

окружения биологической среды. Целостное представление об этом окружении основывается на общности конечной цели, структурном единстве БТС искусственного очищения, возможности конструктивной и функциональной взаимосвязи составляющих элементов.

Особенно актуальным является формирование системного подхода, систематизация и обобщение теоретических и практических результатов в этой области медико-технических технологий при создании БТС искусственного очищения крови с использованием носимых технических средств для постоянного экстра- или интракорпорального диализа в связи с необходимостью оптимизации внутрисистемных вещественных, энергетических и информационных связей в автономной портативной аппаратуре, которая разрабатывается в настоящее время в АО «Зеленоградский инновационно-технологический центр» и в Национальном исследовательском университете «Московский институт электронной техники» при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение № 14.579.21.0152, уникальный идентификатор работ RFMEFI57917X0152).

Список литературы:

1. Биотехнические системы. Теория и проектирование / Под ред. В.М. Ахутина. – Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1981. С. 14-90.

2. Родионов И.Б. Теория систем и системный анализ / <http://victor-safronov.ru/systems-analysis/lectures.html> (дата доступа к ресурсу 14.05.2019).
3. Гринвальд В.М. Исследование принципов построения биотехнической системы и разработка аппаратуры экстракорпорального искусственного очищения крови / Дис. ... д-ра техн. наук. – М., 2012. 387 с.
4. Гринвальд В.М., Киселев Б.Л., Максимов Е.П., Хайтлин А.И. Аппаратура искусственного очищения крови / Под ред. В.А. Викторова. – М.: ЗАО «ВНИИМП-ВИТА», 2002. 230 с.

*Николай Александрович Базаев,
канд. техн. наук, начальник,
научно-исследовательская лаборатория,
Виктор Матвеевич Гринвальд,
д-р техн. наук, гл. научный сотрудник,
Институт биомедицинских систем,
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
университет «Московский институт
электронной техники»,
г. Москва,
e-mail: vicgrin@gmail.com*

Е.А. Пустозеров, В.Я. Черных, П.В. Попова, Е.А. Васюкова, А.С. Ткачук, З.М. Юлдашев

Система мониторинга состояния пациенток с гестационным сахарным диабетом на основе данных дневников питания и фитнес-браслетов

Аннотация

Представлены результаты разработки и использования в клинической практике системы мониторинга состояния здоровья больных гестационным сахарным диабетом, обеспечивающей сбор и учет данных об образе жизни и питании пациенток. Данные о потребляемых нутриентах и физической активности используются при назначении метода лечения лечащим врачом. В ходе апробации системы на пациентках с гестационным сахарным диабетом и в контрольной группе были выделены характерные типы пациенток с различными паттернами образа жизни и питания.

Актуальность проблемы

В настоящее время в мире наблюдается стремительный рост числа беременностей, осложненных гестационным сахарным диабетом (ГСД). Распространенность ГСД в зависимости от страны варьируется в пределах 1...14 % со средним значением 7 % (в России оценивается в 4,5 %) [1]. Ввиду тенденции роста числа больных и увеличения нагрузки на персонал лечебных учреждений важную роль в совершенствовании подходов к лечению ГСД играет своевременное внедрение телемедицинских технологий и технологий персонализированной медицины в практику ведения больных [2].

В то же время внедрение систем удаленного мониторинга пациентов сопряжено с рядом трудностей, обусловленных вопросами безопасности и сохранности данных, административным регулированием области здравоохранения и информационных технологий в каждой стране, проблемами локализации имеющихся зарубежных разработок, необходимостью гибкой настройки системы под конкретные задачи врачей в конкретной области, требованиями к интеграции дополнительного программного обеспечения в имеющуюся систему и необходимостью надежной и постоянной технической поддержки пациентов и врачей, пользующихся системой. Эти особенности делают практически трудно реализуемым и высокозатратным внедрение в клиническую практику применяемых в зарубежных странах систем мониторинга различных заболеваний, таких как нарушения сердечно-сосудистой системы, и

обуславливают актуальность разработки и апробации систем удаленного мониторинга пациенток с ГСД.

Цель рассматриваемой работы – разработка системы удаленного мониторинга для информационного и медицинского сопровождения пациенток с ГСД на основе учета их образа жизни.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- 1) разработка структуры удаленного мониторинга для информационного и медицинского сопровождения пациенток с ГСД;
- 2) разработка метода обработки и анализа данных электронных дневников наблюдения и фитнес-браслетов для системы удаленного мониторинга ГСД;
- 3) разработка модели для выработки рекомендаций на основе показателей образа жизни пациенток;
- 4) техническая реализация и апробация системы.

Структура системы для учета образа жизни пациенток с ГСД

Основными источниками информации об образе жизни пациенток являются: мобильное устройство пациенток с установленным программным обеспечением для ведения записей о питании, точечных измерениях уровня сахара в крови и инъекциях инсулина, система непрерывного мониторинга уровня сахара в крови (CGMS) и фитнес-браслеты для мониторинга физической активности пациенток.

Мы создали инфраструктуру для автоматического сопряжения данных из разных источников (рис. 1). Первоначально нами было разработано мобильное и десктоп приложения «ДиаКомпаньон», которые уже значительное время успешно используются пациентками для ведения и пересылки врачу электронных дневников наблюдения, включающих в себя записи о питании, уровне сахара в крови и физической активности [3]. Далее в обработку были интегрированы непрерывные сигналы глюкозы с CGMS (в настоящее время применяется система «Medtronic MiniMed iPro2»). В рамках текущего этапа разработки в систему были включены показатели физической активности с использованием акселерометров и датчиков частоты сердечных сокращений фитнес-браслетов (применяются датчики «ONETRAK C317»).

Для персонализации рекомендаций при построении моделей метаболизма пациента используются данные генотипирования (ассоциированные с ГСД экспрессии генов) и состава кишечного микробиома, а также антропометрические данные (в первую очередь индекс массы тела) и получаемые в ходе наблюдения биохимические данные (например, гликированный гемоглобин). Эти данные собираются вместе посредством разработанного программного обеспечения и подаются на вход алгоритмов машинного обучения для прогнозирования уровня сахара в крови и выработки рекомендаций, параллельно осуществляя визуализацию, представление табличных данных врачу и статистический анализ данных.

Разработанное программное обеспечение (ПО) применяется для проверки гипотез, в частности о влиянии на исходы родов различных гликемических целей [4]. Впоследствии планируется организовать рандомизированное клиническое исследование, в котором рекомендации будут уже непосредственно даваться напрямую пациенту.

Метод обработки и анализа данных электронных дневников наблюдения и фитнес-браслетов

Данные из различных источников автоматически сопрягаются посредством разработанного программного обеспечения на языках Python и Java. Пересылка данных электронных дневников наблюдения осуществляется в формате xls на электронную почту врачу и на удаленный сервер, где происходят автоматический парсинг и добавление электронных записей в общую базу данных. Информация из системы удаленного мони-

торинга и фитнес-браслетов поступает в базу данных путем автоматического парсинга доступных веб-ресурсов производителей оборудования, хранящих деперсонифицированные данные пациенток. В дальнейшем планируется разработка программного обеспечения для интеграции сигналов фитнес-браслетов напрямую в разработанное приложение с дневником питания для выработки мгновенных on-the-point рекомендаций по образу жизни пациенток.

На рис. 2 показан пример визуализации данных, полученный при помощи разработанного ПО. Сопряжение информации из различных источников в единой инфраструктуре позволяет нам протестировать целый ряд гипотез, например, осуществить количественную оценку влияния на уровень сахара в крови (УСК) физической активности, качества сна, показателей, связанных с частотой сердечных сокращений, и других, что впервые может быть сделано в исследовании, организованном полностью в формате удаленного мониторинга в режиме, когда пациентки большую часть времени проводят дома или на работе.

Разработка модели для выработки рекомендаций на основе образа жизни пациенток

Собранные при помощи системы данные используются для выработки рекомендаций для лечащего врача и пациенток. Все виды рекомендаций должны быть максимально короткими и четкими для того, чтобы повысить их уровень освоения пациентками и снизить время для принятия решения лечащим врачом. Их можно разделить на три категории:

- 1) интегральные рекомендации относительно образа жизни, генерируемые на основе апостериорного анализа данных в течение длительного времени (интервал в 3...7 дней);
- 2) рекомендации по компенсации УСК в постпрандиальном периоде на основе анализа результатов прогнозирования гликемической кривой;
- 3) мгновенные (on-the-point) рекомендации по питанию, генерируемые при добавлении данных о последнем приеме пищи в мобильное приложение пациентки.

Рекомендации первого типа выдаются врачом на основе данных, генерируемых системой в виде отчетов: интегральных таблиц с показателями образа жизни и детальными изображениями. В частности, детектируются моменты, когда в течение последних дней наблюдения гликемическая нагрузка превы-

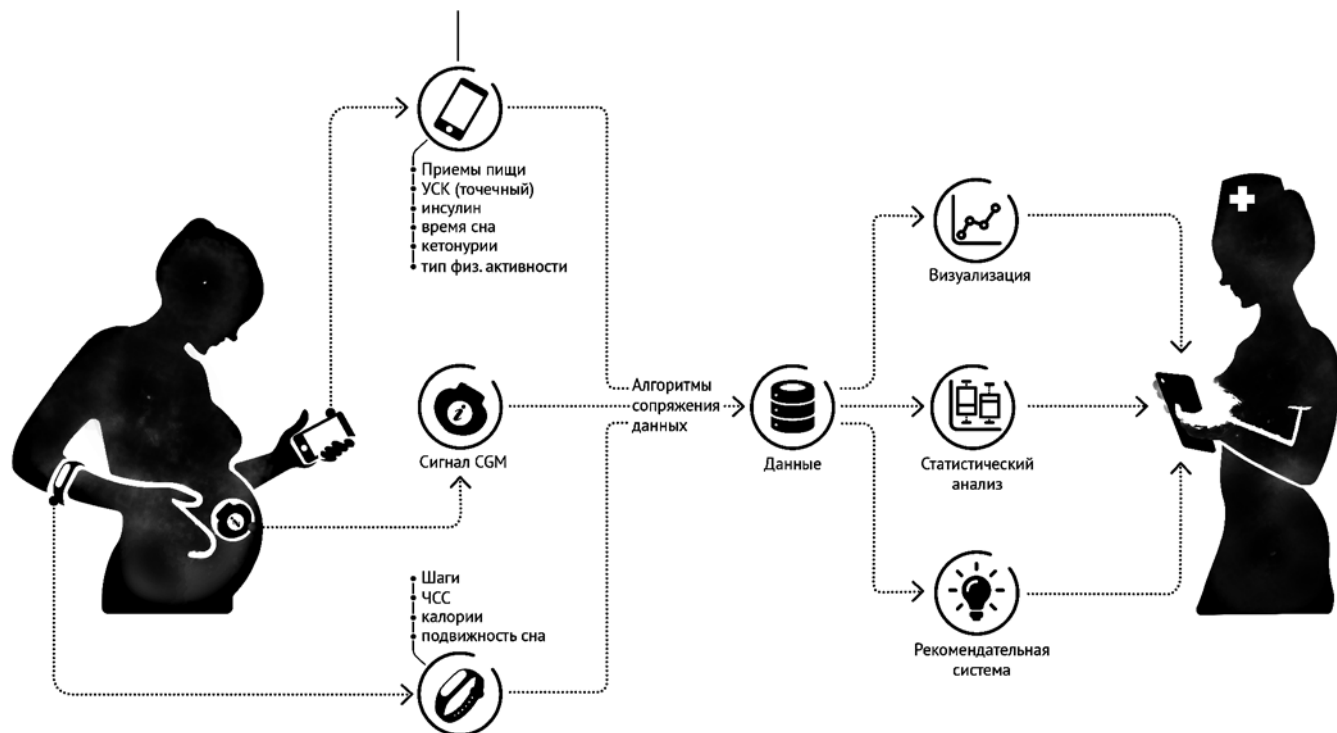


Рис. 1. Структурная схема разработанной системы мониторинга ГСД

шала дозволённую, оценивается уровень среднесуточной физической активности и качество сна, вырабатываются рекомендации по нормализации уровня физической активности различного вида в различное время суток, в первую очередь после еды, выявляются причины вариабельности гликемии в течение сна. Ключевыми составляющими данного типа рекомендаций являются визуализация и анализ интегральных показателей образа жизни пациенток для работы над ошибками.

Рекомендации второго типа предлагается делать путем использования моделей прогнозирования УСК в постпрандиальный период на основе данных о событиях, предшествующих текущему моменту: приемах пищи, инъекциях инсулина, физической активности, сне, текущем уровне сахара в крови и индивидуальных характеристиках пациенток. Подробно разработанные модели описаны авторами в статье [5].

Для рекомендаций по питанию нами предложен алгоритм, который подбирает из встроенной в приложение «ДиаКомпаньон» базы данных, включающей в себя данные о 27 макро- и микронутриентах продуктов питания и сложных блюд, наиболее близкие продукты питания и блюда к вводимым пациенткой, но отличающиеся пониженной углеводной нагрузкой (низким гликемическим индексом продуктов и содержанием углеводов).

Техническая реализация и апробация системы

Разработанная система представлена в виде совокупности программного обеспечения, включая мобильное приложение «ДиаКомпаньон» и ПО для обработки данных. На текущий

момент исследование с недельным измерением CGMS, ведением дневника мониторинга и фиксации физической активности при помощи браслетов прошли 56 пациенток.

В табл. 1 приведен пример оценки взаимосвязи показателей дневников питания и мониторинга физической активности для трех постпрандиальных кривых в течение одного дня для двух пациенток. В данных виден индивидуальный характер изменения УСК после еды и наличие связи между показателями гликемической кривой и физической активностью пациенток.

Планируется включение в исследование 300 пациенток с ГСД и контрольной группы в течение ближайших 2 лет для проведения исследования о влиянии физической активности на УСК и блока выработки рекомендаций на качество достижения гликемических целей и исхода родов.

Выводы

1. Для мониторинга ГСД важную роль играет учет питания и физической активности, который может быть количественно оценен путем применения мобильных приложений с дневниками питания и фитнес-браслетов.
2. Для выработки рекомендаций по образу жизни целесообразно интегрировать в расчеты индивидуальные показатели, доказано связанные с метаболизмом глюкозы, такие как индекс массы тела, гликированный гемоглобин и др.
3. Важную роль в удаленном мониторинге ГСД играют средства и алгоритмы для выработки рекомендаций, которые могут выполняться на основе интегральных показателей образа жизни и качества компенсации гликемии, прогнозирова-

Таблица 1

Соотношение показателей постпрандиального гликемического ответа с характеристиками приемов пищи и физической активностью для разных пациентов в разные моменты времени

Пациент	Углеводы в приеме пищи, г	Шаги, 1 ч до еды	Шаги, 1 ч после еды	УСК через 1 ч после еды, ммоль/л	Площадь под гликем. кривой, 1 ч. после еды
А	90,0	754	82	5,7	24,35
А	52,4	408	442	6,5	28,10
А	19,1	500	338	4,8	23,17
Б	29,3	0	0	6,4	29,67
Б	66,1	368	162	6,5	27,31
Б	15,8	508	36	6,2	32,00

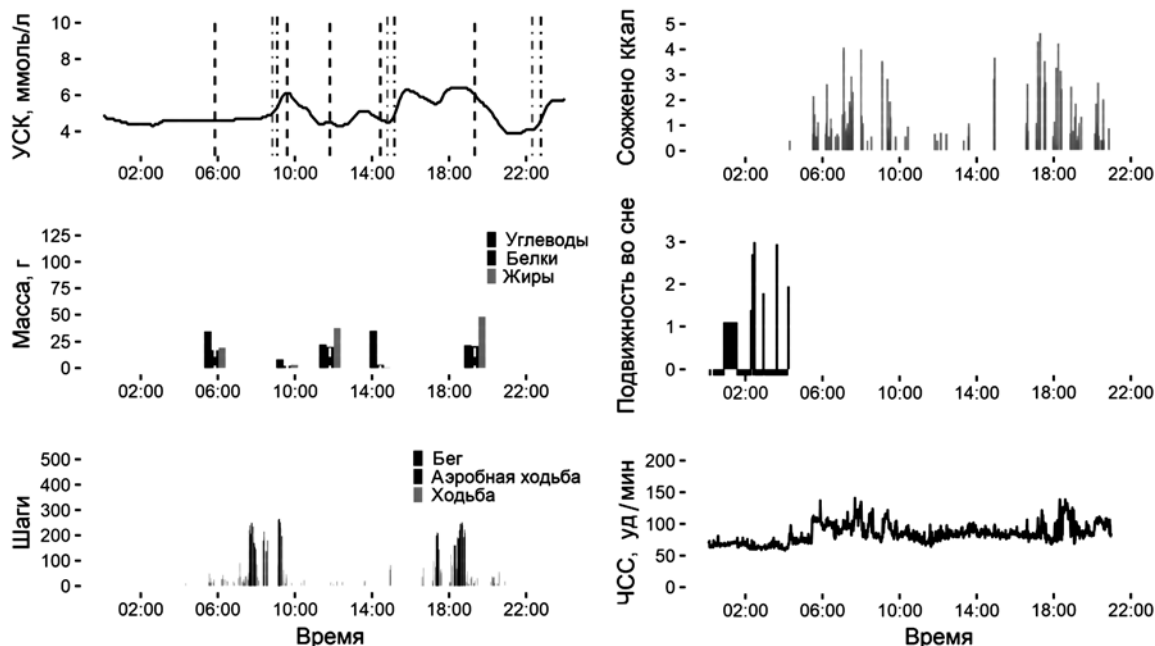


Рис. 2. Визуализация данных, полученных в течение суток мониторинга

ния уровня сахара в крови и анализа состава продуктов питания.

Работы выполнены при поддержке гранта РФФ (проект № 18-75-10042) «Изучение предикторов постпрандиального гликемического ответа и потребности в инсулинотерапии у женщин с гестационным сахарным диабетом с целью персонализации подходов к его лечению».

Список литературы:

1. Ботова Е.А., Богомазова Т.В. Гестационный сахарный диабет. Осложнения периода гестации. Перинатальные исходы // Вестник Бурятского государственного университета. Медицина и фармация. 2017. Вып. 4. С. 62-66.
2. Дедов И.И. Персонализированная медицина // Вестник РАМН. 2019. Т. 74. № 1. С. 61-70.
3. Пустозеров Е.А., Попова П.В., Ткачук А.С., Болотко Я.А., Герасимов А.С. Применение мобильного приложения с дневником наблюдения в клинической практике лечения гестационного сахарного диабета // Проблемы эндокринологии. 2016. Т. 62. № 5. С. 32-33.
4. Popova P., Vasilyeva L., Tkachuk A., Puzanov M., Golovkin A., Bolotko Y., Pustozero E., Vasilyeva E., Li O., Zazerskaya I., Dmitrieva R., Kostareva A., Grineva E. A Randomised, Controlled Study of Different Glycaemic Targets during Gestational Diabetes Treatment: Effect on the Level of Adipokines in Cord Blood and ANGPTL4 Expression in Human Umbilical Vein Endothelial Cells // International Journal of Endocrinology. 2018. Vol. 2018. Article ID 6481658. 8 p.

5. Pustozero E., Popova P., Tkachuk A., Bolotko Y., Yuldashev Z., Grineva E. Development and Evaluation of a Mobile Personalized Blood Glucose Prediction System for Patients with Gestational Diabetes Mellitus // JMIR Mhealth Uhealth. 2018. Vol. 6 (1). P. e6.

Евгений Анатольевич Пустозеров,
канд. техн. наук, доцент,
Владислав Ярославович Черных,
студент,
кафедра биотехнических систем,
Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет «ЛЭТИ»,
Полина Викторовна Попова,
канд. мед. наук, зав. НИЛ эндокринных
заболеваний у беременных,
Елена Андреевна Васюкова,
ординатор,
Александра Сергеевна Ткачук,
научный сотрудник,
Институт эндокринологии,
НМИЦ им. В.А. Алмазова,
Зафар Мухамедович Юлдашев,
д-р техн. наук, профессор,
зав. кафедрой,
кафедра биотехнических систем,
Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет «ЛЭТИ»,
г. С.-Петербург,
e-mail: yuld@mail.ru

А.А. Данилов, Э.А. Миндубаев, К.О. Гуров, Р.Р. Аубакиров,
О.А. Сурков, Е.В. Рябченко, С.В. Селищев

Устройство для беспроводного питания безаккумуляторных имплантатов при помощи индуктивной связи

Аннотация

Рассмотрена конструкция устройства для беспроводного питания безаккумуляторных имплантатов с потребляемой мощностью 500 мВт. Описаны основные технические решения, обеспечивающие достижение относительно высокой стабильности работы устройства (перепад мощности менее 10 %) при типичных для медицинских применений смещениях передающей и принимающей антенн относительно друг друга (до 20 мм). Приведены результаты технических испытаний устройства и испытаний с использованием имитатора биологических тканей (изотонического раствора).

Введение

Внедрение систем беспроводной передачи энергии (БПЭ) на основе индуктивной связи является перспективным направлением развития имплантируемых медицинских приборов (ИМП) [1]-[3]. В настоящее время такие системы применяются для энергообеспечения кохлеарных имплантатов [4] и нейростимуляторов [5]. Ведется разработка систем БПЭ, которые могут использоваться для энергообеспечения аппаратов вспомогательного кровообращения [6], визуальных протезов [7], кардиостимуляторов [8]. Основным преимуществом систем БПЭ на основе индуктивной связи является то, что их приме-

нение позволяет решить ряд проблем, характерных для используемых в данный момент методов энергообеспечения. Применение систем беспроводного энергообеспечения вместо чрескожных проводов значительно снижает риск развития послеоперационных инфекций. Кроме того, данное техническое решение позволяет отказаться от использования имплантируемых источников питания, применение которых зачастую сопряжено с необходимостью повторных имплантаций в связи с исчерпанием ресурса имплантируемой батареи.

Основными техническими трудностями при создании системы БПЭ для питания ИМП является обеспечение высокой эффективности передачи энергии [1]-[3], [9], [10] и стабильнос-

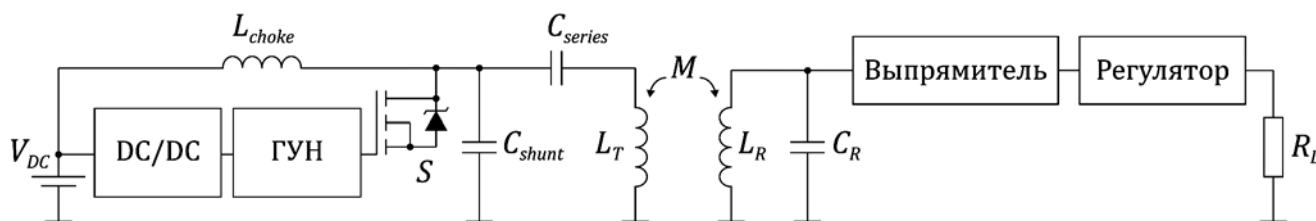


Рис. 1. Принципиальная схема устройства беспроводного питания безаккумуляторных имплантатов (DC/DC – понижающий преобразователь напряжения, ГУН – генератор, управляемый напряжением)