

Информационные технологии для мониторинга юных пациентов с сахарным диабетом

Н.А. Жолдас, М.Е. Мансурова

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

Аннотация: Статья посвящена техническим средствам мониторинга уровня сахара у пациентов. Известно множество аналогичных систем для измерения и мониторинга уровня сахара в крови. Перечень решаемых ими задач включает в себя активное отслеживание уровня глюкозы в крови и контроль физической активности, диеты и потребления инсулина. Последние достижения в области диабетических технологий и приложений для самоконтроля облегчили пациентам доступ к соответствующим данным. Возможности Интернета вещей (IoT), информационно-коммуникационных технологий и машинного обучения позволяют оптимизировать затраты в здравоохранении и организации онлайн медуслуг. Такие методы, как прогнозирование глюкозы в крови (моделирование персонализированного профиля) и моделирование динамики глюкозы в крови, являются ключевыми в разработке технологий для мониторинга пациентов с сахарным диабетом. Повышение доступности достаточного количества исторических данных о пациентах проложило путь для внедрения машинного обучения и его применения при лечении диабета. Способность машинного обучения решать сложные задачи в динамической среде и знаниях способствовала его успеху в исследованиях диабета. Во всем мире растет число случаев заболевания диабетом среди детей, поэтому мониторинг юных пациентов является актуальной темой. Поэтому данный обзор направлен в основном на отыскание оптимальной структуры для мониторинга состояния юных пациентов, больных диабетом; такая система должна обладать рядом отличительных особенностей, о которых в литературе не найдено практически никаких сведений, что определяет новизну данной статьи.

Ключевые слова: мониторинг уровня глюкозы, сахарный диабет, Интернет вещей, датчик, машинное обучение, нейронные сети, большие данные, прогнозирование глюкозы.

ВВЕДЕНИЕ

Сфера здравоохранения постоянно развивается и предлагает множество исследовательских возможностей. Это развитие происходит благодаря использованию технологий и приложений Интернета вещей (IoT). Они сочетают в себе информационные и коммуникационные технологии (ИКТ), использование датчиков, генерацию больших массивов данных и применение больших данных, методы машинного обучения и искусственный интеллект. Новые технологии в основном используются для постоянного наблюдения за пациентами, страдающими хроническими заболеваниями [1], число которых в последние годы увеличилось.

Методы машинного обучения позволяют автоматически по полученным массивам неявно зависящих друг от друга величин определять математические модели этих зависимостей с высокой точностью, что позволяет осуществлять прогнозы развития болезни и прогнозы состояния пациентов с высокой точностью на основании различных психологических и иных факторов и параметров его жизнедеятельности, которые могут быть определены и измерены различными способами. Модели раскрывают зависимости от представления входных данных к выходным.

Характеристики традиционных алгоритмов машинного обучения, таких как логистическая регрессия, k -ближайшие соседи или поддержка векторной регрессии, во многом зависят от пред-

ставления данных, которые они предоставляют. Как правило, характеристики – информация, которую представляет собой представление – разрабатываются с использованием предварительных знаний и статистических характеристик (среднее значение, дисперсия), анализа главных компонент (PCA) или линейного дискриминантного анализа. Искусственные нейронные сети также широко исследуются при лечении диабета [2, 3].

Хронические заболевания отличаются большой продолжительностью и требуют длительного лечения. Пациенты с хроническими заболеваниями обычно проводят в больнице длительное время для ежедневного наблюдения. Некоторыми распространенными хроническими заболеваниями могут быть болезни сердца, рак или диабет. Без должного лечения диабет сильно снижает качество жизни пациента и наиболее опасна, может приводить к летальным исходам, тогда как при своевременном обнаружении кризисных ситуаций лечение может быть весьма эффективным.

Диабет – это хроническое заболевание, связанное с дисфункцией поджелудочной железы, которая возникает, когда этот орган не производит правильный уровень инсулина (диабет 1 типа, T1D) или организм не использует инсулин должным образом (диабет 2 типа, T2D) [1]. Диабет 1 типа чаще всего диагностируется по таким симптомам как потеря веса, серьезные общие нарушения, кетоз и гипергликемия. Диабет 2 типа появляется в результате нарушения секреции инсулина в условиях инсули-

норезистентности [4, 5]. Отсутствие или недостаточное производство инсулина организмом является результатом отсутствия контроля над бета-клетками. Высокий или низкий уровень сахара в крови может вызвать дисфункцию и повреждение многих органов, таких как глаза, нервы и кровеносные сосуды. Следовательно, необходим постоянный и ежедневный мониторинг, чтобы избежать ухудшения здоровья пациента с диабетом.

Основная забота человека, страдающего диабетом, состоит в регулярном контроле параметра глюкозы в крови, чтобы избежать отклонений в границах глюкозы. Методы мониторинга этих уровней подразделяются на три категории: инвазивные, минимально инвазивные и неинвазивные [6], описанные ниже:

- К инвазивной категории относятся наиболее часто используемые методы, поскольку они обеспечивают максимальную точность результатов за счет прямого контакта с кровью пациента. Традиционная процедура – укол пальца, что болезненно для пациента. Измерения должны проводиться в строгом режиме очистки, поскольку могут возникнуть инфекции [6, 7].

- Метод минимально инвазивных вмешательств использует микропоры, которые представляют собой небольшие отверстия на коже, вызванные лазерным излучением. Когда поры открыты, устройство создает постоянное вакуумное давление, которое извлекает небольшое количество трансдермальной жидкости организма. С полученным образцом ферментный электрод обрабатывает и измеряет уровень глюкозы.

- К неинвазивной категории относятся неинвазивные глюкометры, которые позволяют определить уровень глюкозы без взятия образца крови. Его работа заключается в размещении датчика в определенной области тела для получения показаний глюкозы. Достоверность значений составляет почти 100%, поскольку специалисты уверены, что количество глюкозы в крови равно количеству, обнаруженному на коже пациента [6, 7]. К сожалению, биологические жидкости, такие как слюна, моча, пот или слезы, были изучены в качестве неинвазивных тестов на глюкозу, но с их помощью невозможно постоянно отслеживать уровни глюкозы.

Непрерывный мониторинг уровня глюкозы позволяет улучшить метаболический контроль пациента и обеспечивает лучший профиль колебаний глюкозы в течение всего дня. Избежать критических значений уровня сахара в крови пациента можно с помощью прогнозов, например, анализируя тенденцию уровней с помощью интеллектуальных алгоритмов. Разрабатываются новые подходы к мониторингу параметра глюкозы у пациентов. В них используются неинвазивные методы, а также технологии передачи и обработки данных, обеспечивающие своевременное считывание [8–10].

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В статье поставлена задача изучить существующие системы мониторинга пациентов с сахарным диабетом, показать их преимущества и недостатки. Рассматривается возможность разработки системы мониторинга пациентов с сахарным диабетом и нахождения определенной закономерности в данных, которая поможет определить оптимальную дозу инсулина.

Наибольшую сложность представляет собой задача мониторинга состояния здоровья детей и подростков, поскольку вследствие их возрастной высокой активности представляется большой проблемой постоянное присутствие на их организмах большого количества датчиков, или регулярное взятие проб или регулярные либо непрерывные измерения иными способами. В большинстве известных публикаций проблеме мониторинга состояния именно детей не уделяется особого внимания. Под комплексным мониторингом понимается измерение не только состояние уровня сахара в крови, но также и непрерывное или периодическое измерение других параметров функционирования организма для комплексной диагностики текущего состояния здоровья пациентов.

2. ОБЗОР ИЗВЕСТНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ (МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ)

В статье [18] представляют мониторинг глюкозы у лиц с диабетом с использованием долгосрочной имплантированной сенсорной системы и модели. Данные об уровне глюкозы отправляются на внешние приемники каждые две минуты. Система демонстрирует свою способность к непрерывному долгосрочному мониторингу глюкозы. Кроме того, система доказывает, что имплантированные датчики можно помещать в человеческое тело на длительный период времени (например, 180 дней) для лечения диабета и других заболеваний.

В работе [19] предлагают систему мониторинга уровня глюкозы в крови, основанную на беспроводной локальной сети тела, для обнаружения диабета. Система построена с использованием датчика глюкометра, *Arduino Uno* и модуля *Zigbee*. Врач и опекун могут получить доступ к веб-странице для удаленного мониторинга уровня глюкозы у пациента. Однако система не является энергоэффективной из-за высокого энергопотребления платы *Arduino Uno* и модуля *Zigbee*.

В работе [20] рассмотрены различные схемы, которые используются в системе мониторинга уровня глюкозы в крови. Авторы в основном касались неинвазивных подходов к системе мониторинга глюкозы в крови. Они рассмотрели ряд инвазивных методов, которые использовались в последние годы для измерения уровня глюкозы в крови. При инвазивном подходе

методов капля образца крови берется с помощью игл, и кровь переносится в устройство для измерения глюкозы с целью измерения уровня глюкозы в крови. Альтернативный способ измерения глюкозы – это частично инвазивный метод, который использует метод введения сенсора в кожу для измерения уровня глюкозы. Авторы также предложили неинвазивный метод измерения уровня глюкозы в крови. Этот метод реализуется путем размещения датчиков непосредственно на теле человека без учета проб крови. Трансдермальный и оптический – это методы, принятые для неинвазивного измерения уровня глюкозы в крови. Преимущество использования неинвазивного глюкометра заключается в том, что он более компактный и легкий, и его можно контролировать с помощью смартфонов. Одним из основных недостатков этого устройства является то, что на него воздействуют различные человеческие факторы, такие как температура, движение, влажность кожи.

Система на основе Интернета вещей для диагностики диабетической ретинопатии была представлена в работе [22]. Предлагаемая методика оценивает уровень глюкозы в крови с помощью датчиков на больных диабетом. Платформа Интернета вещей (IoT) предлагает работоспособное решение диабетической ретинопатии, чтобы спасти пациента от потери зрения на основе показаний датчика. Датчик тела безопасно перемещает данные с платформой IoT в мобильные приложения, чтобы взаимодействовать друг с другом. Эта платформа непрерывно собирает большие объемы данных с датчиков и устройств IoT и хранит их в базе данных.

В работе [23] предложили облачную систему для диагностики сахарного диабета с использованием алгоритма кластеризации K-средних. Предлагаемая облачная архитектура использует платформу больших данных Hadoop в сочетании с техникой кластеризации машинного обучения для решения задач извлечения полезной информации из огромного набора медицинских данных. Эта система предсказывает случай диабета в различных условиях и, кроме того, сравнивает, какой из двух используемых методов кластеризации (k-среднее и иерархический алгоритм кластеризации) дает лучший результат в зависимости от производительности, времени выполнения и качества. Среди других характеристик набора данных исследуются пол, возраст и семья. Результаты показывают, что у большего числа людей в возрасте от 45 до 64 лет диагностируется диабет, аналогично гипертония и трудовой характер также в значительной степени влияют на людей.

В работе [24] предложили удаленную систему на основе IoT для постоянного мониторинга глюкозы в реальном времени. С помощью этой системы поставщики медицинских услуг; врачи и лица, осуществляющие уход, с помощью своего смартфона и веб-браузера могут

наблюдать за своим пациентом в любое время и в любом месте. Узлы датчика получают множество типов данных (например, уровень глюкозы в крови, температуру тела и другие данные об окружающей среде) и отправляют данные удаленно на шлюз, эффективно с точки зрения потребления энергии. С помощью адаптированного радиоприемника смартфон пациента предоставляет платформу для приема данных от концентраторов датчиков. Мало того, шлюз вместе со своим приложением также предоставляет пользователям расширенные услуги, такие как служба уведомлений. Результат продемонстрировал, что можно постоянно и непрерывно дистанционно контролировать уровень глюкозы, а также можно сделать систему энергоэффективной.

В работе [25] рассмотрено неинвазивное измерение уровня глюкозы в крови на основе оптического метода в ближней инфракрасной области (БИК). Это дает преимущество облегчения боли из-за прокалывания пальца при инвазивных методах. Неинвазивный метод мониторинга глюкозы снижает проблемы, с которыми сталкиваются при измерении глюкозы, что снижает расходы на здравоохранение. Примером этого метода является популярная ИК-спектроскопия, но метод с надежным результатом еще не установлен.

Система мониторинга регистрирует различные действия пользователей, связанные со здоровьем. Более того, его можно рассматривать как информационную платформу для здравоохранения, которая обеспечивает взаимодействие между пациентами, медицинскими учреждениями и медицинскими устройствами по беспроводной сети. Основная идея системы заключается в сборе данных о жизненно важных функциях пользователей с помощью датчиков, а затем в передаче данных по беспроводной сети на платформу удаленного обслуживания. После этого с помощью методов машинного обучения он может помочь пользователям анализировать текущие паттерны здоровья и прогнозировать будущие изменения состояния здоровья.

Архитектура системы состоит из трех основных компонентов: сенсорных модулей, модуля сбора данных и сервера базы данных, который представляет собой мобильное приложение, которое работает как локальный сервер, установленный в смартфоне, как показано на Рис. 1. Структура передачи информации для этого случая показана на Рис. 2. В этой системе датчики собирают данные о жизненно важных функциях пользователя, а затем передают эти данные на смартфон. Датчик глюкометра, фитнес-браслет используются для сбора пользовательских данных, таких как частота сердечных сокращений, количество шагов и уровень глюкозы крови. Сенсор и личные данные передаются по беспроводной сети на защищенный удаленный сервер, на котором

установлена обработка данных в реальном времени, что позволяет системе быстро обрабатывать огромное количество данных с сенсоров, прежде чем они будут сохранены в *MongoDB*. Затем результаты анализа представляются медицинской бригаде через веб-систему

мониторинга состояния здоровья. Результаты сочетаются со стандартной медицинской помощью врача, и пациенту предоставляется персонализированная реабилитация (индивидуальная медицинская помощь).

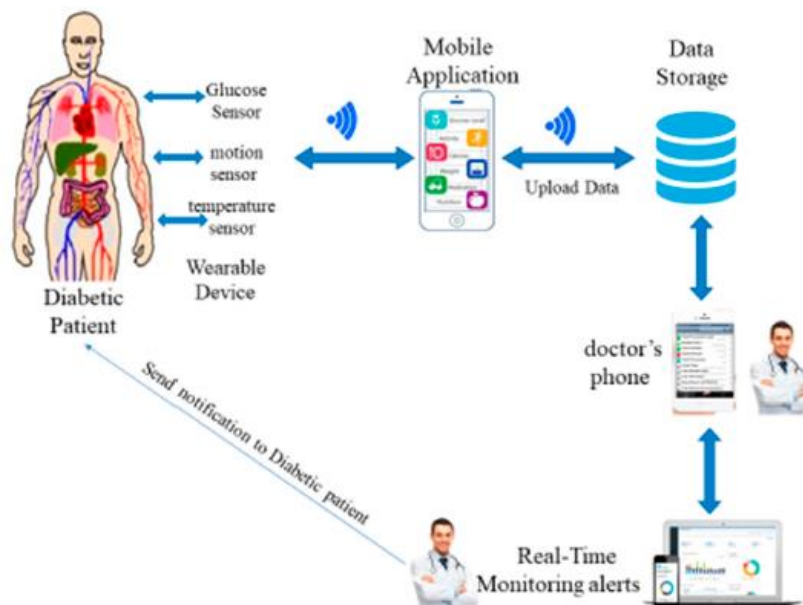


Рис. 1. Архитектура системы мониторинга [21]

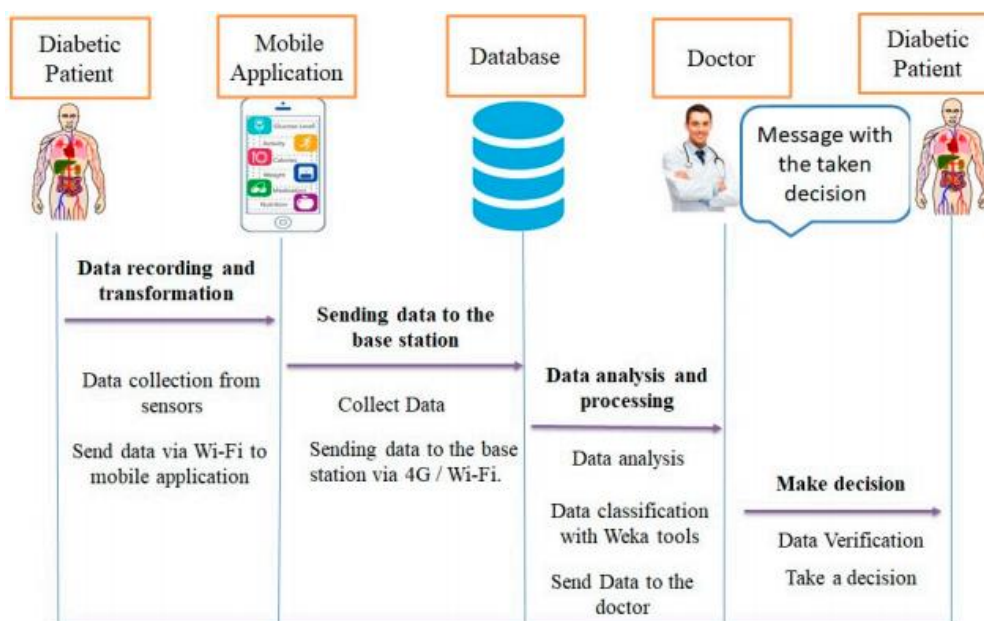


Рис. 2. Структура передачи информации [21]

В работе [17] для прогнозирования уровня глюкозы использована архитектура многоуровневой сверточной рекуррентной нейронной сети (*CRNN*) (Рис. 3). Модель обучается на данных, включающих данные датчиков. После предварительной обработки выровненные по времени многомерные данные временных рядов подаются в *CRNN* для обучения. Архитектура *CRNN* состоит из трех частей: многослойной свер-

точной нейронной сети, которая извлекает характеристики данных с помощью свертки и объединения, за которым следует уровень рекуррентной нейронной сети (*RNN*) с ячейками долгосрочной краткосрочной памяти (*LSTM*) и полносвязные слои. Используется вариант модели *LSTM*, поскольку *LSTM* показывает хорошие характеристики при прогнозировании временных рядов с долгими временными зависимостями [11]. Конечный результат – это

результат регрессии по полностью связанным слоям. Модель *CRNN* реализована с использованием библиотеки программного обеспечения с открытым исходным кодом *Tensorflow* [12].

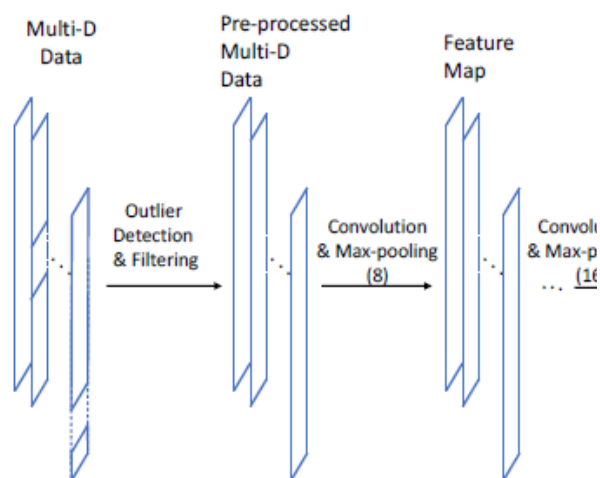


Рис. 3. Структура сверточной рекуррентной нейронной сети для прогнозирования глюкозы [17]

В работе [16] предложено мобильное приложение, которое показывает данные о пациенте и показатели состояния его здоровья. Пациент получает рекомендации в зависимости от состояния его здоровья.

3. ПРЕДЛАГАЕМАЯ СТРУКТУРА

На основе изучения аналогичных структур в рассмотренных выше публикациях, можно предложить обобщенную (универсальную) систему, в наибольшей степени отвечающую поставленным задачам комплексного мониторинга состояния здоровья у пациентов в юном возрасте (детей и подростков).

За основу предлагается взять архитектуру системы мониторинга [21]. Систему можно улучшить за счет добавления других показателей пациентов, которые будут полезны при прогнозировании уровня глюкозы в крови (уровень гликированного гемоглобина, уровень фруктозамина в крови).

Авторы предполагают в будущем использовать следующие сенсоры: глюкометр для измерения уровня глюкозы у пациентов с диабетом тела и шагомер, который может измерять физическую активность каждого пациента (Рис. 4). Система мониторинга будет получать информацию от нескольких датчиков. Эта информация передается через *Wi-Fi* на смартфон, который будет отвечать за отправку этой информации врачу и в базу данных одновременно. Данные, генерируемые датчиками, будут отправлены в базу данных для лечения и отправлены врачу для принятия решения. Передача будет от датчика к мобильному

телефону, от телефона к базе данных, от базы данных к врачу и от врача к пациенту (см. Рис. 2).

Будет разработана веб-система персонализированного мониторинга состояния здоровья для получения и представления данных о жизненно важных функциях пользователей в режиме реального времени, подобно тому, как это делает система [21]. Предлагаемая система будет генерировать отчет о данных мониторинга нескольких пациентов аналогично тому, как это делает система в работе [21]. В веб-системе будут отображены устройства и разные показатели пациента, такие как частота сердцебиения, вес, артериальное давление, уровень глюкозы. Предложенная система может использоваться пациентами и медицинскими учреждениями, чтобы помочь пациентам лучше управлять своим хроническим заболеванием. Данные датчиков, отправленные сенсорными устройствами будут храниться в базе данных. Система мониторинга, установленная на стороне сервера легко доступна через персональное устройство (компьютер, ноутбук или смартфон) для клиентов, подключенных к Интернету. Данные датчиков в сочетании с личными данными, такими как пол, дата рождения и рост, будут представлены в системе для каждого пользователя. Постоянно отслеживая данные о жизненно важных функциях пользователей, можно собрать полную историю показателей жизнедеятельности пользователя и подготовить ее для дальнейшего анализа с использованием алгоритмов на основе машинного обучения. Предлагаемая персонализированная система мониторинга должна быть масштабируемой, чтобы приспособиться к растущему объему данных датчиков и сенсорных устройств без заметной потери производительности.



Рис. 4. Пример возможных для использования датчиков: а) фитнес-браслет Mi Band 5; б) глюкометр OneTouch [26]

Будет разработан прототип приложения для *Android*, позволяющий получать данные о жизненно важных функциях пользователя с датчиков, вводимые пользователем информацию (пол, рост, возраст и другую информацию) и персонализированную реабилитацию, подобно

тому, как это делает мобильное приложение [16]. Прогнозирование уровня глюкозы будет реализована на основе структуры сверточной рекуррентной нейронной сети [17] и его результат будет показываться в приложении. Мобильное приложение будет служить для пациентов с диабетом в качестве личной утилиты для контроля/саморегулирования своего хронического состояния. Пациенты с диабетом должны контролировать свой уровень глюкозы с помощью приема лекарств, здорового питания и физической активности, чтобы улучшить гликемический контроль и качество здоровья. Ожидается, что пациенты с диабетом будут контролировать свой уровень глюкозы в безопасном диапазоне 70–180 мг/дл. Гипергликемия может привести к долгосрочным осложнениям, например, к ретинопатии, к нефропатии и к сердечно-сосудистым заболеваниям, в то время как гипогликемия может вызвать краткосрочные неблагоприятные состояния, которые могут вызвать кому или даже смерть [13]. Благодаря использованию персонализированной системы мониторинга полная история данных о жизненно важных функциях пользователя может храниться в облачной системе. Кроме того, интеграция прогнозирования уровня глюкозы крови на основе *LSTM* в систему означает, что предупреждения могут быть сгенерированы до наступления критических гипогликемических / гипергликемических событий. Таким образом, зная эту информацию как можно раньше, человек может избежать наихудших условий в будущем. Более того, в критической ситуации система может выдать предложение о посещении врача.

Персонализированная программа реабилитации для пациентов с диабетом – физическая активность и упражнения. Физическая активность определяется как любое движение, увеличивающее потребление энергии, в то время как упражнения – это более расчетный или структурированный вид физической активности. Всем пациентам с диабетом следует рекомендовать физическую активность и упражнения как часть контроля уровня глюкозы в крови и улучшения здоровья. Отчет, опубликованный в *Diabetes Care*, включает рекомендации для пациентов с СД1 и СД2. Пациенты с СД2 должны еженедельно заниматься умеренной и высокой физической активностью 150 минут или более. Мероприятие должно проводиться не менее трех дней в неделю и не более двух дней подряд без активности. Прогулка, разгибание ног или растяжка рук над головой каждые 30 минут в течение длительного периода малоподвижного образа жизни рекомендуются для улучшения контроля уровня сахара в крови, особенно для пациентов с СД2. При СД1 рекомендуется активность молодежи и взрослым. Дети и подростки с СД1 или СД2 должны заниматься аэробной нагрузкой умеренной или высокой

интенсивности в течение 60 минут в день или более с активными упражнениями для укрепления мышц и костей не менее трех дней в неделю [14]. Кроме того, потеря веса является важной целью для людей с избыточным весом или ожирением, особенно для людей с СД2. Отчет ADA показывает преимущества потери веса для профилактики и лечения СД2. Результаты показывают, что потеря веса может быть достигнута путем изменения образа жизни, что включает снижение потребления энергии и увеличение физической активности. Потеря веса снижает риск сердечно-сосудистых заболеваний, улучшает гликемический контроль и может предотвратить развитие СД2 у людей с преддиабетом. В отчете утверждается, что путем умеренного снижения калорийности питания (500–1000 ккал/день) может быть достигнута прогрессивная потеря веса (1–2 фунта в неделю). Кроме того, для большинства пациентов диета для похудения должна обеспечивать по крайней мере 1000–1200 ккал/день для женщин и 1200–1600 ккал/день для мужчин [15].

4. ОСНОВНЫЕ ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРЕДЛАГАЕМОЙ СТРУКТУРЫ

Традиционные системы сообщают сведения о здоровье пациента врачу и самому пациенту. В случае мониторинга состояния юных пациентов возникает третье лицо – родитель (родители) или опекун (опекуны). В этой структуре появляется новый пользователь с новой ролью. Часть функций пациента из системы для взрослого пациента передается родителю, при этом у пациента эти функции могут либо сохраняться, либо блокироваться, в зависимости от возраста ребенка и в соответствии с желанием родителя.

Также в качестве замеченных недостатков известных структур можно отнести дублирование одного и того же пользователя на одной схеме. Это может быть целесообразным при описании информационных потоков в структуре для упрощения сети связей, означающих передачу информации или документации, аналогично тому, как на сложных принципиальных схемах допускается вместо того, чтобы тянуть связь от какого-то элемента, обозначить соответствующую шину уникальным именем, тогда в другом месте изображение шины с тем же именем означает, что это та же самая шина. Но на функциональных схемах, где каждый объект представлен единственным блоком, такое дублирование не целесообразно. Если внимательно изучить схему по *Рис. 1*, можно обнаружить, что на ней имеется дважды изображенный мнемосимвол лечащего врача. Следует различать, что лечащих врачей может быть несколько, например, терапевт и узкий специалист, либо специалист регистратуры и непосредственно лечащий врач. Также может быть персонифицированный врач, сопровожда-

ющий данного пациента (с его персональным мобильным телефоном) и врач по должности, например, замещающий этого врача, эти тонкости следует очень четко отличать и представлять на структуре. Мы предлагаем, таким образом, иметь несколько ролей врачей, а именно – общий вход для медицинского персонала (ко которому доступны сведения из регистратуры, или для главного врача для выписки больничного листа), вход для участкового терапевта, а также вход для узкопрофильного специалиста. Каждый такой доступ, тем не менее, должен иметь личный логин и личный пароль, поскольку персональная ответственность за действие медицинского персонала остаётся актуальной, замещающий узкопрофильный специалист должен быть зафиксирован именно как другой врач, не являющийся личным (семейным, участковым) врачом данного пациента. Это аналогично личной подписи и личной печати на рецептах и на больничных листах.

Также может быть доступна обезличенная информация для медицинских работников, которые осуществляют общий надзор или, возможно, научные исследования или сбор статистических данных по заболеваемости: для таких специалистов не требуется и не желательно предоставление доступа о персонализированных данных пациента (фамилия, имя, отчество, адрес проживания, гражданство и т.п.), но может представлять интерес общие характеристики, как, например, возраст, пол, характер течения болезни, сопутствующие заболевания, назначения, противопоказания, результаты развития болезни и т. п.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В этом исследовании показано, что путем интеграции сенсорных устройств с системой мониторинга можно собрать и проанализировать полную историю данных о жизненно важных функциях пользователя (частота сердечных сокращений, количество шагов и уровень глюкозы крови, уровень гликированного гемоглобина, уровень фруктозамина в крови). Система мониторинга должна быть масштабируемой, чтобы соответствовать растущему объему сенсорных данных от сенсорных устройств и количеству пациентов.

Предложено осуществлять прогноз уровня глюкозы крови на основе данных о жизненно важных функциях пользователя, собранных сенсорными устройствами. Разработка новой системы направлена на применение для лечения и мониторинга состояния здоровья юных пациентов. С этой целью датчики должны быть наиболее защищены от случайных поломок или отключения, поэтому предпочтение отдается неинвазивным методам и вандалозащищенному исполнению. Предложено разделение функций пациента и родителя. Аналогичные проблемы

могут возникать при лечении крайне пожилых пациентов, а также пациентов с нарушением психики, в этом случае также потребуются методы защиты датчиков от нежелательных действий пациентов (по недомыслию или вследствие недостаточно адекватного состояния, даже временно), и разделение функций пациента и опекуна.

Ожидается, что результаты этого исследования будут использовать пациенты с диабетом. Систему мониторинга можно использовать в качестве личного инструмента для контроля пациентов с диабетом и для самоконтроля (для более старших пациентов). Кроме того, пациенты с диабетом (или их опекуны) могут получить прогнозы своего уровня глюкозы в крови и, зная эту информацию как можно раньше, могут избежать ухудшения своего состояния в будущем.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Rghioui, A.; Lloret, J.; Parra, L.; Sendra, S.; Oumnad, A. Glucose Data Classification for Diabetic Patient Monitoring. *Appl. Sci.* 2019, 9, 4459.
- [2] M. v. d. W. H.N. Mhaskar, S.V. Pereverzyev, "A deep learning approach to diabetic blood glucose prediction," <https://arxiv.org/abs/1707.05828>, 2017.
- [3] C. Marling and R. Bunescu, "The OhioT1DM dataset for blood glucose level prediction," in The 3rd International Workshop on Knowledge Discovery in Healthcare Data, Stockholm, Sweden, July 2018, CEUR proceedings in press, available at <http://smarthealth.cs.ohio.edu/bglp/OhioT1DM-dataset-paper.pdf>.
- [4] Corriere, M., Rooparinesingh, N., & Kalyani, R. R. (2013). Epidemiology of diabetes and diabetes complications in the elderly: an emerging public health burden. *Current diabetes reports*, 13(6), 805–813. <https://doi.org/10.1007/s11892-013-0425-5>.
- [5] International Diabetes Federation. *Managing Older People with Type 2 Diabetes; Global Guideline; IDF: Brussels, Belgium*, 2013.
- [6] Salam, N.A.B.A.; bin Mohd Saad, W.H.; Manap, Z.B.; Salehuddin, F. The evolution of non-invasive blood glucose monitoring system for personal application. *JTEC* 2016, 8, 59–65.
- [7] Frontino, G., Meschi, F., Bonfanti, R., Rigamonti, A., Battaglino, R., Favalli, V., Bonura, C., Ferro, G., & Chiumello, G. (2013). Future perspectives in glucose monitoring sensors. *European Endocrinology*, 9(1), 6–11.
- [8] Villena Gonzales, W., Mobashsher, A. T., & Abbosh, A. (2019). The Progress of Glucose Monitoring-A Review of Invasive to Minimally and Non-Invasive Techniques, Devices and Sensors. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 19(4), 800. <https://doi.org/10.3390/s19040800>
- [9] Facchinetti A. (2016). Continuous Glucose Monitoring Sensors: Past, Present and Future Algorithmic Challenges. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 16(12), 2093. <https://doi.org/10.3390/s16122093>.
- [10] Bruen D, Delaney C, Florea L, Diamond D. Glucose Sensing for Diabetes Monitoring: Recent Developments. *Sensors (Basel)*. 2017;17(8):1866. Published 2017 Aug 12. doi:10.3390/s17081866.

- [11] Goodfellow, Y. Bengio, and A. Courville, Deep Learning. The MIT Press, 2016.
- [12] M. Abadi, A. Agarwal, P. Barham, E. Brevdo, Z. Chen, C. Citro, G. S. Corrado, A. Davis, J. Dean, M. Devin, S. Ghemawat, I. Goodfellow, A. Harp, G. Irving, M. Isard, Y. Jia, R. Jozefowicz, L. Kaiser, M. Kudlur, J. Levenberg, D. Man' e, R. Monga, S. Moore, D. Murray, C. Olah, M. Schuster, J. Shlens, B. Steiner, I. Sutskever, K. Talwar, P. Tucker, V. Vanhoucke, V. Vasudevan, F. Vi'egas, O. Vinyals, P. Warden, M. Wattenberg, M. Wicke, Y. Yu, and X. Zheng, "TensorFlow: Large-scale machine learning on heterogeneous systems," 2015, software available from tensorflow.org.
- [13] American Diabetes Association Introduction: Standards of medical care in diabetes—2018. Diabetes Care. 2018;41(Suppl. 1):S1–S2. doi: 10.2337/dc18-Sint01.
- [14] Colberg S.R., Sigal R.J., Yardley J.E., Riddell M.C., Dunstan D.W., Dempsey P.C., Horton E.S., Castorino K., Tate D.F. Physical Activity/exercise and diabetes: A position statement of the American Diabetes Association. Diabetes Care. 2016;39:2065–2079. doi: 10.2337/dc16-1728.
- [15] Klein, S., Sheard, N. F., Pi-Sunyer, X., Daly, A., Wylie-Rosett, J., Kulkarni, K., Clark, N. G., American Diabetes Association, North American Association for the Study of Obesity, & American Society for Clinical Nutrition (2004). Weight management through lifestyle modification for the prevention and management of type 2 diabetes: rationale and strategies. A statement of the American Diabetes Association, the North American Association for the Study of Obesity, and the American Society for Clinical Nutrition. The American journal of clinical nutrition, 80(2), 257–263. <https://doi.org/10.1093/ajcn/80.2.257>
- [16] Alfian G, Syafrudin M, Ijaz MF, Syaekhoni MA, Fitriyani NL, Rhee J. A Personalized Healthcare Monitoring System for Diabetic Patients by Utilizing BLE-Based Sensors and Real-Time Data Processing. Sensors (Basel). 2018;18(7):2183. Published 2018 Jul 6. doi:10.3390/s18072183
- [17] K. Li, J. Daniels, C. Liu, P. Herrero and P. Georgiou, "Convolutional Recurrent Neural Networks for Glucose Prediction," in IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, vol. 24, no. 2, pp. 603-613, Feb. 2020, doi: 10.1109/JBHI.2019.2908488
- [18] J. Lucisano et al. Glucose monitoring in individuals with diabetes using a long-term implanted sensor/telemetry system and model. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2016.
- [19] MUH. Al Rasyid et al. Implementation of blood glucose levels monitoring system based on wireless body area network. In Consumer Electronics-Taiwan (ICCE-TW), 2016 IEEE International Conference on, pages 1–2. IEEE, 2016.
- [20] Salam, N. A., W. H. M. Saad, Z. Manap and F. Salehuddin. "The Evolution of Non-invasive Blood Glucose Monitoring System for Personal Application." Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering 8 (2016): 59-65.
- [21] Rghioui, A.; Lloret, J.; Harane, M.; Oumnad, A. A Smart Glucose Monitoring System for Diabetic Patient. Electronics 2020, 9, 678.
- [22] Yannian Wang, Shanshan Liu, Ruoxi Chen, Zhongning Chen, Jinlei Yuan, and Quanzhong Li(2017): A Novel Classification Indicator of Type 1 and Type 2 Diabetes in China Sci Rep. Vol 7 no 2 doi: 10.1038/s41598-017-17433-8
- [23] Sharma, M., Singh, G., & Singh, R.(2019). AnAdvanced Conceptual Diagnostic Healthcare Framework for Diabetes and Cardiovascular Disorders. arXiv preprint arXiv:1901.10530
- [24] Kumar, P. M., Lokesh, S., Varatharajan, R., Babu, G. C., & Parthasarathy, P. (2018). Cloud and IoT based disease prediction and diagnosis system for healthcare using Fuzzy neural classifier. FutureGeneration Computer Systems, 86, 527-534
- [25] Narkhede, P., Dhalwar, S. and Karthikeyan, B. (2016). NIR Based Non-Invasive Blood Glucose Measurement. Indian Journal of Science and Technology, 9(41). DOI:10.17485/ijst/2016/v9i41/98996]
- [26] Vasanthakumar, R., K. D. Darsini, S. Subbaiah and K. Lakshmi. "IoT for monitoring diabetic patients." International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology 4 (2018): 2149-2157



Нурассыл А. Жолдас – докторант кафедры ИИ и Big Data. Казахский национальный университет им. аль-Фараби. E-mail: zh.nurassyl@gmail.com 050040, РК, г. Алматы, пр. Аль-Фараби, 71,



Мадина Есимхановна Мансурова Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, 050040, Казахстан, доцент, кандидат физико-математических наук, доцент E-mail: mansurova01@mail.ru

Статья поступила 12.01.2021.

Information Technology for Monitoring Young Patients with Diabetes Mellitus

N. A. Zholdas, M.E. Mansurova
Kazakh National University. al-Farabi, Almaty, Kazakhstan

Abstract: The article is devoted to the technical means of monitoring the sugar level in patients. Many similar systems are known for measuring and monitoring blood sugar levels. The list of tasks they solve includes actively monitoring blood glucose levels and monitoring physical activity, diet and insulin consumption. Recent advances in diabetes technology and self-management applications have made it easier for patients to access relevant data. The capabilities of the Internet of Things (IoT), information and communication technologies and machine learning help optimize costs in healthcare and the

organization of online medical services. Techniques such as predicting blood glucose (personalized profile modeling) and modeling blood glucose dynamics are key in developing technologies for monitoring patients with diabetes. Increasing the availability of sufficient historical patient data has paved the way for the introduction of machine learning and its use in diabetes management. Machine learning's ability to solve complex problems in a dynamic environment and knowledge has contributed to its success in diabetes research. Globally, the number of cases of diabetes among children is increasing, so monitoring of young patients is a hot topic. Therefore, this review is mainly aimed at finding the optimal structure for monitoring the condition of young patients with diabetes; such a system should have a number of distinctive features, about which practically no information has been found in the literature, which determines the novelty of this article.

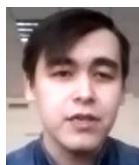
Key words: glucose monitoring, diabetes mellitus, Internet of Things, sensor, machine learning, neural networks, big data, glucose prediction.

REFERENCES

- [1] Rghioui, A.; Lloret, J.; Parra, L.; Sendra, S.; Oumnad, A. Glucose Data Classification for Diabetic Patient Monitoring. *Appl. Sci.* 2019, 9, 4459.
- [2] M. v. d. W. H.N. Mhaskar, S.V. Pereverzyev, "A deep learning approach to diabetic blood glucose prediction," <https://arxiv.org/abs/1707.05828>, 2017.
- [3] C. Marling and R. Bunesco, "The OhioT1DM dataset for blood glucose level prediction," in *The 3rd International Workshop on Knowledge Discovery in Healthcare Data*, Stockholm, Sweden, July 2018, CEUR proceedings in press, available at <http://smarthealth.cs.ohio.edu/bglp/OhioT1DM-dataset-paper.pdf>.
- [4] Corriere, M., Rooparinesingh, N., & Kalyani, R. R. (2013). Epidemiology of diabetes and diabetes complications in the elderly: an emerging public health burden. *Current diabetes reports*, 13(6), 805–813. <https://doi.org/10.1007/s11892-013-0425-5>
- [5] International Diabetes Federation. *Managing Older People with Type 2 Diabetes; Global Guideline*; IDF: Brussels, Belgium, 2013.
- [6] Salam, N.A.B.A.; bin Mohd Saad, W.H.; Manap, Z.B.; Salehuddin, F. The evolution of non-invasive blood glucose monitoring system for personal application. *JTEC* 2016, 8, 59–65.
- [7] Frontino, G., Meschi, F., Bonfanti, R., Rigamonti, A., Battaglino, R., Favalli, V., Bonura, C., Ferro, G., & Chiumello, G. (2013). Future perspectives in glucose monitoring sensors. *European Endocrinology*, 9(1), 6–11.
- [8] Villena Gonzales, W., Mobashsher, A. T., & Abbosh, A. (2019). The Progress of Glucose Monitoring—A Review of Invasive to Minimally and Non-Invasive Techniques, Devices and Sensors. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 19(4), 800. <https://doi.org/10.3390/s19040800>
- [9] Facchinetti A. (2016). Continuous Glucose Monitoring Sensors: Past, Present and Future Algorithmic Challenges. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 16(12), 2093. <https://doi.org/10.3390/s16122093>
- [10] Bruen D, Delaney C, Florea L, Diamond D. Glucose Sensing for Diabetes Monitoring: Recent Developments. *Sensors (Basel)*. 2017;17(8):1866. Published 2017 Aug 12. doi:10.3390/s17081866.
- [11] Goodfellow, Y. Bengio, and A. Courville, *Deep Learning*. The MIT Press, 2016.
- [12] M. Abadi, A. Agarwal, P. Barham, E. Brevdo, Z. Chen, C. Citro, G. S. Corrado, A. Davis, J. Dean, M. Devin, S. Ghemawat, I. Goodfellow, A. Harp, G. Irving, M. Isard, Y. Jia, R. Jozefowicz, L. Kaiser, M. Kudlur, J. Levenberg, D. Man' e, R. Monga, S. Moore, D. Murray, C. Olah, M. Schuster, J. Shlens, B. Steiner, I. Sutskever, K. Talwar, P. Tucker, V. Vanhoucke, V. Vasudevan, F. Vi'egas, O. Vinyals, P. Warden, M. Wattenberg, M. Wicke, Y. Yu, and X. Zheng, "TensorFlow: Large-scale machine learning on heterogeneous systems," 2015, software available from tensorflow.org.
- [13] American Diabetes Association Introduction: Standards of medical care in diabetes—2018. *Diabetes Care*. 2018;41(Suppl. 1):S1–S2. doi: 10.2337/dc18-Sint01.
- [14] Colberg S.R., Sigal R.J., Yardley J.E., Riddell M.C., Dunstan D.W., Dempsey P.C., Horton E.S., Castorino K., Tate D.F. Physical Activity/exercise and diabetes: A position statement of the American Diabetes Association. *Diabetes Care*. 2016;39:2065–2079. doi: 10.2337/dc16-1728.
- [15] Klein, S., Sheard, N. F., Pi-Sunyer, X., Daly, A., Wylie-Rosett, J., Kulkarni, K., Clark, N. G., American Diabetes Association, North American Association for the Study of Obesity, & American Society for Clinical Nutrition (2004). Weight management through lifestyle modification for the prevention and management of type 2 diabetes: rationale and strategies. A statement of the American Diabetes Association, the North American Association for the Study of Obesity, and the American Society for Clinical Nutrition. *The American journal of clinical nutrition*, 80(2), 257–263. <https://doi.org/10.1093/ajcn/80.2.257>
- [16] Alfian G, Syafrudin M, Ijaz MF, Syaekhoni MA, Fitriyani NL, Rhee J. A Personalized Healthcare Monitoring System for Diabetic Patients by Utilizing BLE-Based Sensors and Real-Time Data Processing. *Sensors (Basel)*. 2018;18(7):2183. Published 2018 Jul 6. doi:10.3390/s18072183
- [17] K. Li, J. Daniels, C. Liu, P. Herrero and P. Georgiou, "Convolutional Recurrent Neural Networks for Glucose Prediction," in *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, vol. 24, no. 2, pp. 603-613, Feb. 2020, doi: 10.1109/JBHI.2019.2908488
- [18] J. Lucisano et al. Glucose monitoring in individuals with diabetes using a long-term implanted sensor/telemetry system and model. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 2016.
- [19] MUH. Al Rasyid et al. Implementation of blood glucose levels monitoring system based on wireless body area network. In *Consumer Electronics-Taiwan (ICCE-TW), 2016 IEEE International Conference on*, pages 1–2. IEEE, 2016.
- [20] Salam, N. A., W. H. M. Saad, Z. Manap and F. Salehuddin. "The Evolution of Non-invasive Blood Glucose Monitoring System for Personal Application." *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering* 8 (2016): 59-65.
- [21] Rghioui, A.; Lloret, J.; Harane, M.; Oumnad, A. A Smart Glucose Monitoring System for Diabetic Patient. *Electronics* 2020, 9, 678.
- [22] Yannian Wang, Shanshan Liu, Ruoxi Chen, Zhongning Chen, Jinlei Yuan, and Quanzhong Li(2017): A Novel Classification Indicator of Type 1

and Type 2 Diabetes in China Sci Rep. Vol 7 no 2 doi: 10.1038/s41598-017-17433-8

- [23] Sharma, M., Singh, G., & Singh, R.(2019). AnAdvanced Conceptual Diagnostic Healthcare Framework for Diabetes and Cardiovascular Disorders. arXiv preprint arXiv:1901.10530
- [24] Kumar, P. M., Lokesh, S., Varatharajan, R., Babu, G. C., & Parthasarathy, P. (2018). Cloud and IoT based disease prediction and diagnosis system for healthcare using Fuzzy neural classifier. FutureGeneration Computer Systems, 86, 527-534
- [25] Narkhede, P., Dhalwar, S. and Karthikeyan, B. (2016). NIR Based Non-Invasive Blood Glucose Measurement. Indian Journal of Science and Technology, 9(41). DOI:10.17485/ijst/2016/v9i41/98996]
- [26] Vasanthakumar, R., K. D. Darsini, S. Subbaiah and K. Lakshmi. "IoT for monitoring diabetic patients." International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology 4 (2018): 2149-2157



Nurassyl Zholdas is a doctoral student at the Department of AI and Big Data. Kazakh National University named after al-Farabi. E-mail: zh.nurassyl@gmail.com 050040, RK, Almaty, Al-Farabi Ave., 71.



Madina Mansurova Esimkhanovna Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, 050040, Kazakhstan, associate professor, PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor

E-mail: mansurova01@mail.ru

The paper has been received on 12/01/2021.