кроме того, было отмечено, что пациентам с повышенным предоперационным E/e' может потребоваться более дополнительно послеоперационное лечение [36]. Неинвазивное стресс-тестирование в настоящее время широко распространено в аспекте внесердечных оперативных вмешательств. На основе действующих клинических рекомендаций, врачи могут использовать неинвазивное стресс-тестирование у пациентов, которым планируется вмешательство высокого риска или со сниженным, или неизвестным статусом функциональной активности [37]. Вопрос о целесообразности стресс-теста, целью которого является оценка ишемических нарушений, является предметом дискуссии. Неизбирательное рутинное плановое стресс-тестирование может привести к дальнейшему ненужному обследованию, включая дополнительное медицинское лечение, дорогостоящие инвазивные процедуры, которые могут задержать запланированную хирургическую процедуру или, возможно, увеличить частоту периоперационных нежелательных явлений [37]. Был проведен крупнейший мета-анализ по проблеме стресс-тестирования перед внесердечными хирургическими операциями, который оставил больше вопросов, чем ответов о целесообразности этого метода в указанном аспекте. Во-первых, из 40 исследований, 36 были проведены без группы сравнения, что свидетельствует о низком методологическом качестве. Во-вторых, по данным этого мета-анализа, риск 30-ти дневной послеоперационной смертности, связанный с положительными результатами стресс-теста по сравнению с отрицательными результатами предоперационного теста, не дал статистически значимых различий. В-третьих, из 1807 исследований, рассмотренных для этого анализа, 485 (26,8%) были исключены, поскольку они не оценивали такие тяжелые исходы, как смертность, частота возникновения инфаркта миокарда или частота сердечной недостаточности. Поэтому, вывод этого метаанализа был такой, что, несмотря на значительный интерес и исследования, проведенные за последние 40 лет для прогнозирования 30-дневного риска смертности среди пациентов, перенесших внесердечные оперативные вмешательства, имеющихся данных недостаточно для того, чтобы сделать окончательное заключение о том, приводит ли стресс-тестирование к улучшению оценки периоперационного риска [38]. Все эти исследования изучали стресс-тест для индуцированной ишемии миокарда. Данных по использованию диастолического стресс-теста для оценки периоперационного риска перед внесердечными хирургическими вмешательствами в настоящее время пока нет. И мы считаем перспективным и важным продолжение исследовательских работ в этом направлении, которые будут включать не только пациентов с ишемической болезнью сердца, но и другие категории кардиологических пациентов, в частности, коморбидных и малосимптомных лиц перед плановыми хирургическими вмешательствами высокого риска.

**Заключение.**

Учитывая возможности диастолического стресс-тестирования у пациентов с СНсФВ, следует предположить потенциальную пользу этого метода перед внесердечными хирургическими вмешательствами для более точной стретификации сердечно-сосудистого риска. Включение простых измерений при физической нагрузке позволит обеспечить соответствующую дополнительную диагностическую информацию. То, что неинвазивное диастолическое стресс-тестирование также можно выполнить с любым типом эргометров (велоэргометр, тредмил, ручной эргометр) открывает еще большие перспективы для широкого клинического применения. Особенной ценностью для пациентов перед внесердечными хирургическими вмешательствами является то, что диастолическое стресс-тестирование имеет клиническую значимость у пациентов с одышкой неясной этиологии и у коморбидных пациентов, не имеющих симптомов в покое. Поэтому необходимы дальнейшие наблюдательные исследования, которые позволят оценить прогностическую ценность диастолического стресс-теста у пациентов перед внесердечными хирургическими вмешательствами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Lombardi C, Sbolli M, Cani D, Masini G, Metra M, Faggiano P. Preoperative Cardiac Risks in Noncardiac Surgery: The Role of Coronary Angiography Monaldi Arch Chest Dis. 2017 Jul 18;87(2):863. doi: 10.4081/monaldi.2017.863.
2. Kane GC, Karon BL, Mahoney DW, Redfield MM, Roger VL, Burnett JC, et al. Progression of left ventricular diastolic dysfunction and risk of heart failure. JAMA. 2011;306(8):856–63.
3. Sanders D, Dudley M, Groban L. Diastolic dysfunction, cardiovascular aging, and the anesthesiologist. Anesthesiol Clin. 2009;27:497–517.
4. Kusunose K, Torii Y, Yamada H, Nishio S, Hirata Y, Saijo Y, Ise T, Yamaguchi K, Fukuda D, Yagi S, Soeki T, Wakatsuki T, Sata M. Association of Echocardiography Before Major Elective Non-Cardiac Surgery With Improved Postoperative Outcomes　- Possible Implications for Patient Care. Circ J. 2019 Nov 25;83(12):2512-2519. doi: 10.1253/circj.CJ-19-0663.
5. Kristensen SD, Knuuti J, Saraste A, Anker S, Bøtker HE, Hert SD, et al. 2014 ESC/ESA guidelines on non-cardiac surgery: Cardiovascular assessment and management: The Joint Task Force on non-cardiac surgery: Cardiovascular assessment and management of the European society of cardiology (ESC) and the European society of anaesthesiology (ESA) Eur Heart J. 2014;35:2383–431.
6. Eagle KA, Berger PB, Calkins H, Chaitman BR, Ewy GA, Fleischmann KE, et al. ACC/AHA guideline update for perioperative cardiovascular evaluation for noncardiac surgery update: A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on practice guidelines (committee to update the 1996 guidelines on perioperative cardiovascular evaluation for noncardiac surgery) J Am Coll of Cardiol. 2002;39:542–53.
7. Wijeysundera DN, Beattie WS, Karkouti K, Neuman MD, Austin PC, Laupacis A. Association of echocardiography before major elective non-cardiac surgery with postoperative survival and length of hospital stay: Population based cohort study. BMJ 2011; 342: d3695.
8. Douglas PS, Garcia MJ, Haines DE, Lai WW, Manning WJ, Patel AR, et al. ACCF/ASE/AHA/ASNC/HFSA/HRS/SCAI/SCCM/SCCT/SCMR 2011 appropriate use criteria for echocardiography: A Report of the American College of Cardiology Foundation Appropriate Use Criteria Task Force, American Society of Echocardiography, American Heart Association, American Society of Nuclear Cardiology, Heart Failure Society of America, Heart Rhythm Society, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, Society of Critical Care Medicine, Society of Cardiovascular Computed Tomography, Society for Cardiovascular Magnetic Resonance American College of Chest Physicians. J Am Soc Echocardiogr 2011; 24: 229–267.
9. Wijeysundera DN, Austin PC, Beattie WS, Hux JE, Laupacis A. Outcomes and processes of care related to preoperative medical consultation. Arch Intern Med 2010; 170: 1365–1374.
10. Wijeysundera DN, Beattie WS, Karkouti K, Neuman MD, Austin PC, Laupacis A. Association of echocardiography before major elective non-cardiac surgery with postoperative survival and length of hospital stay: Population based cohort study. BMJ 2011; 342: d3695.
11. Flu WJ, van Kuijk JP, Hoeks SE, Kuiper R, Schouten O, Goei D, et al. Prognostic implications of asymptomatic left ventricular dysfunction in patients undergoing vascular surgery. Anesthesiology 2010; 112: 1316–1324.
12. Shillcutt SK, Markin NW, Montzingo CR, Brakke TR. Use of rapid “rescue” perioperative echocardiography to improve outcomes after hemodynamic instability in noncardiac surgical patients. J Cardiothorac Vasc Anesth 2012; 26: 362–370.
13. Toda H, Nakamura K, Nakagawa K, Watanabe A, Miyoshi T, Nishii N, et al. Diastolic dysfunction is a risk of perioperative myocardial injury assessed by high-sensitivity cardiac troponin T in elderly patients undergoing non-cardiac surgery. Circ J 2018; 82: 775–782.
14. Levitan EB, Graham LA, Valle JA, Richman JS, Hollis R, Holcomb CN, et al. Pre-operative echocardiography among patients with coronary artery disease in the United States Veterans Affairs healthcare system: A retrospective cohort study. BMC Cardiovasc Disord 2016; 16: 173.
15. Smilowitz NR, Redel-Traub G, Hausvater A, Armanious A, Nicholson J, Puelacher C, Berger JS. Myocardial Injury After Noncardiac Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis. Cardiol Rev. 2019 Nov/Dec;27(6):267-273. doi: 10.1097/CRD.0000000000000254.
16. Thomas JD, Newell JB, Choong CY, Weyman AE. Physical and physiological determinants of transmitral velocity: Numerical analysis. Am J Physiol. 1991;260:H1718–31. Rooke GA. Cardiovascular aging and anesthetic implications. J Cardiothorac Vasc Anesth. 2003;17:512–23.
17. Couture P, Denault AY, Shi Y, Deschamps A, Cossette M, Pellerin M, et al. Effects of anesthetic induction in patients with diastolic dysfunction. Can J Anaesth. 2009;56:357–65.
18. Sarkar S, Guha BR, Rupert E. Echocardiographic evaluation and comparison of the effects of isoflurane, sevoflurane and desflurane on left ventricular relaxation indices in patients with diastolic dysfunction. Ann Card Anaesth. 2010;13:130–7.
19. Pieske B, Tschöpe C, de Boer RA et al. How to diagnose heart failure with preserved ejection fraction: the HFA–PEFF diagnostic algorithm: a consensus recommendation from the Heart Failure Association (HFA) of the European Society of Cardiology (ESC), European Heart Journal (2019) 00, 1–21 CLINICAL RESEARCH doi:10.1093/eurheartj/ehz641.
20. Redfield MM, Jacobsen SJ, Burnett JC Jr, Mahoney DW, Bailey KR, Rodeheffer RJ. Burden of systolic and diastolic ventricular dysfunction in the community: appreciating the scope of the heart failure epidemic. Jama. 2003;289(2):194–202.
21. Andersen MJ, Olson TP, Melenovsky V, Kane GC, Borlaug BA. Differential hemodynamic effects of exercise and volume expansion in people with and without heart failure. Circ Heart Fail. 2015;8(1):41–8.
22. Maron BA, Cockrill BA, Waxman AB, Systrom DM. The invasive cardiopulmonary exercise test. Circulation. 2013;127(10):1157–64.
23. Holland DJ, Prasad SB, Marwick TH. Contribution of exercise echocardiography to the diagnosis of heart failure with preserved ejection fraction (HFpEF). Heart. 2010;96(13):1024–8.
24. Nagueh SF, Smiseth OA, Appleton CP, Byrd BF, Dokainish H, Edvardsen T, et al. Recommendations for the evaluation of left ventricular diastolic function by echocardiography: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. Eur J Echocardiogr. 2016;17(12):1321–60.
25. Ha J-W, Oh JK, Pellikka PA, Ommen SR, Stussy VL, Bailey KR, et al. Diastolic stress echocardiography: a novel noninvasive diagnostic test for diastolic dysfunction using supine bicycle exercise Doppler echocardiography. J Am Soc Echocardiogr. 2005;18(1):63–8.
26. Bruengger AAS, Kaufmann BA, Buser M, Hoffmann M, Bader F, Bernheim AM. Diastolic stress echocardiography in the young: a study in nonathletic and endurance-trained healthy subjects. J Am Soc Echocardiogr. 2014;27(10):1053–9.
27. Ommen SR, Nishimura R, Appleton CP, Miller F, Oh JK, Redfield MM, et al. Clinical utility of Doppler echocardiography and tissue Doppler imaging in the estimation of left ventricular filling pressures: a comparative simultaneous Doppler-catheterization study. Circulation. 2000;102(15):1788–94.
28. Mitter SS, Shah SJ, Thomas JD. A test in context: E/A and E/e′ to assess diastolic dysfunction and LV filling pressure. J Am Coll Cardiol. 2017;69(11):1451–64.
29. Andersen OS, Smiseth OA, Dokainish H, Abudiab MM, Schutt RC, Kumar A, et al. Estimating left ventricular filling pressure by echocardiography. J Am Coll Cardiol. 2017;69(15):1937–48.
30. Borlaug BA. The pathophysiology of heart failure with preserved ejection fraction. Nat Rev Cardiol. 2014;11(9):507–15.
31. Burgess MI, Jenkins C, Sharman JE, Marwick TH. Diastolic stress echocardiography: hemodynamic validation and clinical significance of estimation of ventricular filling pressure with exercise. J Am Coll Cardiol. 2006;47(9):1891–900.
32. Obokata M, Kane GC, Reddy YN, Olson TP, Melenovsky V, Borlaug BA. Role of diastolic stress testing in the evaluation for heart failure with preserved ejection fraction: a simultaneous invasive-echocardiographic study. Circulation. 2017;135(9):825–38. Findings from this study suggests that adding exercise E/e′ data improves sensitivity and negative predictive value but compromises specificity, implying that exercise echocardiography may help rule out HFpEF.
33. Holland DJ, Prasad SB, Marwick TH. Prognostic implications of left ventricular filling pressure with exercise. Circ Cardiovasc Imaging. 2010;3(2):149–56.
34. Luong C PR, Oh J, Pellikka P, McCully R, Kane G. Assessment of left ventricular filling pressure with exercise is independently associated with all-cause mortality in a cohort of 14,446 patients American Society of Echocardiography Scientific Sessions, to be presented in Portland, Oregon June 23, 2019. 2019.
35. Toda H., Nakamura K. , Nakagawa K. et al., Diastolic Dysfunction Is a Risk of Perioperative Myocardial Injury Assessed by High-Sensitivity Cardiac Troponin T in Elderly Patients Undergoing Non-Cardiac Surgery Circ J. 2018 Feb 23;82(3):775-782. doi: 10.1253/circj.CJ-17-0747.
36. Cabrera Schulmeyer MC, Arriaza N. Good Prognostic Value of the Intraoperative Tissue Doppler-derived Index E/e' After Non-Cardiac SurgeryMinerva Anestesiol. 2012 Sep;78(9):1013-8. Epub 2012 Jun 14.
37. Mallidi J, Penumetsa S, Friderici JL, Saab F, Rothberg MB. The effect of inpatient stress testing on subsequent emergency department visits, readmissions, and costs. J Hosp Med. 2013;8(10):564–8. Epub 2013/10/09. 10.1002/jhm.2081 .
38. Bindu Kalesan 1, Heidi Nicewarner 2, Sunny Intwala 2, Christopher Leung 2, Gary J Balady 2.PLoS One Pre-operative Stress Testing in the Evaluation of Patients Undergoing Non-Cardiac Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis. 2019 Jul 11;14(7):e0219145. doi: 10.1371/journal.pone.0219145.