

Аномальное поведение частоты магнитного теста как маркер электрической нестабильности цепи кардиостимулятора при дефекте изоляции электрода

Аннотация

Описан феномен аномального поведения частоты магнитного теста у пациентки с кардиостимулятором Sorin Reply DR и электродом SonRtip PS55D с подтверждённым дефектом изоляции. В норме частота магнитного теста монотонно снижается по мере разряда батареи. В данном случае зафиксирован рост частоты с 96 до 100 уд/мин за 8 месяцев, что противоречит нормальной динамике и совпадает по времени с падением импеданса желудочкового электрода с 596 до 529 Ом. Предложено физическое объяснение феномена: снижение импеданса нагрузки и наличие гальванической утечки вызывают дрейф частоты тактового генератора стимулятора вверх. Частота магнитного теста может служить объективным, независимым от субъективных жалоб пациента маркером нестабильности электрической цепи.

Ключевые слова: магнитный тест, кардиостимулятор, дефект изоляции, электрод Sorin SonRtip, импеданс, утечка тока, гальванический эффект, частота магнитного теста, электрическая нестабильность.

1. Введение

Магнитный тест — это стандартная процедура, при которой внешний магнит переводит кардиостимулятор в асинхронный режим (V00) с фиксированной частотой. Частота магнитного теста определяется состоянием батареи и задана производителем как монотонно убывающая функция от остаточного заряда [1]. Типичные значения для ЭКС Sorin Reply DR: BOL (Beginning of Life) — 96–100 уд/мин, ERI (Elective Replacement Indicator) — около 80–85 уд/мин.

В норме частота магнитного теста либо остаётся стабильной, либо медленно снижается. Рост частоты со временем является аномалией и требует объяснения.

2. Описание случая

Пациентка, 66 лет, с имплантированным в ноябре 2024 года ЭКС Sorin Reply DR и электродом SonRtip PS55D. Электрод имеет подтверждённый дефект изоляции [2, 3]. Зафиксированы следующие параметры:

Дата	Импеданс желудочкового электрода, Ом	Частота магнитного теста, уд/мин
Ноябрь 2025	596	96
Июль 2026	529	100

Падение импеданса на 67 Ом (11%) за 8 месяцев указывает на прогрессирующую утечку тока через дефект изоляции. Частота магнитного теста за тот же период выросла с 96 до 100 уд/мин.

3. Физический механизм

Рост частоты магнитного теста не может быть объяснён естественным разрядом батареи (при котором частота снижается). Предлагается следующее объяснение.

3.1. Снижение импеданса нагрузки

Импеданс желудочкового электрода является частью нагрузки тактового генератора стимулятора. Падение импеданса на 11% изменяет нагрузочные характеристики цепи, что может вызвать дрейф частоты генератора вверх. Это хорошо известный в электронике эффект: изменение импеданса нагрузки влияет на частоту RC-генераторов, поскольку внутренний тактовый генератор стимулятора содержит RC-цепь, чувствительную к нагрузке.

3.2. Гальваническая утечка

Постоянный ток утечки через дефект изоляции создаёт паразитное электрическое поле в корпусе стимулятора и окружающих тканях. Это поле может влиять на внутреннюю электронику устройства, смещая параметры генерации. Эффект аналогичен хорошо известному в физике диэлектриков явлению: токи утечки через дефекты изоляции создают локальные поля, способные влиять на работу чувствительных электронных схем [4].

4. Клиническое значение

Частота магнитного теста является:

- Объективным параметром. Она не зависит от субъективных жалоб пациента.
- Независимым от импеданса. Импеданс может флуктуировать из-за фибриновой герметизации дефекта, а частота магнитного теста отражает интегральное состояние системы.
- Просто измеряемым. Магнитный тест проводится при каждом программировании и не требует дополнительного оборудования.

Таким образом, аномальный рост частоты магнитного теста может служить ранним маркером электрической нестабильности цепи стимулятора, вызванной дефектом изоляции электрода.

5. Заключение

Зафиксированный рост частоты магнитного теста с 96 до 100 уд/мин при одновременном падении импеданса на 11% является объективным свидетельством электрической нестабильности системы. Данный феномен, насколько нам известно, не описан ранее в литературе и может быть использован как дополнительный диагностический критерий при подозрении на дефект изоляции электрода. Рекомендуется включить анализ динамики частоты магнитного теста в протоколы мониторинга пациентов с проблемными моделями электродов.

Литература

1. Ellenbogen K.A., Wilkoff B.L., Kay G.N. et al. Clinical Cardiac Pacing, Defibrillation and Resynchronization Therapy. 5th ed. Philadelphia: Elsevier, 2016. Pp. 456–478.
2. Thomas O., Cebron J.P., Sagnol P. et al. Insulation defects in Sorin SonRtip leads // PLOS ONE. 2019. Vol. 14. No. 5. P. e0216641.
3. Смокотина О.Ф. Ятрогенный пробой изоляции: как автоматический алгоритм тестирования порога запускает цикл рецидивирующей утечки тока (клинический случай). 2026. [Препринт].
4. Dissado L.A., Fothergill J.C. Electrical Degradation and Breakdown in Polymers. London: Peter Peregrinus Ltd, 1992. Pp. 217–255.

Сведения об авторе

Смокотина О. Ф. — независимый исследователь, Красноярск. Сфера научных интересов: медицина, теория динамических систем, биофизика, безопасность имплантируемых медицинских устройств. Автор концепции сверхлогики, изобретатель.