

Литература

1. Жарков, В. А. Применение методов машинного обучения для анализа сигналов ЭКГ / В. А. Жарков, С. В. Костромин, Д. О. Кожевников // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2021. – № 4. – С. 45–54.
2. Automatic diagnosis of the 12-lead ECG using a deep neural network / A. H. Ribeiro, M. H. Ribeiro, G. M. M. Paixão [et al.] // Nature Communications. – 2020. – № 11 (1). – P. 1760.

**МОДИФИЦИРОВАННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ
ПРИБОРА СЕРДЕЧНО-ЛЕГОЧНОЙ РЕАНИМАЦИИ**

Я. И. Шнякина, А. А. Коробов

*Тамбовский государственный технический университет,
Российская Федерация*

Представлена нульмерная математическая модель сердечно-сосудистой системы, модифицированная для учета воздействия автоматического прибора сердечно-легочной реанимации. Модель позволяет исследовать гемодинамические эффекты механической компрессии грудной клетки, включая вклад сердечного и грудного насосов, в условиях отсутствия собственной сердечной деятельности.

Ключевые слова: сердечно-сосудистая система, сердечно-легочная реанимация, нульмерная модель.

**A MODIFIED MATHEMATICAL MODEL
OF THE CARDIOVASCULAR SYSTEM FOR ASSESSING
THE IMPACT OF A CARDIOPULMONARY RESUSCITATION
DEVICE**

Ya. I. Shnyakina, A. A. Korobov

Tambov State Technical University, Russian Federation

Intelligent methods for controlling technical systems rely on artificial intelligence, cloud technologies and digital twins. These approaches enable data analysis, event prediction, optimal decision-making, and improved efficiency, reliability and safety of processes while fostering the integration of innovative solutions across various sectors.

Keywords: cardiovascular system, cardiopulmonary resuscitation, zero-dimensional mode.

Согласно мировым медицинским данным, внезапная сердечная смерть занимает лидирующую позицию среди всех причин ухода из жизни. Остановка кровообращения – это критическое состояние, при котором отсутствует эффективное кровообращение [1].

Ключевую роль в спасении жизни играет своевременное и качественное проведение сердечно-легочной реанимации (СЛР). Сердечно-легочная реанимация – это система мероприятий, направленных на восстановление эффективного кровообращения, дыхания и сердечной деятельности при клинической смерти с помощью специальных реанимационных мероприятий [1].

На сегодняшний день для повышения эффективности реанимационных мероприятий делаются попытки внедрения автоматических аппаратов для СЛР. Однако их влияние на сердце и сосуды не в полной мере изучено. Во многом это связано с отсутствием адекватных и проработанных математических моделей, учитывающих взаимодействие участков сердечно-сосудистой системы при проведении СЛР.

Для создания модифицированной математической модели сердечно-сосудистой системы с СЛР используется нульмерная математическая модель [2, 3]. Особенности базовой модели являются: добавленная разделенность на верхнюю и нижнюю половины тела (что позволяет моделировать ортостатические эффекты); вены имеют регулируемый ненапряженный объем – важный механизм адаптации при изменении венозного возврата; учитывается модель пульсирующего сердца.

Разрабатываемая модель основана на системе 17 упругих камер (сосуды, камеры сердца) и элементов сопротивления (клапаны).

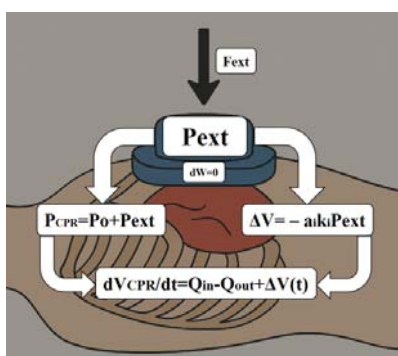
Для интеграции воздействия автоматического прибора СЛР в базовую модель был реализован подход, учитывающий два классических механизма генерации кровотока: прямое механическое сжатие миокарда, моделируемое путем добавления внешнего давления в левом и правом желудочке; повышение внутригрудного давления, передающееся на все упругие камеры грудной полости и вызывающее изменение их объемов.

Внешняя сила СЛР в модели задается в виде синусоидальной функции с плавным нарастанием и спадом воздействия, а также заданной амплитудой, которая соответствует определенной силе. Для задачи моделирования собственная насосная активность сердца исключается.

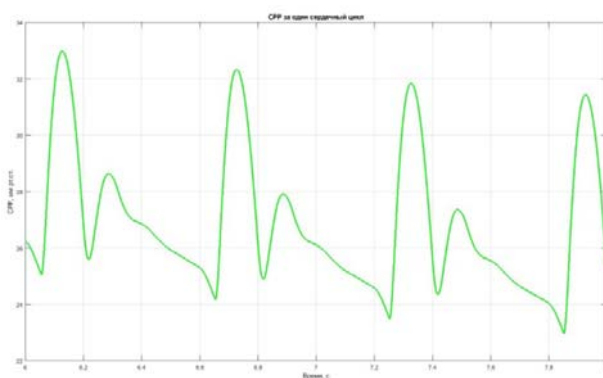
Модель реализована в среде MATLAB. В существующий программный комплекс базовой модели, включающий модули расчета объемов, давлений и кровотоков, были добавлены два новых модуля для задания параметров внешней компрессии (частота, амплитуда, форма волны), а также для расчета изменений давлений и объемов упругих камер под действием механизмов сердечного и грудного насосов.

Схема реализации действия СЛР в базовой модели представлена на рис. 1, а. Результат работы модели в виде коронарного перфузионного давления показан на рис. 1, б.

Результаты моделирования демонстрируют, что разработанная модель обеспечивает поддержание коронарного перфузионного давления на уровне ~25 мм рт. ст., что соответствует клинически установленному целевому диапазону, необходимому для успешной реанимации.



а)



б)

Рис. 1. Реализация действия СЛР (а) и коронарное перфузионное давление (б)

Разработанная математическая модель позволяет проводить имитационные исследования гемодинамики в условиях проведения СЛР с помощью автоматического прибора. Исследования, полученные на модели, позволят оценить влияние различ-

ных механизмов СЛР (компрессия-декомпрессия, с применением клапана или без и т. д.) на коронарное перфузионное давление, что является особенно актуальным для прогнозирования исхода реанимационных мероприятий в разных условиях проведения СЛР.

Л и т е р а т у р а

1. Сердечно-легочная реанимация / В. В. Мороз, И. Г. Бобринская, В. Ю. Васильев [и др.]. – М.: ФНКЦ РР, МГМСУ, НИИОР, 2017. – 60 с.
2. Фролов, С. В. Система поддержки принятия врачебных решений в кардиологии на основе цифрового двойника сердечно-сосудистой системы / С. В. Фролов, А. А. Коробов, А. Н. Ветров // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2023. – Т. 11, № 1 (40). – С. 3–4. – DOI 10.26102/2310-6018/2023.40.1.007. – EDN RKNHVM.
3. Модель сердечно-сосудистой системы с регуляцией на основе нейронной сети / С. В. Фролов, А. А. Коробов, Д. Ш. Газизова, А. Ю. Потлов // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2021. – № 2 (38). – С. 79–94. – DOI 10.21685/2227-8486-2021-2-5. – EDN GWHODK.

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА И СИСТЕМ ПРИНЯТИЯ ВРАЧЕБНЫХ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ПАЛАТ ИНТЕНСИВНОЙ ТЕРАПИИ И РЕАНИМАЦИИ

А. Ю. Ушаков, С. В. Фролов

*Тамбовский государственный технический университет,
Российская Федерация*

Рассмотрена перспективная концепция интеграции цифрового двойника пациента и клинической системы поддержки принятия решений в работу отделений интенсивной терапии и реанимации. Проанализированы потенциальные преимущества данного подхода, включая прогнозирование осложнений, персонализацию терапии и снижение нагрузки на медицинский персонал. Освещены ключевые технологические вызовы и этические аспекты внедрения.

Ключевые слова: цифровой двойник, клиническая система поддержки принятия решений (СППР), интенсивная терапия, реанимация, искусственный интеллект, персонализированная медицина.

APPLICATION OF DIGITAL TWIN AND MEDICAL SYSTEM OF SUPPORTING DECISION-MAKING IN INTENSIVE CARE UNIT

A. Y. Ushakov, S. V. Frolov

Tambov State Technical University, Russian Federation

This article examines the promising concept of integrating a patient's digital twin and a clinical decision support system into intensive care unit workflows. The potential benefits of this approach are analyzed, including predicting complications, personalizing therapy, and reducing the workload of medical staff. Key technological challenges and ethical aspects of implementation are highlighted.

Keywords: digital twin, clinical decision support system (CDSS), intensive care, resuscitation, artificial intelligence, personalized medicine.

Отделения интенсивной терапии и реанимации являются зоной повышенной медицинской ответственности, где от скорости и точности принятия решений напрямую зависит жизнь пациента. Врачи-реаниматологи сталкиваются с огромными массивами гетерогенных данных: показатели мониторингового наблюдения (ЭКГ, АД, SpO₂), данные лабораторных и инструментальных исследований, информация от ды-