

САХАРНЫЙ ДИАБЕТ 1 ТИПА У ДЕТЕЙ: ВПЕРЕДИ ВЗРОСЛАЯ ЖИЗНЬ



© Д.Н. Лаптев*

ГНЦ РФ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии», Москва

Сахарный диабет 1 типа (СД1) в детском возрасте является одной из острейших социальных и медицинских проблем, учитывая растущую заболеваемость и негативное влияние на продолжительность и качество жизни. Возникновение заболевания в детском возрасте приводит к значительному снижению продолжительности жизни у пациентов с СД1, что во многом связано с микро- и макрососудистыми осложнениями, и фундамент этих патологических процессов формируется именно в детстве вследствие неоптимального контроля заболевания. Так, данные регистров указывают, что меньше половины детей с СД1 достигает целевого гликемического контроля, а в подростковом возрасте наблюдается наихудший гликемический контроль среди всех возрастных периодов.

В последние годы у детей с СД1 стали гораздо активнее использоваться современные инструменты лечения: помповая инсулинотерапия, непрерывный мониторинг глюкозы и системы автоматического введения инсулина, что стало возможным благодаря повышению их доступности, удобства и доказанной эффективности. Эти технологии позволяют не только уменьшить бремя заболевания, но и повысить эффективность лечения СД1 у детей и, следовательно, уменьшить риски диабетических осложнений для сохранения здоровья перед предстоящей взрослой жизнью.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сахарный диабет; непрерывный мониторинг глюкозы; инсулиновая помпа; система автоматического введения инсулина; искусственный интеллект.

TYPE 1 DIABETES IN CHILDREN: ADULTHOOD AHEAD

© Dmitry N. Laptev*

Endocrinology Research Centre, Moscow, Russia

Type 1 diabetes mellitus (T1DM) in childhood is one of the most important social and medical problems, given the growing incidence and negative impact on the duration and quality of life. The onset of the disease in childhood associated with significantly reduced life expectancy, largely due to micro- and macrovascular complications, and background pathological processes may occur from the T1DM onset due to suboptimal glucose control. Large registers data indicate that less than half of children with T1DM achieve target glycemic control, and adolescence is characterized by the worst glycemic control among all age groups. In recent years, modern treatment tools have been widely adopted in children with T1DM: insulin pumps, continuous glucose monitoring and automatic insulin delivery systems, which has become possible due to their increased availability, convenience and proven effectiveness. These technologies not only reduce the burden of the disease, but also improve the effectiveness of treatment of T1DM in children, consequently reducing the risks of diabetic complications protecting the health for the upcoming adult life.

KEYWORDS: diabetes mellitus; continuous glucose monitoring; insulin pump; automatic insulin delivery system; artificial intelligence.

ВВЕДЕНИЕ

Сахарный диабет 1 типа (СД1) — одно из самых распространенных хронических заболеваний в детском возрасте. Так, по расчетам Всемирной диабетической федерации, на сегодняшний день в мире насчитывается порядка 1,5 миллиона детей и подростков с СД1, и эта цифра ежегодно увеличивается вследствие постоянного роста заболеваемости, составляющего, по разным оценкам, от 2 до 5% [1, 2]. Несмотря на достижения в изучении иммунопатогенеза СД1, до настоящего времени не найдено средства полного излечения, и основным способом управления заболеванием является проведение заместительной инсулинотерапии под постоянным контролем уровня глюкозы в крови. За время, прошедшее с открытия Фредериком Бантингом и Чарльзом Бе-

стом инсулина в 1921 г., средства лечения и контроля СД1 претерпели значительные изменения, и основные достижения последних лет в управлении СД1 связаны с внедрением и использованием современных технологий введения инсулина и мониторинга глюкозы.

В то же время детский возраст характеризуется особыми потребностями, связанными с возрастными физиологическими процессами, паттернами питания и физической активности, психическими изменениями и психологическими проблемами. Все это существенно усложняет контроль СД1 и требует динамической адаптации проводимого лечения с учетом индивидуальных особенностей каждого ребенка.

Данные регистров указывают, что только примерно 30% детей с СД1 достигают целевых показателей

гликированного гемоглобина (HbA_{1c}), а у подростков по сравнению со всеми возрастными группами наблюдаются наиболее высокие значения этого показателя [3, 4]. В свою очередь данные эпидемиологических наблюдений указывают, что возникновение СД1 в возрасте до 10 лет сокращает продолжительность жизни в среднем на 24 года, что во многом обусловлено возникновением острых и хронических осложнений [1]. Таким образом, очевидна необходимость внедрения в педиатрическую клиническую практику наиболее эффективных инструментов контроля СД1. Использование различных современных технологий позволяет повысить эффективность и облегчить контроль СД1 в данной возрастной группе. Основные технологические решения, предназначенные для контроля СД1, представлены средствами введения инсулина и оценки показателей глюкозы.

ПОМПОВАЯ ИНСУЛИНОТЕРАПИЯ

Помповая инсулиноterapia или непрерывная подкожная инфузия инсулина (НПИИ) представляет собой метод введения инсулина с помощью инсулиновой помпы, который позволяет достаточно точно контролировать подачу инсулина в организм. Инсулиновая помпа непрерывно вводит инсулин короткого действия в подкожную клетчатку с регулируемой скоростью, имитируя базальную секрецию инсулина поджелудочной железой. В дополнение к базальной подаче пациенты могут вводить болюсные дозы инсулина во время приема пищи или коррекции повышенного уровня глюкозы в крови. Главная цель НПИИ — обеспечение более физиологического уровня инсулинемии для лучшего контроля уровня глюкозы в крови и снижения риска гипер- и гипогликемии.

НПИИ предложена для лечения СД1 еще в 1970-х годах, но стала широко применяться у детей только в начале 2000-х благодаря доказанной эффективности и удобству использования. Несмотря на то, что количество пользователей инсулиновых помп постоянно увеличивается, на сегодняшний день распространенность этого метода лечения у детей значительно варьирует в разных странах. По данным международного регистра SWEET (22 центра, 19 стран и >16 000 детей с СД1) на 2018 г., порядка 50% детей использовали непрерывный мониторинг глюкозы (НМГ) и ~45% — инсулиновые помпы [5]. По данным регистра T1DX (США, >22 000 детей и взрослых), число пациентов, использующих инсулиновые помпы, за период с 2017 по 2021 гг. выросло с 59 до 66% [6]. При этом наибольшая распространенность помповой терапии характерна для детей, особенно дошкольного возраста. Так, по данным регистра DPV (Германия и Австрия, >32 000 детей и взрослых), число пользователей инсулиновых помп в возрастной группе до 6 лет, от 6 до 12 лет и от 12 до 18 лет составляло 89%, 63% и 46% соответственно, в то время как у взрослых число пользователей инсулиновых помп составляло 29–46% [3]. В то же время в развивающихся странах использование НПИИ остается ограниченным из-за стоимости и отсутствия доступа к необходимой медицинской инфраструктуре.

В целом принятие НПИИ среди детей зависит от нескольких факторов, включая доступность этих технологий, готовность семьи к использованию помпы, а также уровень медицинской поддержки. Одним из ключевых

аспектов, влияющих на принятие помповой терапии, является обучение пациентов и их семей правильному использованию помпы и мониторингу уровня глюкозы. Немаловажным в отношении приверженности к НПИИ является удобство использования и ношения инсулиновой помпы, а также осложнения, связанные с особенностями технологии: нарушение подачи инсулина, неисправность помпы или кожные реакции.

С нежелательными явлениями, в первую очередь связанными с местом установки инфузионной системы, сталкиваются более 40% пациентов ежегодно [7]. Если в ранние годы основным осложнением помповой терапии являлись инфекции, частота которых доходила до 30% [8], то в последние годы в связи с совершенствованием технологии риск этого осложнения практически нивелирован, и основными нежелательными явлениями на сегодня остаются диабетический кетоацидоз (ДКА) и тяжелая гипогликемия [7, 9, 10]. Повышенные риски ДКА на НПИИ могут быть обусловлены быстрым возникновением дефицита инсулина при нарушении его подачи, однако данные клинических наблюдений, напротив, указывают на меньший или сопоставимый риск ДКА по сравнению с традиционными инъекциями инсулина [11, 12]. В любом случае многие эпизоды нежелательных явлений при использовании НПИИ связаны с неправильным использованием инфузионной системы или недостаточным контролем за диабетом, что подчеркивает важность обучения и оценки навыков пользователей инсулиновой помпы.

На сегодняшний день помповая инсулиноterapia рекомендуется всем детям и молодым людям с СД1 [13]. Исследования, оценивающие эффективность НПИИ у детей и взрослых, показывают ее положительное влияние на все ключевые показатели контроля диабета. Так, в ряде рандомизированных клинических и наблюдательных исследований было показано, что использование помповой терапии приводит к более значительному снижению уровня HbA_{1c} по сравнению с многократными инъекциями инсулина, которое составляет от 0,5 до 1,0% [14–18].

Отдельные наблюдательные и когортные исследования показали, что у детей на НПИИ показатель времени в целевом диапазоне (ВЦД) на 5–10% выше, чем у тех, кто использует множественные инъекции инсулина. И хотя не все исследования смогли продемонстрировать значимое улучшение гликемического контроля при использовании помпы, приверженность НПИИ после завершения исследования, более высокая удовлетворенность лечением и улучшение психологических показателей, связанных с СД1, подчеркивают, что преимущества помповой инсулинотерапии выходят за рамки только показателей гликемического контроля. Метаанализы и систематические обзоры также показали снижение среднего уровня HbA_{1c} на 0,2–0,3%, уменьшение риска тяжелой гипогликемии и сокращение общей суточной дозы инсулина при использовании инсулиновой помпы [12, 19, 20]. В свою очередь данные реальной клинической практики указывают, что использование инсулиновой помпы связано со снижением среднего уровня гликированного гемоглобина (HbA_{1c}) на 0,5% [21]. Также данные регистров продемонстрировали связь помповой терапии с более низкой частотой тяжелой гипогликемии и ДКА [22].

Несмотря на все преимущества помповой инсулинотерапии, некоторые дети прекращают использование НПИИ. Частота прекращения терапии варьирует, но в среднем составляет порядка 10–20% от числа перешедших на помпу, что соответствует примерно 4–5 случаям на 100 пациентов в год [17, 18, 23]. Основными причинами отказа от помпы являются технические трудности с использованием устройства, дискомфорт от ношения помпы и частые кожные раздражения в месте введения катетера, высокая стоимость расходных материалов в условиях отсутствия страхового покрытия или другого бесплатного обеспечения, психологические факторы, включая нежелание постоянно быть зависимым от устройства. Частота отказов также может быть связана с возрастом ребенка и уровнем его самостоятельности. Чаще всего прекращают использование инсулиновой помпы подростки из-за психосоциальных или эстетических причин.

В Российской Федерации (РФ) помповая инсулинотерапия активно применяется с 2003 г., и за прошедшее время число детей, использующих инсулиновые помпы, заметно увеличилось, при этом наиболее интенсивное внедрение помповой терапии у детей началось в 2009 г., когда этот вид медицинской помощи был включен в программу государственных гарантий. Число детей, использующих этот метод введения инсулина, увеличилось с 2,5 тысячи в 2010 г. до более чем 17 тысяч на сегодняшний день, что составляет порядка 28% от всех детей с СД1. При этом в отдельных регионах число детей на НПИИ доходит до 60%, и в целом наблюдается тенденция к дальнейшему росту числа пользователей благодаря расширению программы государственных гарантий новым видом — помповой терапией с гибридным управлением подачи инсулина.

Первые наиболее значимые результаты внедрения помповой терапии у детей в нашей стране были представлены в 2010 г. По данным 6-летнего наблюдения 173 детей на инсулиновых помпах в Эндокринологическом научном центре, было показано, что применение НПИИ способствует снижению уровня HbA_{1c} на 1% [24]. Дальнейшее более длительное наблюдение большей выборки детей с СД1 в ФГБУ «НМИЦ эндокринологии» подтвердили эти результаты, показав, что переход на помповую инсулинотерапию сопровождается стабильным снижением уровня HbA_{1c} на 0,7% в течение 10-летнего наблюдения [18].

Будущее НПИИ связано с развитием технологии автоматического введения инсулина. Современные инсулиновые помпы способны работать в связке с НМГ, формируя «замкнутый контур» или систему, которую иногда называют «искусственной поджелудочной железой». Такие системы могут автоматически регулировать подачу инсулина на основе данных НМГ, что значительно снижает необходимость постоянного контроля СД1 и улучшает качество жизни пациентов.

НЕПРЕРЫВНЫЙ МОНИТОРИНГ ГЛЮКОЗЫ

НМГ представляет собой технологию, которая позволяет измерять уровень глюкозы в непрерывном режиме с помощью датчика (сенсора), установленного в подкожной клетчатке, и является одним из важнейших инструментов управления СД1 у детей. Датчик измеряет

концентрацию глюкозы в интерстициальной жидкости, отправляя данные на внешний приемник или смартфон. Технология НМГ обеспечивает непрерывное измерение уровня глюкозы, что позволяет пациентам и их родителям видеть не только текущее значение глюкозы, но и динамику ее изменения, а также получать предупреждения о приближении гипогликемии или гипергликемии. Это способствует более тщательному контролю диабета и снижению рисков острых осложнений.

Как и в случае НПИИ, использование НМГ среди детей с СД1 значительно увеличилось за последние два десятилетия. Например, по данным регистра DPV, если в 2006 г. только 3% детей использовали НМГ, то уже в 2017-м эта цифра увеличилась в среднем до 44%, в том числе НМГ использовало 58% детей дошкольного возраста [25, 26]. Принятие НМГ зависит от нескольких факторов, включая уровень информированности о преимуществах технологии, доступность бесплатного обеспечения, наличие принятых локальных клинических рекомендаций относительно применения НМГ и готовность родителей и детей следовать рекомендациям по использованию [27, 28]. Также в свою очередь медицинские работники могут не иметь достаточно времени для обучения пациента, изучения и продвижения технологий [29].

Ряд рандомизированных клинических исследований, наблюдательных и когортных исследований, а также данные реальной клинической практики подтверждают эффективность применения НМГ у детей с СД1 по нескольким ключевым показателям. У пациентов с недостаточным уровнем гликемического контроля НМГ способствует снижению уровня HbA_{1c} на 0,5–1,0% и увеличению ВЦД в среднем на 5–10% по сравнению с традиционным методом измерения глюкозы с помощью глюкометров (СКГК), что улучшает долгосрочный прогноз в отношении сосудистых осложнений [30–35]. НМГ значительно снижает риск возникновения тяжелой гипогликемии и ДКА благодаря возможности заранее предупреждать о снижении уровня глюкозы и повышению приверженности к контролю. Данные реальной клинической практики показывают, что использование НМГ снижает частоту эпизодов тяжелой гипогликемии и ДКА на 40–50% по сравнению с традиционным методом контроля глюкозы [30, 33]. Помимо этого, использование НМГ позволяет значительно снизить потребность в проведении СКГК (до 1–2 раз в сутки), что не только улучшает качество жизни детей с СД1 и их родителей, но и способствует повышению приверженности к контролю показателей глюкозы [30, 36].

На сегодняшний день при наличии возможности НМГ рекомендован для применения у всех детей с СД1, став фактически стандартом лечения [29]. Более того, данные наблюдательного исследования, проведенного у детей с СД1, показывают, что независимо от способа введения инсулина, раннее начало использования НМГ в течение первого года после постановки диагноза связано с меньшим риском тяжелой гипогликемии и более благоприятным контролем уровня глюкозы [37, 38].

В РФ технология НМГ применяется с момента появления на рынке первой профессиональной системы НМГ — CGMS (continuous glucose monitoring system), на смену которой со временем пришли другие персональные системы НМГ. Наиболее активно внедрение НМГ в нашей

стране произошло за последние несколько лет, после появления систем периодически сканируемого мониторинга (Flash мониторинг глюкозы) в 2018 г. Так, по данным ФГБУ «НМИЦ эндокринологии», если в 2016 г. число детей, использующих НМГ, составляло не более 12%, то в 2020-м это число выросло до 45%, а на сегодняшний день распространение НМГ у детей с СД1 составляет порядка 90%. Это во многом связано с реализуемым Федеральным проектом «Борьба с сахарным диабетом», благодаря которому дети с СД1 по всей стране обеспечиваются НМГ бесплатно. Результаты клинической апробации НМГ в нескольких субъектах РФ у более чем 500 детей показывают снижение уровня HbA_{1c} на 0,2–0,3% после перехода с традиционного самоконтроля гликемии на НМГ [30], а также снижение риска ДКА и тяжелой гипогликемии и ДКА в 4 и 5 раз соответственно.

Перспективы развития НМГ включают дальнейшее совершенствование технологии для повышения точности и удобства использования. Разработчики НМГ стремятся увеличить продолжительность работы сенсоров без замены (например, до 14–30 дней), повысить точность показаний и уменьшить размеры устройств, делая их менее заметными и более комфортными для повседневного использования. Примером развития технологии НМГ может быть имплантируемый сенсор, последнее поколение которого обеспечивает непрерывную работу без замены в течение года с достаточно высокой по современным меркам точностью [39]. Вследствие потенциальных побочных эффектов, связанных с установкой и использованием имплантируемого сенсора, пока эта система НМГ одобрена для использования только у взрослых старше 18 лет.

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВВЕДЕНИЯ ИНСУЛИНА

Системы автоматического введения инсулина (САВИ), или системы введения инсулина в замкнутом контуре, представляют собой самую передовую технологию для управления уровнем глюкозы у детей с СД1. Эти системы сочетают в себе инсулиновую помпу и систему НМГ, которые работают в связке для контроля и автоматической корректировки подачи инсулина, основанного на текущих показателях глюкозы. Применение САВИ, особенно у детей, подростков и молодых людей, может существенно улучшить показатели глюкозы, снизить нагрузку, связанную с контролем диабета, и улучшить качество жизни пациентов.

Основу САВИ составляет контроллер с математическим алгоритмом, что обеспечивает замкнутый цикл управления, где данные о текущем уровне глюкозы, считываемые НМГ, передаются на контроллер, использующий алгоритм для расчета необходимой дозы инсулина. Контроллер передает команду инсулиновой помпе, которая вводит рассчитанную дозу в организм. Современные алгоритмы, такие как предиктивные и адаптивные модели, позволяют учитывать изменения уровня глюкозы в режиме реального времени и предотвращать гипогликемию за счет анализа трендов и прогнозирования показателей глюкозы.

Использование САВИ среди детей и молодых людей с СД1 за последние годы значительно выросло благодаря увеличению доступности технологий и усовершен-

ствованию алгоритмов, но, как и в случае с НПИИ и НМГ, использование САВИ значительно варьирует в разных странах и регионах. В настоящее время уже доступно несколько систем САВИ, и их количество продолжает увеличиваться, кроме того, возникает возможность интеграции систем НМГ с различными инсулиновыми помпами и алгоритмами, делая технологию автоматического введения инсулина доступней.

По данным проведенных исследований, у детей с СД1 по сравнению с традиционной помповой терапией, дополненной НМГ, применение САВИ способствует снижению уровня HbA_{1c} на 0,5–0,7% и связанного с этим увеличению ВЦД на 7–10% [36–40]. Что наиболее важно: эффективность САВИ была продемонстрирована не только для подростков и молодых людей, но и для детей с СД1, в том числе в возрасте до 3 лет.

Несмотря на высокую эффективность, системы САВИ сталкиваются с рядом проблем и ограничений. Одной из главных сложностей является высокая стоимость устройства и его обслуживания, что ограничивает доступ к технологии для широкого круга пациентов. Технические проблемы, такие как точность сенсоров НМГ, сбои в передаче данных и нарушение подачи инсулина, также могут ограничивать эффективность систем.

Важной проблемой является фармакодинамическая характеристика применяемых для НПИИ инсулинов: даже сверхбыстродействующие аналоги инсулина не обеспечивают достаточно быстрого начала действия, при общей продолжительности действия не менее 4–5 часов, что приводит к неизбежным колебаниям глюкозы и возникновению гипо- и гипергликемии [41]. Применение ингаляционного инсулина могло бы решить, по крайней мере частично, эту проблему, обеспечив эффективный контроль постпрандиальной гликемии и оперативную коррекцию гипергликемии [42]. В то же время точность дозирования ингаляционного инсулина может стать серьезным барьером применения такой формы инсулина у детей, что требует проведения дополнительных исследований.

Другим терапевтическим подходом, направленным на увеличение времени в целевом диапазоне при использовании САВИ, может являться применение вспомогательной терапии. Имеются данные об адъювантной терапии такими препаратами, как прамлинтид (гормон амилин), аналоги глюкагоноподобного пептида 1, ингибиторы натрий-глюкозного котранспортера 2 типа [43–45]. Также разрабатываемые системы бигормонального введения инсулина и глюкагона демонстрируют перспективность подхода [46].

ТЕЛЕМЕДИЦИНА И ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

Телемедицина и информационные технологии за последние годы стали широко использоваться в детской диabetологии, особенно после пандемии COVID-19. В нашей стране, в ФГБУ «НМИЦ эндокринологии», накоплен многолетний опыт применения телемедицины, разработаны и внедрены методические подходы и практические рекомендации по использованию телемедицины у детей с СД1.

Многочисленные исследования, проведенные в НМИЦ эндокринологии у детей с СД1, показывают возможности телемедицины в достижении лучшего

гликемического контроля независимо от модели пациента, включая режим инсулинотерапии и метод контроля уровня глюкозы [47–49]. Первые исследования с использованием телемедицинского подхода и специализированного программного обеспечения для детей на помповой терапии в ФГБУ «НМИЦ эндокринологии» были проведены в 2015 г., еще до утверждения порядка организации и оказания медицинской помощи с применением телемедицинских технологий, и показали возможности достижения лучшего гликемического контроля и качества жизни (различие между группой телемедицинского и традиционного наблюдения по уровню HbA_{1c} — 0,7%) [47]. Позже, по данным многоцентрового исследования, инициированного ФГБУ «НМИЦ эндокринологии», было продемонстрировано, что телемедицинское наблюдение детей с СД1 на помповой терапии позволяет достигнуть снижения HbA_{1c} на 0,6% по сравнению с традиционным наблюдением [48]. Аналогично применение системы телемедицинского наблюдения детей с использованием мобильного приложения при самоконтроле гликемии у подростков позволяет достигнуть снижения HbA_{1c} на 0,3–0,5% [49]. Всего на сегодняшний день телемедицинским наблюдением в ФГБУ «НМИЦ эндокринологии» уже было охвачено более 1000 детей с СД1, при этом среднее снижение уровня HbA_{1c} в процессе телемедицинского наблюдения составило порядка 1,2% (результаты обобщенного анализа).

Наиболее интенсивное и эффективное использование телемедицины для дистанционного наблюдения и коррекции инсулинотерапии возможно при использовании помповой инсулинотерапии и НМГ. В этом случае данные о показателях и профилях глюкозы, а также точные данные по инсулинотерапии, питанию и др. регистрируются сразу в электронном виде носимыми устройствами, что повышает качество данных и обеспечивает их хранение и обработку. Помимо этого, полученные данные могут быть интегрированы в систему автоматического анализа для выявления закономерностей и определения персонализированных рекомендаций по терапии. В то же время обработка и анализ больших массивов данных требует от врача больших временных затрат и опыта. В связи с этим это направление тесно связано с различными технологиями искусственного интеллекта (ИИ).

Технологии ИИ широко внедряются в медицинскую практику в последние годы, и диабетология не стала исключением. Алгоритмы ИИ в диабетологии могут быть использованы для диагностики, прогнозирования и персонализированного подхода к ведению пациента, и уже показали свою эффективность в этих направлениях. В том числе в ФГБУ «НМИЦ эндокринологии» разработана система поддержки принятия врачебных решений (СППВР) по коррекции инсулинотерапии у детей с СД1, использующих инсулиновую помпу и НМГ. Данная система функционирует на базе ИИ — нейронной сети с долгой краткосрочной памятью и разработана на основании большого объема реальных клинических данных. Общий принцип работы системы заключается в анализе предварительно загруженных больших объемов данных с системы НМГ и инсулиновой помпы пациента с СД1. Система оптимизирует имеющиеся параметры помповой терапии до достижения лучших прогнозируемых показателей гликеми-

ческого контроля. Помимо данных НМГ и инсулиновой помпы, в работе СППВР учитывается информация о поле, возрасте, росте, весе, длительности СД1, HbA_{1c} , что делает предлагаемые рекомендации персонализированными. По данным проведенного клинического исследования продемонстрирована не меньшая эффективность системы по сравнению с ведением пациента экспертом по СД1 [50, 51]. Применение в клинической практике таких систем может оказать существенную помощь при амбулаторном наблюдении детей с СД1, а также стандартизировать на высоком уровне подход к коррекции инсулинотерапии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За последние годы произошло значительное изменение парадигмы лечения СД1 у детей, и на первый план вышли современные технологии контроля уровня глюкозы и введения инсулина, что уже способствовало значительному улучшению показателей гликемического контроля у детей с СД1.

Применение НПИИ и НМГ связано с увеличением ВЦД на ~10% по сравнению с базовым лечением, а наибольшую эффективность имеет использование систем введения инсулина в замкнутом контуре. По данным исследования DCCT, увеличение ВЦД на 10% связано со снижением риска прогрессирования диабетической ретинопатии и развития микроальбуминурии на 64 и 40% соответственно. Очевидно, что применение систем введения инсулина в замкнутом контуре будет связано с дополнительным снижением риска микрососудистых осложнений. Таким образом, применение данных инструментов является ключевым элементом эффективного контроля СД1 и профилактики осложнений у детей с СД1.

Несмотря на очевидные преимущества, сохраняющиеся барьеры, включая доступность, удобство использования и технические проблемы, препятствуют повсеместному внедрению помповой инсулинотерапии и НМГ. В то же время технологии лечения СД1 продолжают улучшаться, предлагаются новые подходы, расширяющие перспективы их применения, что в итоге будет способствовать повышению приверженности использования этих инструментов.

Телемедицинские технологии в детской диабетологии, особенно в сочетании с ИИ, позволяют эффективно распределить ресурсы здравоохранения, осуществлять персонализированное лечение и наблюдение пациента. Это особенно важно, принимая во внимание необходимость регулярного наблюдения и коррекции лечения детей с СД1, а также учитывая сложности, которые вызваны необходимостью работы эндокринолога с большим объемом информации при использовании инсулиновых помп и НМГ, применение которых с каждым годом становится все более широким.

В целом можно уверенно сказать, что в ближайшие годы лечение СД1 у детей будет связано с дальнейшим развитием и более интенсивным внедрением диабетических технологий, что крайне важно с точки зрения снижения рисков тяжелых осложнений, с которыми пациенты с СД1, заболевшие в детстве, столкнутся во взрослом возрасте, и что будет способствовать заметному увеличению продолжительности их жизни.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источники финансирования. Работа выполнена по инициативе автора без привлечения финансирования.

Конфликт интересов. Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с содержанием настоящей статьи.

Участие авторов. Лаптев Д.Н. — дизайн, концепция и написание рукописи, автор одобрил финальную версию статьи перед публикацией, выразил согласие нести ответственность за все аспекты работы, подразумевающую надлежащее изучение и решение вопросов, связанных с точностью или добросовестностью любой части работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

- Gregory GA, Robinson TM, Linklater SE, et al. Global incidence, prevalence, and mortality of type 1 diabetes in 2021 with projection to 2040: a modelling study. *Lancet Diabetes Endocrinol.* 2022;10(10):741-760. doi: [https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(22\)00218-2](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(22)00218-2)
- Лаптев Д.Н., Безлепкина О.В., Шешко Е.Л., и др. Основные эпидемиологические показатели сахарного диабета 1 типа у детей в Российской Федерации за 2014–2023 годы // *Проблемы эндокринологии.* — 2024. — Т.70. — №5. — С. 76–83. [Laptev DN, Bezlepkin OA, Sheshko EL, et al. Main epidemiological indicators of type 1 diabetes mellitus in children in the Russian Federation for 2014–2023. *Problems of Endocrinology.* 2024;70(5):76-83. (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.14341/probl13515>
- Дедов И.И., Шестакова М.В., Петеркова В.А., и др. Сахарный диабет у детей и подростков по данным Федерального регистра Российской Федерации: динамика основных эпидемиологических характеристик за 2013–2016 гг. // *Сахарный диабет.* — 2017. — Т.20. — №6. — С. 392–402. [Dedov II, Shestakova MV, Peterkova VA, et al. Diabetes mellitus in children and adolescents according to the Federal diabetes registry in the Russian Federation: dynamics of major epidemiological characteristics for 2013–2016. *Diabetes mellitus.* 2017;20(6):392-402. (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.14341/DM9460>
- Hermann JM, Miller KM, Hofer SE, et al. The Transatlantic HbA1c gap: differences in glycaemic control across the lifespan between people included in the US T1D Exchange Registry and those included in the German/Austrian DPV registry. *Diabet Med.* 2020;37(5):848-855. doi: <https://doi.org/10.1111/dme.14148>
- Gerhardsson P, Schwandt A, Witsch M, et al. The SWEET Project 10-Year Benchmarking in 19 Countries Worldwide Is Associated with Improved HbA1c and Increased Use of Diabetes Technology in Youth with Type 1 Diabetes. *Diabetes Technol Ther.* 2021;23(7):491-499. doi: <https://doi.org/10.1089/dia.2020.0618>
- Gandhi K, Ebekozien O, Noor N, et al. Insulin Pump Utilization in 2017–2021 for More Than 22,000 Children and Adults With Type 1 Diabetes: A Multicenter Observational Study. *Clin Diabetes.* 2024;42(1):56-64. doi: <https://doi.org/10.2337/cd23-0055>
- Ross PL, Milburn J, Reith DM, Wiltshire E, Wheeler BJ. Clinical review: insulin pump-associated adverse events in adults and children. *Acta Diabetol.* 2015;52(6):1017-1024. doi: <https://doi.org/10.1007/s00592-015-0784-2>
- Mecklenburg RS, Benson EA, Benson JW Jr, et al. Acute complications associated with insulin infusion pump therapy. Report of experience with 161 patients. *JAMA.* 1984;252(23):3265-3269. doi: <https://doi.org/10.1001/jama.1984.03350230025026>
- Wheeler BJ, Donaghue KC, Heels K, Ambler GR. Family perceptions of insulin pump adverse events in children and adolescents. *Diabetes Technol Ther.* 2014;16(4):204-207. doi: <https://doi.org/10.1089/dia.2013.0315>
- Wheeler BJ, Heels K, Donaghue KC, Reith DM, Ambler GR. Insulin pump-associated adverse events in children and adolescents—a prospective study. *Diabetes Technol Ther.* 2014;16(9):558-562. doi: <https://doi.org/10.1089/dia.2013.0388>
- Johnson SR, Cooper MN, Jones TW, Davis EA. Long-term outcome of insulin pump therapy in children with type 1 diabetes assessed in a large population-based case-control study. *Diabetologia.* 2013;56(11):2392-2400. doi: <https://doi.org/10.1007/s00125-013-3007-9>
- Benkhadra K, Alahdab F, Tamhane SU, McCoy RG, Prokop LJ, Murad MH. Continuous subcutaneous insulin infusion versus multiple daily injections in individuals with type 1 diabetes: a systematic review and meta-analysis. *Endocrine.* 2017;55(1):77-84. doi: <https://doi.org/10.1007/s12020-016-1039-x>
- Sherr JL, Schoelwer M, Dos Santos TJ, et al. ISPAD Clinical Practice Consensus Guidelines 2022: Diabetes technologies: Insulin delivery. *Pediatr Diabetes.* 2022;23(8):1406-1431. doi: <https://doi.org/10.1111/pedi.13421>
- Plotnick LP, Clark LM, Brancati FL, Erlinger T. Safety and effectiveness of insulin pump therapy in children and adolescents with type 1 diabetes. *Diabetes Care.* 2003;26(4):1142-1146. doi: <https://doi.org/10.2337/diacare.26.4.1142>
- Alsaleh FM, Smith FJ, Keady S, Taylor KM. Insulin pumps: from inception to the present and toward the future. *J Clin Pharm Ther.* 2010;35(2):127-138. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2710.2009.01048.x>
- Nimri R, Weintrob N, Benzaquen H, Ofan R, Fayman G, Phillip M. Insulin pump therapy in youth with type 1 diabetes: a retrospective paired study. *Pediatrics.* 2006;117(6):2126-2131. doi: <https://doi.org/10.1542/peds.2005-2621>
- Лаптев Д.Н., Переверзева С.В., Емельянов А.О., и др. Мониторинг применения помповой инсулинотерапии у детей, подростков и молодых пациентов с сахарным диабетом 1 типа в Российской Федерации // *Проблемы эндокринологии.* — 2018. — Т.64. — №2. — С.85–92. [Laptev DN, Pereverzeva SV, Emelyanov AO, et al. Monitoring of insulin pump therapy in children, adolescents, and young adults with type 1 diabetes mellitus in the Russian Federation. *Problems of Endocrinology.* 2018;64(2):85-92. (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.14341/probl8756>
- Лаптев Д.Н., Емельянов А.О., Медведева Е.Д., и др. Длительный гликемический контроль и факторы, ассоциированные с ответом на помповую инсулинотерапию у детей // *Сахарный диабет.* — 2021. — Т.24. — №2. — С.122–132. [Laptev DN, Emelyanov AO, Medvedeva ED, et al. Long-term glycemic control and factors, associated with response to pump insulin therapy in children. *Diabetes mellitus.* 2021;24(2):122-132. (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.14341/DM12530>
- Pickup JC, Sutton AJ. Severe hypoglycaemia and glycaemic control in Type 1 diabetes: meta-analysis of multiple daily insulin injections compared with continuous subcutaneous insulin infusion. *Diabet Med.* 2008;25(7):765-774. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1464-5491.2008.02486.x>
- Pańkowska E, Błazik M, Dziechciarz P, et al. Continuous subcutaneous insulin infusion vs. multiple daily injections in children with type 1 diabetes: a systematic review and meta-analysis of randomized control trials. *Pediatr Diabetes.* 2009;10(1):52-58. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1399-5448.2008.00440.x>
- Sherr JL, Hermann JM, Campbell F, et al. Use of insulin pump therapy in children and adolescents with type 1 diabetes and its impact on metabolic control: comparison of results from three large, transatlantic paediatric registries. *Diabetologia.* 2016;59(1):87-91. doi: <https://doi.org/10.1007/s00125-015-3790-6>
- Burckhardt MA, Smith GJ, Cooper MN, et al. Real-world outcomes of insulin pump compared to injection therapy in a population-based sample of children with type 1 diabetes. *Pediatr Diabetes.* 2018;19(8):1459-1466. doi: <https://doi.org/10.1111/pedi.12754>
- Витебская А.В., Попович А.В. Причины отказов от помповой инсулинотерапии детей и подростков с сахарным диабетом 1 типа // *Поликлиника.* — 2016. — №1–2. — С.35–39. [Vitebskaya AV, Popovich AV. Prichiny otkazov ot pompovoj insulinoterapii detej i podrostkov s saharnym diabetom 1 tipa. *Poliklinika.* 2016;1–2:35–39. (In Russ.)]
- Емельянов А.О., Кураева Т.Л., Лаптев Д.Н., и др. Проспективное наблюдение эффективности и безопасности помповой инсулинотерапии у детей и подростков // *Сахарный диабет.* — 2010. — Т.13. — №3. — С.143–146. [Emelyanov AO, Kuraeva TL, Laptev DN, et al. Prospective study of efficacy and safety of insulin pump therapy in children and adolescents. *Diabetes mellitus.* 2010;13(3):143-146. (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.14341/2072-0351-5503>

25. van den Boom L, Karges B, Auzanneau M, et al. Temporal Trends and Contemporary Use of Insulin Pump Therapy and Glucose Monitoring Among Children, Adolescents, and Adults With Type 1 Diabetes Between 1995 and 2017. *Diabetes Care*. 2019;42(11):2050-2056. doi: <https://doi.org/10.2337/dc19-0345>
26. Miller KM, Hermann J, Foster N, et al. Longitudinal Changes in Continuous Glucose Monitoring Use Among Individuals With Type 1 Diabetes: International Comparison in the German and Austrian DPV and U.S. T1D Exchange Registries. *Diabetes Care*. 2020;43(1):e1-e2. doi: <https://doi.org/10.2337/dc19-1214>
27. Naranjo D, Tanenbaum ML, Iturralde E, Hood KK. Diabetes Technology: Uptake, Outcomes, Barriers, and the Intersection With Distress. *J Diabetes Sci Technol*. 2016;10(4):852-858. doi: <https://doi.org/10.1177/1932296816650900>
28. Pahalad P, Ebekozien O, Alonso GT, et al. Multi-Clinic Quality Improvement Initiative Increases Continuous Glucose Monitoring Use Among Adolescents and Young Adults With Type 1 Diabetes. *Clin Diabetes*. 2021;39(3):264-271. doi: <https://doi.org/10.2337/cd21-0026>
29. Tauschmann M, Forlenza G, Hood K, et al. ISPAD Clinical Practice Consensus Guidelines 2022: Diabetes technologies: Glucose monitoring. *Pediatr Diabetes*. 2022;23(8):1390-1405. doi: <https://doi.org/10.1111/pedi.13451>
30. Лаптев Д.Н., Безлепкина О.Б., Демина Е.С., и др. Результаты клинической апробации системы FreeStyle Libre у детей с сахарным диабетом 1 типа: улучшение гликемического контроля в сочетании со снижением риска тяжелой гипогликемии и диабетического кетоацидоза // *Проблемы эндокринологии*. — 2022. — Т.68. — №3. — С.86-92. [Laptev DN, Bezlepkin OB, Demina ES, et al. Evaluation of FreeStyle Libre in pediatric T1DM: improved glycemic control, reduction in diabetic ketoacidosis and severe hypoglycemia. *Problems of Endocrinology*. 2022;68(3):86-92. (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.14341/probl12877>
31. Dicembrini I, Cosentino C, Monami M, et al. Effects of real-time continuous glucose monitoring in type 1 diabetes: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Acta Diabetol*. 2021;58(4):401-410. doi: <https://doi.org/10.1007/s00592-020-01589-3>
32. Maiorino MI, Signoriello S, Maio A, et al. Effects of Continuous Glucose Monitoring on Metrics of Glycemic Control in Diabetes: A Systematic Review With Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *Diabetes Care*. 2020;43(5):1146-1156. doi: <https://doi.org/10.2337/dc19-1459>
33. Tauschmann M, Hermann JM, Freiberg C, et al. Reduction in Diabetic Ketoacidosis and Severe Hypoglycemia in Pediatric Type 1 Diabetes During the First Year of Continuous Glucose Monitoring: A Multicenter Analysis of 3,553 Subjects From the DPV Registry. *Diabetes Care*. 2020;43(3):e40-e42. doi: <https://doi.org/10.2337/dc19-1358>
34. Cardona-Hernandez R, Schwandt A, Alkandari H, et al. Glycemic Outcome Associated With Insulin Pump and Glucose Sensor Use in Children and Adolescents With Type 1 Diabetes. Data From the International Pediatric Registry SWEET. *Diabetes Care*. 2021;44(5):1176-1184. doi: <https://doi.org/10.2337/dc20-1674>
35. Beck RW, Riddleworth T, Ruedy K, et al. Effect of Continuous Glucose Monitoring on Glycemic Control in Adults With Type 1 Diabetes Using Insulin Injections: The DIAMOND Randomized Clinical Trial. *JAMA*. 2017;317(4):371-378. doi: <https://doi.org/10.1001/jama.2016.19975>
36. von dem Berge T, Remus K, Biester S, et al. In-home use of a hybrid closed loop achieves time-in-range targets in preschoolers and school children: Results from a randomized, controlled, crossover trial. *Diabetes Obes Metab*. 2022;24(7):1319-1327. doi: <https://doi.org/10.1111/dom.14706>
37. Kariyawasam D, Morin C, Casteels K, et al. Hybrid closed-loop insulin delivery versus sensor-augmented pump therapy in children aged 6-12 years: a randomised, controlled, cross-over, non-inferiority trial. *Lancet Digit Health*. 2022;4(3):e158-e168. doi: [https://doi.org/10.1016/S2589-7500\(21\)00271-5](https://doi.org/10.1016/S2589-7500(21)00271-5)
38. Bergenstal RM, Nimri R, Beck RW, et al. A comparison of two hybrid closed-loop systems in adolescents and young adults with type 1 diabetes (FLAIR): a multicentre, randomised, crossover trial. *Lancet*. 2021;397(10270):208-219. doi: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)32514-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)32514-9)
39. Deiss D, Irace C, Carlson G, Tweden KS, Kaufman FR. Real-World Safety of an Implantable Continuous Glucose Sensor Over Multiple Cycles of Use: A Post-Market Registry Study. *Diabetes Technol Ther*. 2020;22(1):48-52. doi: <https://doi.org/10.1089/dia.2019.0159>
40. Ware J, Allen JM, Boughton CK, et al. Randomized Trial of Closed-Loop Control in Very Young Children with Type 1 Diabetes. *N Engl J Med*. 2022;386(3):209-219. doi: <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2111673>
41. Bode B, Carlson A, Liu R, et al. Ultrarapid Lispro Demonstrates Similar Time in Target Range to Lispro with a Hybrid Closed-Loop System. *Diabetes Technol Ther*. 2021;23(12):828-836. doi: <https://doi.org/10.1089/dia.2021.0184>
42. Galderisi A, Cohen N, Calhoun P, et al. Effect of Afrezza on Glucose Dynamics During HCL Treatment. *Diabetes Care*. 2020;43(9):2146-2152. doi: <https://doi.org/10.2337/dc20-0091>
43. Sherr JL, Patel NS, Michaud CI, et al. Mitigating Meal-Related Glycemic Excursions in an Insulin-Sparing Manner During Closed-Loop Insulin Delivery: The Beneficial Effects of Adjunctive Pramlintide and Liraglutide. *Diabetes Care*. 2016;39(7):1127-1134. doi: <https://doi.org/10.2337/dc16-0089>
44. Tsoukas MA, Majdpour D, Yale JF, et al. A fully artificial pancreas versus a hybrid artificial pancreas for type 1 diabetes: a single-centre, open-label, randomised controlled, crossover, non-inferiority trial. *Lancet Digit Health*. 2021;3(11):e723-e732. doi: [https://doi.org/10.1016/S2589-7500\(21\)00139-4](https://doi.org/10.1016/S2589-7500(21)00139-4)
45. Biester T, Muller I, von dem Berge T, et al. Add-on therapy with dapagliflozin under full closed loop control improves time in range in adolescents and young adults with type 1 diabetes: The DAPADream study. *Diabetes Obes Metab*. 2021;23(2):599-608. doi: <https://doi.org/10.1111/dom.14258>
46. Haidar A, Rabasa-Lhoret R, Legault L, et al. Single- and Dual-Hormone Artificial Pancreas for Overnight Glucose Control in Type 1 Diabetes. *J Clin Endocrinol Metab*. 2016;101(1):214-223. doi: <https://doi.org/10.1210/jc.2015-3003>
47. Лаптев Д.Н., Петеркова В.А. Использование телемедицины для улучшения гликемического контроля и качества жизни у детей с сахарным диабетом 1 типа на помповой инсулинотерапии // *Сахарный диабет*. — 2017. — Т.20. — №6. — С.420-426. [Laptev DN, Peterkova VA. Use of telemedicine improves glycemic control and quality of life in type 1 diabetes children on insulin pump therapy. *Diabetes mellitus*. 2017;20(6):420-426. (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.14341/DM8677>
48. Лаптев Д.Н., Емельянов А.О., Самойлова Ю.Г., и др. Дистанционное наблюдение и лечение детей и подростков с сахарным диабетом 1 типа // *Проблемы эндокринологии*. — 2020. — Т.66. — №4. — С.50-60. [Laptev DN, Emelyanov AO, Samoilova YG, et al. Remote monitoring and treatment of children and adolescents with type 1 diabetes. *Problems of Endocrinology*. 2020;66(4):50-60. (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.14341/probl12201>
49. Лаптев Д.Н., Еремина И.А., Карпушкина А.В., и др. Дистанционное наблюдение подростков с сахарным диабетом 1 типа с использованием мобильного приложения // *Сахарный диабет*. — 2021. — Т.24. — №5. — С.404-413. [Laptev DN, Eremina IA, Karpushkina AV, et al. Remote monitoring of adolescents with type 1 diabetes mellitus using a mobile application. *Diabetes mellitus*. 2021;24(5):404-413. (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.14341/DM12776>
50. Сорокин Д.Ю., Труфанова Е.С., Реброва О.Ю., и др. Система поддержки принятия врачебных решений на основе искусственного интеллекта для коррекции параметров инсулиновой помпы у детей с сахарным диабетом 1 типа // *Сахарный диабет*. — 2024. — Т.27. — №3. — С.242-253. [Sorokin DY, Trufanova ES, Rebrova OY, et al. Clinical decision support system based on artificial intelligence for adjusting insulin pump parameters in children with type 1 diabetes mellitus. *Diabetes mellitus*. 2024;27(3):242-253. (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.14341/DM13167>
51. Лаптев Д.Н., Сорокин Д.Ю., Труфанова Е.С., и др. Рандомизированное контролируемое испытание эффективности и безопасности системы поддержки принятия врачебных решений на основе искусственного интеллекта для коррекции параметров инсулиновой помпы у детей с сахарным диабетом 1 типа // *Сахарный диабет*. — 2024. — Т.27. — №3. — С.254-264. [Laptev DN, Sorokin DY, Trufanova ES, et al. Effectiveness and safety of an artificial intelligence-based medical decision support system for adjusting insulin pump settings in children with type 1 diabetes mellitus: randomized controlled trial. *Diabetes mellitus*. 2024;27(3):254-264. (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.14341/DM13171>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ [AUTHOR INFO]

***Лаптев Дмитрий Никитич**, д.м.н. [**Dmitry N. Laptev**, MD, PhD]; адрес: Россия, 117036, Москва, ул. Дм. Ульянова, д. 11 [address: 11 Dm. Ulyanova street, 117036 Moscow, Russia]; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4316-8546>; WoS Researcher ID: O-1826-2013; Scopus Author ID: 24341083800; eLibrary SPIN: 2419-4019; e-mail: laptevdn@ya.ru

ЦИТИРОВАТЬ:

Лаптев Д.Н. Сахарный диабет 1 типа у детей: впереди взрослая жизнь // *Сахарный диабет*. — 2025. — Т. 28. — №1. — С. 18-25. doi: <https://doi.org/10.14341/DM13252>

TO CITE THIS ARTICLE:

Laptev DN. Type 1 diabetes in children: adulthood ahead. *Diabetes Mellitus*. 2025;28(1):18-25. doi: <https://doi.org/10.14341/DM13252>