

Штучний інтелект у керуванні дозуванням інсуліну: аналіз методів та порівняння.

Вінницький національний технічний університет

Анотація: проведено огляд та розглянуто існуючі методи та системи, їх ефективність, економічне обґрунтування, рівень аргументованості прийняти рішень про дозування прийому інсуліну.

Ключові слова: штучний інтелект (ШІ), дозування, системи автоматизованої доставки інсуліну (AID), модельне предиктивне керування (MPC), Навчання з підкріпленням (RL), глибоке навчання (DL), нечітка логіка, пояснюваний ШІ (XAI), час у діапазоні (TIR).

Вступ

Керування глікемією залишається однією з найскладніших проблем сучасної медицини. Висока поширеність діабету, значне економічне навантаження, пов'язане із лікуванням, та ризик серйозних, інвалідизуючих ускладнень визначають нагальну потребу в інноваційних підходах. Контроль рівня глюкози в крові (BGL) є надзвичайно складним завданням через вплив безлічі стохастичних факторів, включаючи харчування, фізичну активність, рівень стресу та супутні захворювання. Для пацієнтів з діабетом 1-го типу (T1D) це перетворюється на безперервний когнітивний процес, що вимагає прийняття понад ста терапевтичних рішень щодня[1]. У цьому контексті штучний інтелект (ШІ) еволюціонував від допоміжного інструменту до ведучої технології. Розвиток технологій ШІ в діабетології відображає зміщення від управління даними до активного управління процесом. На початковому етапі технології, такі як безперервний моніторинг глюкози (CGM) та мобільні додатки, слугували переважно для пасивного збору даних, дозволяючи пацієнтам та лікарям проводити ретроспективний аналіз глікемічних змін та реєструвати щоденну інформацію (прийоми їжі, ін'єкції). Широке впровадження цих пристроїв згенерувало безпрецедентні обсяги поздовжніх даних, які стали джерелом для розробки складних, керованих даними (data-driven) алгоритмів ШІ[2]. Сучасний етап характеризується тим, що ці алгоритми вже не просто візуалізують дані, а активно діють на їх основі.

Для ефективного порівняння основних методів та їх нюансів, все зведено в таблицю, що аналізує ключові задачі: клінічне застосування, доведену ефективність, економічні аспекти та рівень обґрунтованості рішень.

Таблиця 1. Порівняння методів ШІ для визначення дозування інсуліну

Метод	Основне клінічне застосування	Показники ефективності та точності	Економічна доцільність та затратність	Рівень аргументованості
Модельне предиктивне керування (MPC)	T1D: Замкнений контур (AID / AP) [2]. Контроль прийому їжі. Нічний контроль.	Висока ефективність. TIR на 10.03% (ніч). Гіпоглікемія при довгостроковому використанні. Адаптивні MPC (Zone MPC)	Висока економічна ефективність. Основа комерційних систем AID, які є економічно ефективними. Високі витрати на розробку/валідацію.	Інтерпретований (на основі моделі). Рішення можна простежити до фізіологічної моделі та її прогнозів. Вважається стандартом для комерційних систем AID, схвалених FDA.

		покрощують TIR без збільшення гіпоглікемії.		
Навчання з підкріпленням (RL)	T2D: Оптимізація титрування (напр., RL-DITR). T1D: MDI / AID [3, 4]	Дуже висока точність. <i>T2D Титрування</i> : MAE 1.10 U (перевершує лікарів). <i>T1D</i> : TIR з ~64% до ~92%.	Висока затратність на розробку. Вимагає величезних наборів даних (EHR) або високоточних симуляторів. Потенційно висока довгострокова економія за рахунок оптимізації.	"Чорна скринька". Найнижчий рівень аргументованості. Рішення (політика) є результатом складної оптимізації, яку важко інтерпретувати. Вимагає ХАІ. Проблема безпеки при дослідженні.
Нечітка логіка (Fuzzy Logic)	T1D: Калькулятори болусів / Корекційні болуси. Компонент гібридних систем (напр., MiniMed 780G).	Ефективна. Імітує логіку експерта-ендокринолога. Забезпечує надійний глікемічний контроль. Клінічно доведено покращення TIR в системах AID.	Помірні витрати на розробку. Витрати пов'язані з розробкою та налаштуванням набору правил експертами, а не з навчанням на великих даних.	Висока аргументованість. За своєю суттю інтерпретований. Система складається з читабельних правил "IF-THEN", що імітують клінічні міркування.
Глибоке навчання (DL) (RNN/LSTM)	Прогнозування BGL (як компонент MPC або CDSS). Класифікація ризику (гіпо/гіпер).[5, 6]	Висока точність прогнозування. Значно покращує точність прогнозування BGL на основі даних CGM. Висока точність (>70-99%) у прогнозуванні гіпоглікемії.	Високі обчислювальні витрати на навчання. Вимагає великих, високоякісних наборів даних (CGM, EHR). Валідація моделі є дорогою.[7]	"Чорна скринька". Внутрішні ваги нейронної мережі не піддаються прямій людській інтерпретації. Вимагає методів ХАІ (SHAP, LIME) для обґрунтування.

Висновки

На даний момент не існує єдиного оптимального методу. Вибір є функцією клінічного завдання. Модельне предиктивне керування (MPC) домінує в комерційних системах AID для T1D завдяки своїй надійності та інтерпретованості. Навчання з підкріпленням (RL) демонструє безпрецедентні результати в оптимізації титрування для T2D. Глибоке навчання (DL) служить життєво важливим компонентом прогнозування, що лежить в основі багатьох систем управління.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. <https://www.elsevier.es/en-revista-endocrinologia-diabetes-nutricion-english-ed--413-articulo-automated-insulin-delivery-systems-in-S2530018024001197>
2. <https://diabetesjournals.org/care/article/37/5/1212/38190/First-Use-of-Model-Predictive-Control-in>
3. <https://www.bmj.com/content/361/bmj.k1310>
4. <https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S0218001421600065>
5. <https://academic.oup.com/jlb/advance-article/doi/10.1093/jlb/lxae007/7642716>
6. <https://www.researchandmarkets.com/report/artificial-intelligence-in-diabetes-management>
7. <https://www.springermedizin.de/role-of-artificial-intelligence-in-enhancing-insulin-recommendat/51007280>
8. https://www.breakthrough1d.org/?jdrf_topic=automated-insulin-delivery-systems

Кругликов Олександр Михайлович - аспірант кафедри БМІОЕС, Вінниця, kruglikoff@gmail.com

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN INSULIN DOSING MANAGEMENT: ANALYSIS OF METHODS AND COMPARISON.

Vinnytsia National Technical University

Abstract: A review and examination of existing methods and systems were conducted, covering their effectiveness, economic rationale, and the level of justification for decisions regarding insulin intake dosing.

Keywords: artificial intelligence (AI), dosing, automated insulin delivery (AID) systems, model predictive control (MPC), reinforcement learning (RL), deep learning (DL), fuzzy logic, explainable AI (XAI), time in range (TIR).

Kruhlikov Oleksandr Mykolaiovych - graduate student of the department Biomedical Engineering and Optical Electronic Systems, Vinnitsya, kruglikoff@gmail.com