

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГЛЮКОЗО-ИНСУЛИНОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

И.И. Гламаздин, К.Я. Лишик

Математическое моделирование биологических процессов является важной задачей, находящейся на стыке медицины, математики и информационных технологий. Особое значение оно приобретает при исследовании хронических заболеваний, таких как сахарный диабет, где точность прогнозирования и корректность принимаемых решений напрямую влияют на состояние пациента. В условиях роста числа пациентов с сахарным диабетом первого типа возрастает необходимость в разработке программных средств, позволяющих анализировать и прогнозировать динамику глюкозо-инсулинового взаимодействия

[1]. Предлагаемый программный комплекс основан на математической модели Novotka [2], представляющей собой систему из десяти нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений, в которой в качестве внешних воздействий рассматривают инсулиновые дозы и приемы пациентом углеводной пищи. Математическая модель состоит из подсистемы глюкозы (абсорбция, распределение и утилизация), подсистемы инсулина (абсорбция, распределение и утилизация) и подсистемы действия инсулина (действие инсулина на перенос, удаление и эндогенное производство глюкозы).

Предлагаемое веб-приложение предназначено для моделирования глюкозо-инсулинового взаимодействия у пациентов с сахарным диабетом первого типа и автоматизации процессов, связанных с оценкой их состояния. Программный комплекс объединяет функции ввода данных пациента, описание внешних воздействий, прогнозирования уровня глюкозы и визуализации результатов, обеспечивая удобный доступ к ним через веб-интерфейс. Основное назначение программного комплекса — выполнять моделирование на основе системы дифференциальных уравнений и использовать полученные результаты для анализа состояния пациента.

Приложение ориентировано как на пациентов, так и на медицинские учреждения. Для пациентов система предоставляет возможность вводить данные о приёме пищи, инъекциях инсулина и получать прогноз изменения уровня глюкозы. Для врачей-эндокринологов предусмотрен доступ к истории наблюдений, результатам моделирования и инструментам анализа, что позволяет корректировать параметры модели и принимать обоснованные решения. Использование веб-технологий обеспечивает доступ к системе через браузер без необходимости установки дополнительного программного обеспечения.

Программное средство объединяет функции моделирования, хранения и анализа данных в единой системе. Оно представляет собой веб-ориентированное решение, обеспечивающее удобный контроль параметров как пациентами, так и врачами, и позволяет повысить эффективность контроля состояния при сахарном диабете первого типа. Архитектура веб-приложения создается с использованием современных технологий: Python и Django для серверной логики, математических вычислений (решений системы нелинейных дифференциальных уравнений) и реализации веб-интерфейса, PostgreSQL для хранения данных, а также JavaScript и библиотеки визуализации для наглядного отображения графиков и прогнозов. Такая архитектура обеспечит устойчивую работу системы, масштабируемость и возможность интеграции дополнительных модулей в будущем. Структура базы данных спроектирована с учётом хранения информации о пациентах, параметрах моделирования, результатах расчётов и истории изменений. База данных обеспечивает логическую целостность, надёжность и быстрый доступ к данным для анализа и визуализации. Интуитивно понятный пользовательский интерфейс обеспечивает удобный ввод данных, наглядное представление результатов, прогнозирование состояния и возможность работы пользователям с разным уровнем подготовки.

Функциональная модель программного средства описывает основные возможности системы и взаимодействие пользователей с её компонентами. Она отражает структуру выполняемых системой функций и служит основой для дальнейшей детализации вариантов использования и функциональных требований. Веб-приложение использует ролевую модель доступа, в рамках которой пользователи разделяются на несколько категорий в зависимости от выполняемых задач. Такой подход позволяет разграничить права доступа, повысить безопасность системы и обеспечить удобство работы для различных типов пользователей. Каждая роль в системе представляет собой абстракцию, объединяющую пользователей с одинаковыми правами доступа и сценариями работы. Роль определяет

набор доступных функций и операций, которые пользователь может выполнять в системе. В программном средстве выделены основные роли: пациент, врач и администратор. Каждая из ролей взаимодействует с системой по-разному и выполняет собственные функции, связанные с использованием возможностей программного средства. Функциональная модель программного средства может быть представлена в виде диаграммы вариантов использования (Use Case Diagram) в нотации UML, которая позволяет наглядно отразить взаимодействие пользователей с системой и определить основные сценарии её применения. Использование данной диаграммы даёт возможность формализовать требования к системе, выделить ключевые функции и определить границы взаимодействия между пользователями и программным средством.

Варианты использования являются важным инструментом анализа и проектирования программного средства, поскольку позволяют описать типовые сценарии взаимодействия пользователей с системой. Они отражают последовательность действий пользователя и соответствующие реакции системы, что даёт возможность формализовать поведение программного средства и определить его функциональные границы. Рассмотрение вариантов использования особенно эффективно при применении ролевой модели доступа. Такой подход позволяет не только упростить проектирование системы, но и обеспечить её безопасность за счёт разграничения прав доступа к функционалу и базы данных системы. Каждый из рассмотренных вариантов использования включает последовательность действий пользователя и соответствующие отклики системы, что позволяет формализовать поведение приложения в различных сценариях. Описание вариантов использования служит основой для последующего определения функциональных требований и разработки архитектуры системы.

Математическая модель глюкозо-инсулинового взаимодействия в модели Novorka использует десять динамических переменных, поведение которых описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений. В результате проведения вычислительных экспериментов получены основные характеристики глюкозо-инсулинового взаимодействия в теле пациента. Особый интерес представляют динамические прогнозы уровня глюкозы, по которым вычисляются основные характеристики сахарного диабета первого типа, а именно средние значения, разброс по интервалам значений, длительность (по времени) превышения уровней глюкозы и т.д.

Литература

1. Карпелов В.А., Филлипов Ю.И., Тарасов Ю.В., Боярский М.Д., Майоров А.Ю., Шестакова М.В., Дедов И.И. Математическое моделирование системы регулирования гликемии у пациентов с сахарным диабетом // Вестник РАМН. – 2015. – № 70(5). – С. 549–560.

URL: <https://doi.org/10.15690/vramn.v70.i1441>

2. Novorka R., Canonico V., Chassin L.J. and etc. Nonlinear model predictive control of glucose concentration in subjects with type 1 diabets // Physiological measurement. – 2004. – Vol. 25 (4). – P. 905–920. – URL: <https://doi.org/10.1088/0967-3334/25/4/010>.