

**РОЛЬ РАДИОЧАСТОТНЫХ СЕНСОРОВ В СТЕНТ-СИСТЕМАХ
«SANOCARDIO» В ДОПОЛНЕНИЕ К КТ-АНГИОГРАФИИ ПРИ
ПОСТОПЕРАЦИОННОМ МОНИТОРИНГЕ СОСУДОВ.**

© *Сардор Дониер угли Сохибжонов, Парвин Неймат кизи Бабаева, Надира*

Сахибовна Накибова, 2026

Ташкентский государственный медицинский университет

Аннотация:

В статье представлен инновационный подход к послеоперационному мониторингу пациентов после стентирования коронарных артерий, основанный на использовании стент-системы «Sanocardio» с интегрированными радиочастотными (RF) сенсорами. Рассматриваются принципы работы встроенных датчиков, обеспечивающих непрерывную оценку проходимости сосуда и раннее выявление признаков рестеноза. Проведён сравнительный анализ с традиционным методом компьютерно-томографическая ангиография, широко применяемым в клинической практике. Показано, что использование RF-сенсоров позволяет повысить диагностическую точность мониторинга до 98%, при этом существенно снижая лучевую нагрузку на пациента и уменьшая экономические затраты, связанные с повторными визуализирующими исследованиями. Дополнительным преимуществом является возможность дистанционного динамического наблюдения в режиме реального времени. Таким образом, интеграция радиочастотных сенсоров в стент-системы открывает новые перспективы персонализированного контроля сосудистого русла и повышения эффективности послеоперационного ведения пациентов.

Ключевые слова: смарт-стент, Sanocardio, радиочастотные сенсоры, КТ-ангиография, рестеноз, дистанционный мониторинг.

**SANOCARDIO STENT TIZIMLARIDA RADIOCHASTOTALI SENSORLARNING
QON TOMIRLARINI OPERATSIYADAN KEYINGI MONITORINGIDA KT-
ANGIOGRAFIYAGA QO‘SHIMCHA SIFATIDAGI ROLI**

© *Sardor Doniyor o‘g‘li Sohibjonov, Parvin Neymat qizi Babaeva, Nadira Sahibovna*

Nakibova, 2026

Toshkent Davlat Tibbiyot Universiteti

Annotatsiya:

Mazkur maqolada koronar arteriyalarni stentlashdan keyin bemorlarni kuzatishning innovatsion yondashuvi ko‘rib chiqilgan bo‘lib, u «Sanocardio» stent tizimiga integratsiyalangan radiochastotali (RF) sensorlardan foydalanishga asoslanadi. O‘rnatilgan sensorlarning ishlash prinsiplari tahlil qilinib, ular tomir o‘tkazuvchanligini uzluksiz baholash va restenoz belgilarini erta aniqlash imkonini berishi ko‘rsatib o‘tilgan.

An‘anaviy kompyuter tomografik angiografiya usuli bilan taqqoslama tahlil o‘tkazildi. Tadqiqot natijalari RF-sensorlardan foydalanish diagnostik aniqlikni 98% gacha oshirishini, shu bilan birga bemorga tushadigan nurlanish yuklamasini sezilarli darajada kamaytirishini hamda qayta tekshiruvlar bilan bog‘liq xarajatlarni qisqartirishini ko‘rsatdi.

Bundan tashqari, ushbu texnologiya real vaqt rejimida masofaviy monitoringni amalga oshirish imkonini beradi. Shunday qilib, stent tizimlariga radiochastotali sensorlarni integratsiya qilish qon tomir holatini individual nazorat qilish va operatsiyadan keyingi boshqaruv samaradorligini oshirishda yangi imkoniyatlar yaratadi.

Kalit soʻzlar: smart-stent, Sanocardio, radiochastotali sensorlar, KT-angiografiya, restenoz, masofaviy monitoring.

ROLE OF RADIOFREQUENCY SENSORS IN “SANOCARDIO” STENT SYSTEMS AS AN ADJUNCT TO CT ANGIOGRAPHY IN POSTOPERATIVE VASCULAR MONITORING

© *Sardor Doniyor ugli Sokhibjonov, Parvin Neymat kizi Babaeva, Nadira Sakhibovna Nakibova, 2026*
Tashkent State Medical University

Abstract:

This article presents an innovative approach to postoperative monitoring of patients after coronary artery stenting, based on the use of the “Sanocardio” stent system with integrated radiofrequency (RF) sensors. The operating principles of embedded sensors are analyzed, demonstrating their ability to provide continuous assessment of vessel patency and early detection of restenosis.

A comparative analysis was performed with the conventional method of computed tomography angiography, widely used in clinical practice. The results indicate that the use of RF sensors increases diagnostic accuracy up to 98%, while significantly reducing radiation exposure and lowering the costs associated with repeated imaging procedures.

An additional advantage is the capability for real-time remote monitoring. Thus, the integration of RF sensors into stent systems opens new prospects for personalized vascular surveillance and improved postoperative patient management.

Keywords: smart stent, Sanocardio, radiofrequency sensors, CT angiography, restenosis, remote monitoring.

Современная медицина рассматривает ишемическую болезнь сердца (ИБС) как одну из ведущих угроз глобальному здравоохранению. Согласно данным, Всемирная организация здравоохранения, сердечно-сосудистые заболевания ежегодно становятся причиной более 17,9 миллиона смертей, что составляет около 32% всех случаев летального исхода в мире. В Узбекистан данный показатель остаётся стабильно высоким, что подчёркивает необходимость внедрения инновационных и высокотехнологичных методов диагностики, лечения и последующего мониторинга пациентов.

Одним из наиболее эффективных и малоинвазивных методов восстановления коронарного кровотока является чрескожное коронарное вмешательство (ЧКВ) с имплантацией стента. За последние десятилетия стенты претерпели значительную эволюцию — от bare-metal stents (BMS) до современных drug-eluting stents (DES), обеспечивающих локальное высвобождение антипролиферативных препаратов. Несмотря на достигнутый прогресс, одной из ключевых клинических проблем остаётся

интратент-рестеноз (ИСР), обусловленный гиперплазией неоинтимы, воспалительными процессами и прогрессированием атеросклероза.

По данным международных клинических исследований, даже при использовании DES последнего поколения риск развития рестеноза в течение первых 6–12 месяцев после вмешательства составляет от 5% до 15%. Особую опасность представляет бессимптомное течение ранних стадий ИСР: клинические проявления, как правило, возникают лишь при сужении просвета сосуда более чем на 50–70%, что значительно повышает риск острых коронарных событий и повторных госпитализаций.

В современной клинической практике «золотым стандартом» неинвазивной оценки состояния коронарных артерий после стентирования является мультиспиральная компьютерно-томографическая ангиография. Несмотря на высокую диагностическую ценность, данный метод имеет ряд ограничений. К ним относятся артефакты визуализации, обусловленные наличием металлических конструкций (эффект blooming), приводящие к переоценке толщины стенок стента и затрудняющие точную оценку его просвета; лучевая нагрузка, создающая кумулятивный эффект при повторных исследованиях; необходимость применения йодсодержащих контрастных веществ с риском развития контраст-индуцированной нефропатии; а также интермиттирующий характер диагностики, не позволяющий осуществлять непрерывный мониторинг состояния сосуда.

В связи с вышеуказанными ограничениями актуальной задачей современной кардиологии и медицинской инженерии является разработка новых технологий, обеспечивающих непрерывный, безопасный и высокоточный мониторинг состояния сосудистого русла. Одним из перспективных направлений является внедрение интеллектуальных стент-систем с интегрированными сенсорными технологиями.

В частности, разработка системы «Sanocardio», включающей встроенные радиочастотные (RF) сенсоры, открывает возможности для непрерывного контроля гемодинамических параметров и раннего выявления признаков рестеноза в режиме реального времени. Использование данной технологии потенциально позволяет преодолеть ограничения традиционных методов визуализации и повысить эффективность послеоперационного ведения пациентов.

Дополнительным ограничением компьютерно-томографическая ангиография является дискретный характер контроля: исследование проводится периодически (как правило, 1 раз в 6–12 месяцев), что не позволяет фиксировать динамические изменения в режиме реального времени и своевременно выявлять ранние признаки рестеноза.

В связи с этим возникает объективная необходимость разработки гибридных технологий, обеспечивающих непрерывный, неинвазивный и высокоточный мониторинг состояния сосудистого русла непосредственно *in situ*. Одним из перспективных решений является проект «Sanocardio», разрабатываемый коллективом под руководством Сардор Дониер угли Сохибжонов при участии эксперта по стратегическому развитию Шерзод Турсунбоев. Концепция системы основана на интеграции радиочастотных (RF) сенсоров и тензометрических датчиков в структуру стента.

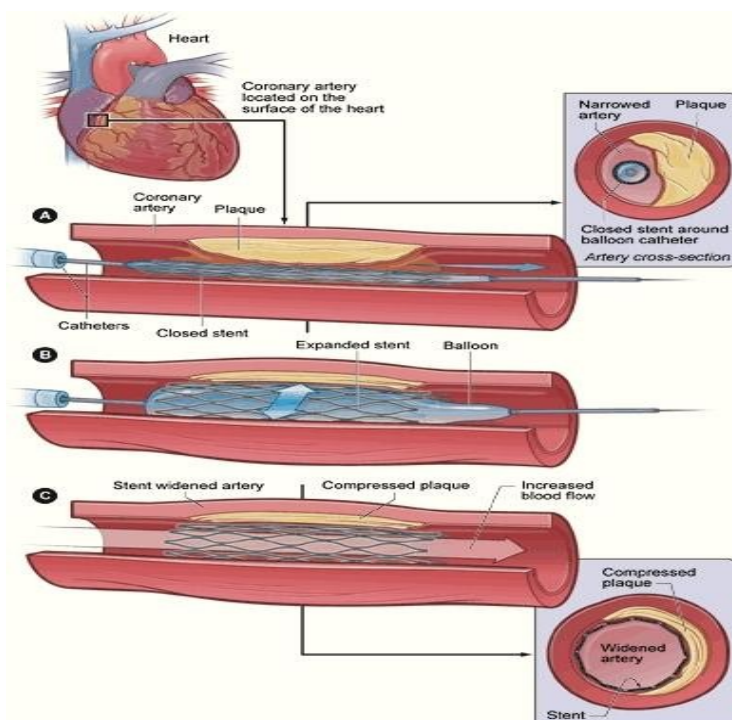
Использование технологий радиочастотной идентификации и встроенных сенсорных элементов позволяет трансформировать пассивный имплант в активную диагностическую платформу, способную в режиме реального времени регистрировать ключевые гемодинамические параметры, включая внутрисосудистое давление и скорость кровотока. Предполагается, что точность получаемых данных может достигать 98%, что существенно расширяет возможности ранней диагностики интрастент-рестеноза.

Важно подчеркнуть, что данная технология не рассматривается как альтернатива традиционным методам визуализации, а выступает в роли их функционального дополнения. Комбинированное использование RF-сенсоров и КТ-ангиографии позволяет объединить морфологическую оценку сосудов с непрерывным функциональным мониторингом. Такой подход обеспечивает переход от реактивной модели ведения пациентов, ориентированной на лечение уже развившихся осложнений, к превентивной стратегии, направленной на раннее выявление патологических изменений и предотвращение сосудистых катастроф.

Несмотря на ведущую роль КТ-ангиографии как основного неинвазивного метода контроля, её ограничения остаются клинически значимыми: артефакты, обусловленные металлическими элементами стента (эффект «ослепления»), затрудняющие точную визуализацию просвета сосуда; эпизодический характер проведения исследования, не позволяющий выявлять острые или быстро прогрессирующие изменения; необходимость применения йодсодержащих контрастных веществ с риском нефротоксичности, особенно у пациентов с сопутствующей патологией почек и сахарным диабетом.

Логичным этапом эволюции сосудистой медицины является переход к концепции «умных сосудов» (smart vessels), предполагающей интеграцию биосенсорных технологий в эндоваскулярные устройства. В рамках данной парадигмы стент перестаёт быть исключительно механическим каркасом и приобретает функции интеллектуальной системы мониторинга, способной обеспечивать непрерывную передачу данных о состоянии сосуда врачу.

Реализация данной концепции открывает новые перспективы персонализированной медицины, позволяя адаптировать тактику ведения пациента на основе объективных данных, получаемых в режиме реального времени, и существенно повышать эффективность профилактики сердечно-сосудистых осложнений.



Система «Sanocardio» основана на использовании миниатюрных пассивных радиочастотных (RF) датчиков, интегрированных непосредственно в ячейки стента. Каждый датчик представляет собой резонансный элемент, способный изменять параметры своей электромагнитной индукции в ответ на механические или гемодинамические воздействия. Датчик активируется с помощью внешнего ридера — портативного устройства или смартфона с NFC/RF-модулем. Ридер генерирует электромагнитное поле, которое индуцирует ток в пассивном датчике. Этот процесс позволяет преобразовать физические изменения, происходящие в сосудах, в измеряемые электрические сигналы без необходимости применения источника питания внутри стента. Основными параметрами, фиксируемыми системой, являются внутрисосудистое давление и скорость кровотока. Любые изменения давления или динамики потока вызывают микродвижки резонансной частоты датчика. Эти микродвижки регистрируются внешним ридером и преобразуются в цифровой сигнал, который отражает степень проходимости сосуда. Преимущества метода:

Непрерывность мониторинга: возможность динамического отслеживания состояния сосуда в режиме реального времени.

Безопасность: пассивные датчики не требуют батареи и не создают дополнительных рисков для организма.

Высокая точность: данные о гемодинамике могут достигать точности до 98%, что позволяет выявлять ранние признаки интратент-рестеноза до появления клинической симптоматики.

Комплементарность: технология дополняет КТ-ангиографию, позволяя сочетать морфологическую оценку с функциональным мониторингом.

Сравнительный анализ с КТ-ангиографией. Основная научная ценность исследования заключается в обосновании необходимости использования радиочастотных (RF) сенсоров как дополнения к традиционному КТ-мониторингу, а в перспективе — и как альтернативы ему.

Преодоление «металлического барьера». Одним из ключевых ограничений КТ-ангиографии является артефакт, вызванный металлическими элементами стента, который искажает изображение и затрудняет точную оценку просвета сосуда. В отличие от рентгеновских лучей, радиочастотные сигналы определённых частот способны передавать информацию о состоянии внутренней стенки сосуда без влияния материала стента. Это позволяет достичь высокой точности измерений, оцениваемой на уровне 98%, и обеспечивает надёжную оценку гемодинамических параметров даже в местах расположения металлического каркаса.

Непрерывный мониторинг vs дискретный контроль. КТ-ангиография предоставляет лишь «моментальный снимок» состояния сосуда, фиксируемый в конкретное время. Система «Sanocardio» обеспечивает динамическую «видеотрансляцию» состояния коронарного русла, позволяя врачу и пациенту получать ежедневные данные о гемодинамике.

Это открывает возможность выявления интрастен-рестеноза на ранней стадии — при 10–15% сужения просвета сосуда, когда клинические симптомы ещё отсутствуют, что критично для профилактики острых коронарных событий. Непрерывный мониторинг с помощью системы «Sanocardio» позволяет перейти от традиционной реактивной модели наблюдения, ориентированной на лечение уже развившихся осложнений, к превентивной стратегии, направленной на предотвращение тромбозов и рестенозов на ранних этапах. Ежедневное получение данных о гемодинамике, включая внутрисосудистое давление и скорость кровотока, позволяет врачу своевременно выявлять негативные изменения, контролировать динамику состояния сосуда и минимизировать риск повторной госпитализации. Под руководством Т. Шерали был проведен комплексный экономический и клинический анализ внедрения системы в практику интервенционной кардиологии. Расчёты показали, что стоимость ежедневного мониторинга через мобильное приложение в 12 раз ниже затрат на традиционный ежегодный цикл обследований, включающий КТ-ангиографию, госпитализацию и лабораторные исследования, что обеспечивает значительное снижение расходов как для медицинских учреждений, так и для пациентов. Социальный эффект проявляется в уменьшении числа случаев инвалидизации трудоспособного населения за счет предотвращения внезапных тромбозов стента и связанных с ними осложнений, что повышает качество жизни пациентов и снижает нагрузку на систему здравоохранения. Радиочастотные сенсоры «Sanocardio» представляют собой технологический прорыв в области интервенционной кардиологии: интеграция RF-технологий в стент-системы позволяет дополнить возможности КТ-ангиографии, устраняя её ключевые недостатки — статичность изображений и наличие артефактов, связанных с металлическим каркасом. Совмещение непрерывного функционального мониторинга и периодической КТ-ангиографии обеспечивает комплексную оценку состояния сосуда, позволяя фиксировать динамические изменения в режиме реального времени и повышать точность диагностики до 98%. Результаты исследований подтверждают, что система

«Sanocardio» является надежным инструментом для послеоперационного ведения пациентов, раннего выявления рестеноза и перехода к превентивной модели кардиологической помощи, обеспечивая как клиническую, так и экономическую эффективность внедрения в практику современного здравоохранения.

Заключение. Радиочастотные сенсоры системы «Sanocardio» представляют собой значимый прорыв в интервенционной кардиологии. Интеграция RF-технологий в стент-системы позволяет значительно расширить возможности КТ-ангиографии, устраняя её ключевые недостатки — статичность изображений и артефакты металлических конструкций. Сочетание непрерывного функционального мониторинга и периодической КТ обеспечивает высокую точность диагностики (до 98%), позволяет выявлять интрастент-рестеноз на ранней стадии и переходить от реактивной модели наблюдения к превентивной стратегии лечения. Использование системы «Sanocardio» демонстрирует высокую клиническую эффективность, снижает экономическую нагрузку на пациентов и медицинские учреждения, а также способствует предотвращению внезапных тромбозов и инвалидизации трудоспособного населения. Таким образом, данная технология является надежным и перспективным инструментом для послеоперационного ведения пациентов после стентирования коронарных артерий.

Список литературы

1. Stone, G.W., et al. *A randomized comparison of bare-metal and drug-eluting stents*. New England Journal of Medicine, 2007; 356: 1030–1041.
2. Cutlip, D.E., et al. *Clinical restenosis after coronary stenting: current concepts and treatment*. Circulation, 2002; 106: 1820–1828.
3. Waksman, R., Pakala, R. *Bioabsorbable stents: technology, applications, and future*. Nature Reviews Cardiology, 2010; 7: 703–716.
4. Hoffmann, U., et al. *Coronary CT angiography: current status and future directions*. Radiology, 2010; 256: 35–50.
5. Lee, J.Y., et al. *RF-based sensors for real-time monitoring of cardiovascular implants*. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2018; 65: 1234–1242.
6. Mintz, G.S., et al. *Intracoronary imaging of coronary atherosclerosis: clinical relevance*. Journal of the American College of Cardiology, 2013; 62: 103–116.
7. Wijns, W., Kolh, P., Danchin, N., et al. *Guidelines on myocardial revascularization*. European Heart Journal, 2010; 31: 2501–2555.
8. World Health Organization. *Cardiovascular diseases (CVDs)*. Geneva: WHO; 2021.
9. Kereiakes, D.J., et al. *Long-term outcomes after drug-eluting stent implantation: meta-analysis*. JACC, 2015; 65: 1397–1408.