

Разработка прототипа интеллектуальной инсулиновой помпы

К.К. Абдулхаликова
Казанский национальный
исследовательский технический
университет им. А.Н.Туполева - КАИ
Казань, Россия
abdulhalikova.karina@yandex.ru

П.И. Тутубалин
Казанский национальный
исследовательский технический
университет им. А.Н.Туполева - КАИ
Казань, Россия
pitutubalin@kai.ru

А.Ю. Александров
Казанский национальный
исследовательский технический
университет им. А.Н.Туполева - КАИ
Казань, Россия
pitutubalin@kai.ru

С.В. Сотников
Казанский национальный
исследовательский технический
университет им. А.Н.Туполева - КАИ
Казань, Россия
pitutubalin@kai.ru

И.Н. Урахчинский
Казанский национальный
исследовательский технический
университет им. А.Н.Туполева - КАИ
Казань, Россия
pitutubalin@kai.ru

Аннотация—Представлено обоснование энергоэффективного технического решения по разработке прототипа интеллектуальной инсулиновой помпы. Рассмотрен метод, обеспечивающий безопасное регулирование гликемии пациента, больного сахарным диабетом 1 типа. Предложено для реализации метода регулирования гликемии за основу взять устройство, называемое интеллектуальной инсулиновой помпой. Устройство интеллектуальной инсулиновой помпы реализует алгоритмы регулирования гликемии. В качестве основы для алгоритмов регулирования предлагается взять базовый принцип регулирования на основе ПИД-регулятора и перспективный, основанный на использовании нейронных сетей. При этом, среди основных параметров, заложенных в регуляторе, для отмеченных алгоритмов, выступают такие параметры, как: инсулин «на борту» (IOB), углеводы «на борту» (COB), время действия инсулина (DIA), коэффициент чувствительности к инсулину (S) и учитываемые индивидуальные характеристики пациента. На основе предлагаемой модели проведен ряд экспериментов.

Ключевые слова— интеллектуальная инсулиновая помпа, PID-регулятор, нейросеть, лечение сахарного диабета 1 типа.

1. ВВЕДЕНИЕ

Проблема разработки надежной и автономной системы регулирования гликемии для лечения сахарного диабета (СД) 1 типа остается актуальной до сих пор, несмотря на большое количество научных изысканий и продолжающееся увеличение уровня заболеваемости СД. Практически единственным способом лечения СД 1 типа является применение инсулиновой помпы. Однако, применение этого метода сопряжено с рядом проблем, заключающихся в частых ситуациях перерегулирования: гипо- и гипергликемии.

Одним из способов устранения отмеченного недостатка является разработка и внедрение использования интеллектуальной инсулиновой помпы (ИИП). На данный момент такого рода работы находятся на стадии прототипирования готового устройства.

2. УСТРОЙСТВО ПРОТОТИПА ИИП

ИИП – это техническое устройство, предназначенное для помощи пациентам, больным СД 1 типа. Это устройство обеспечивает автоматическое и непрерывное отслеживание и регулирование уровня глюкозы в крови, то есть стремится подменить ряд основных функций поджелудочной железы здорового человека. В качестве прототипа ИИП выступает платформа OpenAPS, являющаяся платформой разработки [1-3]. Вкупе с - инсулиновой помпой, применяемой для лечения больных СД, модули ИИП образуют биоинформационную систему образом схожим с секрецией инсулина у здорового человека.

К разработке такого устройства могут быть применены такие требования, как: безопасность для пациента, высокая надежность компактность, энергоэффективность и простота в эксплуатации. Коротко рассмотрим функциональную схему, представленную на Рис. 1.

В состав ИИП входят:

1. CGM – устройство, позволяющее получать данные о гликемии с интервалом 5 минут;
2. радиомодуль – устройство, предназначенное для обеспечения взаимодействия микрокомпьютера, инсулиновой помпой (ИП);
3. инсулиновая помпа – устройство, которое позволяет изменять свои настройки дистанционно;
4. микрокомпьютер, в состав которого входит микроконтроллер, SD-карта и т.д.

3. ПРИНЦИП РАБОТЫ ПРОТОТИПА ИИП

Существует 2 наиболее распространенных [1] класса алгоритмов регулирования гликемии, реализованных в ИИП и предназначенных для поддержания гликемии в целевом диапазоне:

- PID-регулятор;
- нейросеть.

PID-регулятор представляет собой алгоритм регулирования, учитывающий на каждом шаге регулирования ошибку e посредством обратной связи.

PID-регулятор отличается универсальностью, простотой и быстрой реакцией на возмущающее воздействие. С другой стороны, PID-регулятор не позволяет осуществлять прогнозирование и обеспечить «обучение» и персонализацию ИИП, которые способны обеспечить нейронная сеть. Нейросеть в основе регулятора ИИП позволяет создать более гибкий алгоритм регулирования.

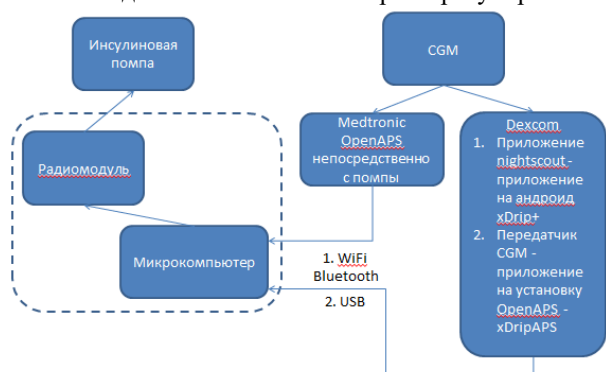


Рис. 1. Схема функциональная ИИП

1. PID-регулятор. На каждом шаге алгоритма корректирует базальную скорость и вводит болюсную дозу (при необходимости) для минимизации ошибки e , являющейся разницей между текущим и целевым значением глюкозы. Ошибка e является результатом текущего значения и целевого значения гликемии. Конечной целью регулирования является ошибка e , которая на каждом шаге равна нулю. Алгоритм регулирования учитывает значение IOB – инсулина, который активно понижает глюкозу в крови/плазме и COB – углеводов, находящихся в организме человека и активно повышающих глюкозу в крови. IOB является суммой введенных единиц инсулина, с учетом времени действия инсулина и времени с момента его введения.

2. Нейросети. В настоящее время актуальным направлением развития биомедицинских технологий является персонализированная медицина. Это подразумевает, что на протяжении всего курса лечения осуществляется мониторинг на основании доступных клинических, а впоследствии и лабораторных критериев с возможной коррекцией путем эмпирических попыток изменения схем лечения. И для такого подхода наиболее подходящими оказываются нейронные сети, обеспечивающие в процессе их обучения приведение модели регулирования к наблюдаемому состоянию пациента. Нейросеть позволяет расширить возможности регулирования и создать более гибкие алгоритмы регулирования [1].

Сравнение двух отмеченных подходов в регулировании гликемии можно провести по следующим критериям:

- время нахождения в целевом диапазоне, т.е. безопасность для пациента;
- быстродействие (время возврата гликемии в целевой диапазон);
- перерегулирование (доля времени гипо- и гипергликемии);
- оценка вычислительной сложности.

4. ЭКСПЕРИМЕНТ

Эксперимент целесообразно провести с регулятором на основе PID-регулятора и на основе нейросети. Это связано с тем, что в основе закона регулирования прототипа лежит PID-регулятор.

Процесс регулирования гликемии был смоделирован в среде *in silico* MATLAB SimBio для PID-регулятора и нейросети. Моделирование осуществлялась с помощью модели *m1* глюкозо-инсулинового ответа [5-6].

На Рис.2 представлены выходные величины, с помощью которых осуществляется регулирование, это *basalDose* и/или *bolusDose*. Значения *bolusDose*, вычисляются для приема пищи, с учетом COB, углеводов и степени энергозатрат пациента больного СД. Значение IOB указывает активный инсулин *basalDose* и/или *bolusDose*, находящийся в организме в момент регулирования.

Дозировка инсулина рассчитывается с учетом:

- 1) коэффициента чувствительности к инсулину;
- 2) расчетного значения суточной дозы инсулина;
- 3) суммарной дозы инсулина, введенной ИИП;
- 4) вида и времени действия инсулина;
- 5) питания, потребленного количества углеводов;
- 6) IOB;
- 7) COB;
- 8) возраста, веса, комплекции.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Регулирование на основе нейросети показало не только эффективность для регулирования гликемии, но и возможность персонализации лечения СД 1 типа. С помощью персонализации алгоритма посредством нейронных сетей можно устранить эту проблему. Однако данное исследование позволяет внедрить платформу в разработку и улучшить качество моделирования алгоритмов регулирования гликемии пациента.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Tutubalin, P. Status of creation of hardware-software complex of automatic control of the insulin delivery / P. Tutubalin // J. Phys.: Conf. Ser. 2019. – Vol. 1368. – P. 042006. DOI:10.1088/1742-6596/1368/4/042006.
- [2] Тутубалин, П.И. О платформе для реализации проекта искусственная поджелудочная железа / П.И. Тутубалин, А.П. Кирпичников, Р.С. Асадов // Вестник технологического университета. – 2019. – Т. 22, № 8. – С. 139-144.
- [3] Тутубалин, П.И. О работе по созданию прототипа образца искусственной поджелудочной железы / П.И. Тутубалин, С.В. Новикова, А.П. Кирпичников. // Вестник технологического университета. – 2019. – Т. 22, № 9. – С. 147-152.
- [4] Карпельев, В.А. Разработка и проверка работы ПИД-регулятора для искусственной поджелудочной железы с интраперитонеальным введением инсулина / В.А. Карпельев, Ю.И. Филиппов, А.В. Аврин // Сахарный диабет. – 2018. – № 21(1). – С. 58-65.
- [5] Dalla Man, C. Meal Simulation Model of the Glucose-Insulin System / C. Dalla Man, R.A. Rizza, C. Cobelli // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. – 2007. – Vol. 54(10). – P. 1740-1749.
- [6] Dalla Man, C. A System Model of Oral Glucose Absorption: Validation on Gold Standard Data / C. Dalla Man, M. Camilleri, C. Cobelli // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. – 2006. – Vol. 53(12). – P. 2472-2478.