

Устойчивость динамического режима как критерий доброкачественности аритмий

Смокотина О.Ф. — независимый исследователь, Красноярск.

Цыкина Д.В. — Сибирский федеральный университет, Красноярск.

Аннотация

Многие нарушения ритма, выглядящие патологическими на ЭКГ, на самом деле являются устойчивыми и безопасными динамическими режимами. Отсутствие количественных критериев для различения доброкачественных и опасных аритмий приводит к гипердиагностике и неоправданному назначению антиаритмических препаратов, которые сами обладают проаритмогенным действием. В статье предлагается динамический подход: доброкачественные аритмии рассматриваются как устойчивые режимы, для которых динамические показатели (λ_1 , D_2 , SampEn, параметры выбросов) стабильны во времени. Напротив, опасные аритмии характеризуются направленным трендом этих показателей, указывающим на приближение бифуркации. Рассмотрены конкретные примеры: дыхательная аритмия, ночная брадикардия, одиночные мономорфные экстрасистолы, миграция водителя ритма, контролируемая фибрилляция предсердий, устойчивая AV-блокада III степени. Предложен проект диагностического алгоритма, основанного на различении устойчивости и нестабильности динамического режима.

Ключевые слова: доброкачественные аритмии, гипердиагностика, устойчивость аттрактора, антиаритмики, критическое замедление, динамические показатели.

1. Введение: проблема гипердиагностики

Современная кардиология располагает мощными средствами диагностики нарушений ритма. Холтеровское мониторирование, позволяющее регистрировать каждое сердечное сокращение в течение суток, выявляет аритмии у значительной части пациентов, в том числе у совершенно здоровых людей. Однако возможность зарегистрировать аритмию не означает необходимость её лечить.

Многие нарушения ритма, выглядящие «неправильно» на ЭКГ, на самом деле являются устойчивыми и безопасными динамическими режимами. Врач, не имея количественных критериев для различения доброкачественной вариабельности и предопасной нестабильности, нередко назначает антиаритмические препараты «на всякий случай». Парадокс заключается в том, что антиаритмики сами обладают проаритмогенным действием — они могут дестабилизировать устойчивый режим и спровоцировать опасную аритмию. Крупнейшее исследование CAST (Cardiac Arrhythmia Suppression Trial, 1989 [4]) показало, что подавление желудочковых экстрасистол антиаритмиками у постинфарктных больных не снижало, а повышало смертность.

Таким образом, клиническая проблема состоит не только в диагностике опасных аритмий, но и в распознавании безопасных. Для этого необходимы количественные критерии устойчивости динамического режима. Настоящая статья предлагает такие критерии на основе теории динамических систем.

2. Устойчивость и нестабильность: динамические критерии

В рамках динамической классификации аритмий (Смокотина, 2026 [1]) сердечный ритм рассматривается как аттрактор динамической системы. Норма — квазипериодический аттрактор с вариабельностью. Фибрилляция предсердий — странный аттрактор низкой размерности. Желудочковая фибрилляция — хаос высокой размерности. Каждый из этих режимов может быть как устойчивым, так и приближающимся к бифуркации.

Ключевое различие между доброкачественным и опасным режимом — не абсолютное значение динамических показателей, а их стабильность во времени. Устойчивый режим характеризуется стационарностью показателей: они флуктуируют, но не демонстрируют направленного тренда. Опасный режим характеризуется направленным изменением: показатели систематически растут или падают, указывая на приближение к порогу бифуркации.

На основе ранее введённых параметров (Смокотина, 2026 [1]; Смокотина, Цыкина, 2026 [2]) предлагаются следующие критерии устойчивости.

Показатель Ляпунова (λ_1). В устойчивом (доброкачественном) режиме λ_1 стабилен во времени. В нестабильном (предопасном) — растёт.

Корреляционная размерность (D_2). В устойчивом режиме D_2 стабильна. В нестабильном — растёт, что указывает на усложнение системы.

Выборочная энтропия (SampEn). В устойчивом режиме стабильна. В нестабильном — растёт.

Частота выбросов (f). В устойчивом режиме стабильна или снижается. В нестабильном — растёт.

Амплитуда выбросов (A). В устойчивом режиме низкая и стабильная. В нестабильном — растёт.

Время возврата (τ). В устойчивом режиме мало и стабильно. В нестабильном — растёт, что является признаком критического замедления (critical slowing down).

Направленный тренд. В устойчивом режиме отсутствует. В нестабильном — присутствует.

Принципиально важно, что ни один из этих критериев не является абсолютным порогом. Доброкачественность определяется не тем, что D_2 ниже некоторого значения, а тем, что D_2 не меняется со временем. Это смещает фокус с однократного измерения на мониторинг динамики. Количественные пороги для различения стабильности и значимого тренда не установлены и требуют калибровки на клинических данных.

3. Примеры доброкачественных аритмий

3.1. Дыхательная аритмия

Клиническая картина. Выраженная нерегулярность ритма, синхронная с дыханием: на выдохе частота сердечных сокращений увеличивается, на выдохе — уменьшается.

Особенно заметна у молодых людей и спортсменов. Нередко пугает пациентов и молодых врачей, впервые видящих такую ЭКГ.

Динамическая интерпретация. Дыхательная аритмия — не патология, а признак здоровой variability. Это квазипериодический аттрактор с внешней модуляцией (дыхание). Спектр ритма сохраняет характер $1/f$ (Goldberger et al., 1990 [5]), энтропия не растёт, тренд показателей отсутствует. Система устойчива.

Критерии безопасности. Сохранение $1/f$ -спектра, стабильность энтропии, отсутствие направленного тренда, отсутствие выбросов с большой амплитудой A .

Клиническая импликация. Назначение антиаритмиков для «выравнивания» ритма не показано: это подавит здоровую variability и может ухудшить прогноз.

3.2. Ночная брадикардия

Клиническая картина. Урежение пульса до 40–50 ударов в минуту во время сна. У молодых людей и тренированных спортсменов — вариант нормы. Нередко становится случайной находкой при холтеровском мониторинге.

Динамическая интерпретация. Это периодический аттрактор с низкой частотой, но устойчивый. Частота стабильна от ночи к ночи, паузы не превышают физиологических значений (менее 2 секунд), признаки бифуркации отсутствуют.

Критерии безопасности. Стабильность частоты при повторных измерениях, отсутствие пауз > 3 сек, отсутствие выбросов.

Клиническая импликация. Имплантация кардиостимулятора при бессимптомной ночной брадикардии с паузами менее 3 секунд не показана.

3.3. Одиночные мономорфные экстрасистолы

Клиническая картина. Редкие (менее 100 в час) экстрасистолы одного типа у бессимптомного пациента. Часто обнаруживаются случайно. По градации Лауна-Вольфа относятся к низким классам (I–II).

Динамическая интерпретация. Это выбросы малой амплитуды с быстрым возвратом: $A < 2$, $\tau < 3$ сокращений. Частота выбросов f стабильна или снижается при повторных измерениях. Аттрактор устойчив. Согласно гипотезе об адаптационной роли экстрасистол (Смокотина, 2026 [6]), такие выбросы могут выполнять стабилизирующую функцию: они сглаживают динамическую нагрузку на аттрактор, предотвращая накопление критического возбуждения.

Критерии безопасности. $A < 2$, $\tau < 3$, f стабильна или снижается, отсутствие групповых экстрасистол, отсутствие тренда к росту любого из параметров.

Клиническая импликация. Назначение антиаритмиков при бессимптомных редких мономорфных экстрасистолах у пациентов без структурного заболевания сердца не показано. Подавление таких экстрасистол может разрушить компенсаторный механизм и ухудшить прогноз [6].

3.4. Миграция водителя ритма

Клиническая картина. Изменение формы зубца Р от сокращения к сокращению, небольшая нерегулярность ритма. Часто встречается у молодых людей и спортсменов. Иногда ошибочно принимается за предсердную аритмию.

Динамическая интерпретация. Это квазипериодический аттрактор с модуляцией источника ритма. Не хаос, а сложная регулярность: водитель ритма перемещается в пределах синусового узла, но система остаётся устойчивой.

Критерии безопасности. Сохранение $1/f$ -спектра (Goldberger et al., 1990 [5]), отсутствие выбросов с большой А, стабильность энтропии.

Клиническая импликация. Подавление миграции антиаритмиками не показано.

3.5. Фибрилляция предсердий с контролируемым ритмом у пожилых

Клиническая картина. Постоянная форма фибрилляции предсердий, частота желудочкового ответа в пределах нормы (60–90 в минуту), пациент адаптирован и не предъявляет жалоб.

Динамическая интерпретация. Хотя фибрилляция предсердий классифицируется как странный аттрактор (патологический режим) [1], при постоянной форме и контролируемом желудочковом ответе она может быть устойчивым режимом, не требующим вмешательства. Попытка восстановить синусовый ритм (медикаментозная или электрическая кардиоверсия) способна дестабилизировать систему: после восстановления синусового ритма возможен рецидив фибрилляции или переход в более опасный режим.

Критерии безопасности. Стабильность D_2 и SampEn при повторных измерениях, отсутствие тренда, контролируемая частота желудочкового ответа.

Клиническая импликация. Настойчивое восстановление синусового ритма у пожилых бессимптомных пациентов с постоянной формой фибрилляции предсердий при контролируемом ритме не показано.

3.6. AV-блокада III степени: устойчивость как ориентир для тактики

Клиническая картина. Полная AV-блокада с устойчивым желудочковым замещающим ритмом (частота 32–50 в минуту). В отдельных случаях пациент может быть адаптирован к такому режиму в течение длительного времени, иногда месяцев, не подозревая о блокаде.

Динамическая интерпретация. В терминах модели нарушений проводимости (Смокотина, Цыкина, 2026 [3]) это режим двух независимых, но устойчивых осцилляторов. Предсердия и желудочки работают в собственных ритмах, отношение частот R стабильно. Система не демонстрирует тренда к дестабилизации: нет пауз > 3 сек, нет эпизодов желудочковой тахикардии, гемодинамика стабильна.

Критерии устойчивости. Стабильность R при повторных измерениях, отсутствие пауз > 3 сек, отсутствие эпизодов желудочковой тахикардии, стабильность гемодинамики.

Клинический контекст. Распространённая практика при госпитализации с полной AV-блокадой — установка временного кардиостимулятора на период до имплантации постоянного устройства. Нередко временный стимулятор устанавливается даже в ситуации, когда пациент поступает вечером, а плановая имплантация постоянного устройства назначена на следующее утро. Эта мера направлена на предотвращение внезапного ухудшения в течение нескольких часов ожидания. Однако если пациент находился в данном режиме недели или месяцы до госпитализации, риск внезапной дестабилизации в ближайшие часы может быть сопоставим с рисками самого временного стимулятора (инфекция, перфорация, пневмоторакс, смещение электрода, тромбоз). С динамической точки зрения, замена устойчивого естественного режима искусственной стимуляцией является возмущением системы. Количественная оценка устойчивости режима по предложенным критериям могла бы помочь в стратификации риска и принятии решения о необходимости временной стимуляции в каждом конкретном случае, однако такой подход требует валидации в клинических исследованиях.

4. Проект диагностического алгоритма

На основе предложенных критериев может быть построен диагностический алгоритм для различения доброкачественных и потенциально опасных аритмий.

Шаг 1. Холтеровское мониторирование (24–48 часов) или длительное амбулаторное мониторирование.

Шаг 2. Вычисление динамических показателей (λ_1 , D_2 , SampEn) и параметров выбросов (A , τ , f) по зарегистрированной записи.

Шаг 3. Сравнение с известными паттернами доброкачественных режимов (раздел 3). Если запись соответствует одному из описанных профилей — наблюдение.

Шаг 4. Если профиль не соответствует ни одному из доброкачественных — оценка тренда показателей. При наличии направленного тренда (рост энтропии, увеличение частоты выбросов, рост времени возврата) — углублённое обследование.

Шаг 5. При отсутствии тренда, но несоответствии доброкачественным профилям — наблюдение в динамике с повторным мониторированием.

Ключевое преимущество алгоритма — он не требует немедленной классификации аритмии как «опасной» или «безопасной» по однократному измерению. Он опирается на устойчивость показателей во времени, что снижает вероятность гипердиагностики.

5. Ограничения и открытые вопросы

Валидация критериев. Предложенные критерии устойчивости являются теоретическими и требуют эмпирической валидации на клинических данных. Количественные пороги для различения стабильности и значимого тренда не установлены и требуют калибровки.

Индивидуальная вариабельность. То, что является доброкачественным режимом для одного пациента, может быть предвестником перехода для другого. Индивидуальные профили устойчивости требуют разработки.

Структурные заболевания сердца. У пациентов с постинфарктным кардиосклерозом, кардиомиопатиями, пороками сердца динамика аритмий может принципиально отличаться. Предложенные критерии разработаны для пациентов без тяжёлой структурной патологии.

Редкие, но опасные режимы. Некоторые опасные аритмии (например, синдром Бругада, удлинённый QT) могут не демонстрировать тренда динамических показателей перед эпизодом. Они требуют отдельных критериев.

CAST-парадокс. Опыт исследования CAST [4] показывает, что медикаментозное подавление экстрасистол может быть опаснее, чем наблюдение. Это сильный аргумент в пользу динамического подхода, но он же указывает на сложность проблемы: не всякая «доброкачественная» аритмия останется таковой. Кроме того, как показано в [6], подавление даже частых экстрасистол может быть неоправданным, если они являются компенсаторным ответом на нагрузку, а не самостоятельной патологией.

Временный кардиостимулятор. Предложенный критерий устойчивости для AV-блокады III степени является теоретическим. Решение о необходимости временного кардиостимулятора на основе количественной оценки устойчивости требует отдельных клинических исследований и не может быть рекомендовано к практическому применению без валидации.

AV-блокада II степени. Вопрос об устойчивости AV-блокады II степени как доброкачественного режима остаётся открытым и требует отдельных исследований.

Верификация. Количественная проверка предложенных критериев на клинических данных составляет следующую фазу исследования.

6. Заключение

Динамический подход к аритмиям позволяет не только диагностировать опасные режимы, но и распознавать безопасные. Ключевой критерий — не абсолютное значение показателей, а их стабильность во времени. Доброкачественная аритмия — это устойчивый динамический режим, не демонстрирующий направленного тренда. Опасная аритмия — это режим с трендом, указывающим на приближение бифуркации.

Такой подход снижает риск гипердиагностики и неоправданного назначения антиаритмических препаратов, которые сами могут дестабилизировать устойчивый режим. Как показал опыт исследования CAST, «не навреди» в аритмологии часто означает «не лечи, если режим устойчив». При этом важно учитывать, что даже выраженная экстрасистолия может быть не патологией, а компенсаторным ответом системы на нагрузку [6].

Литература

1. Смокотина О.Ф. Аритмии как режимы динамического хаоса: возможности классификации на основе теории динамических систем. — Препринт. — PREPRINTS.RU, 2026.
2. Смокотина О.Ф., Цыкина Д.В. Экстрасистолия как динамический выброс из аттрактора. — Препринт. — PREPRINTS.RU, 2026.
3. Смокотина О.Ф., Цыкина Д.В. Нарушения проводимости как разрыв связи между нелинейными осцилляторами. — Препринт. — PREPRINTS.RU, 2026.
4. Echt D.S., Liebson P.R., Mitchell L.B. et al. Mortality and Morbidity in Patients Receiving Encainide, Flecainide, or Placebo: The Cardiac Arrhythmia Suppression Trial // *New England Journal of Medicine*. — 1991. — Vol. 324. — No. 12. — Pp. 781–788.
5. Goldberger A.L., Rigney D.R., West B.J. Chaos and Fractals in Human Physiology // *Scientific American*. — 1990. — Vol. 262. — Pp. 42–49.
6. Смокотина О.Ф. Экстрасистолия как адаптационный механизм сердечного ритма: от динамической стабилизации к иерархической компенсации. — Препринт. — PREPRINTS.RU, 2026.

References

1. Smokotina O.F. Aritmii kak rezhimy dinamicheskogo khaosa: vozmozhnosti klassifikatsii na osnove teorii dinamicheskikh sistem [Arrhythmias as Regimes of Dynamic Chaos: Classification Potential Based on Dynamical Systems Theory]. Preprint. PREPRINTS.RU, 2026. (In Russian)
2. Smokotina O.F., Tsykina D.V. Ekstrasistoliya kak dinamicheskii vybros iz attraktora [Extrasystole as a Dynamic Ejection from an Attractor]. Preprint. PREPRINTS.RU, 2026. (In Russian)
3. Smokotina O.F., Tsykina D.V. Narusheniya provodimosti kak razryv svyazi mezhdru nelineinymi ostsillyatorami [Conduction Disorders as a Breakdown of Coupling Between Nonlinear Oscillators]. Preprint. PREPRINTS.RU, 2026. (In Russian)
4. Echt D.S., Liebson P.R., Mitchell L.B. et al. Mortality and Morbidity in Patients Receiving Encainide, Flecainide, or Placebo: The Cardiac Arrhythmia Suppression Trial. *New England Journal of Medicine*, 1991, vol. 324, no. 12, pp. 781–788.
5. Goldberger A.L., Rigney D.R., West B.J. Chaos and Fractals in Human Physiology. *Scientific American*, 1990, vol. 262, pp. 42–49.
6. Smokotina O.F. Ekstrasistoliya kak adaptatsionnyi mekhanizm serdechnogo ritma: ot dinamicheskoi stabilizatsii k ierarkhicheskoi kompensatsii [Extrasystole as an Adaptive Mechanism of Heart Rhythm: From Dynamic Stabilization to Hierarchical Compensation]. Preprint. PREPRINTS.RU, 2026. (In Russian)

Сведения об авторах:

Смокотина О.Ф. — независимый исследователь, Красноярск. Сфера научных интересов: теория динамических систем, гносеология, математическое моделирование в кардиологии. Автор концепции сверхлогики.

Цыкина Д.В. — Сибирский федеральный университет, Красноярск. Сфера научных интересов: прикладная математика, анализ временных рядов, динамические системы.