

3. Метод неинвазивной оперативной оценки уровня гематокрита предполагает использование фотометрирования объекта исследования на просвет, импульсного режима измерения и повтора циклов измерения оптического сигнала на длинах волн λ_j , $j = 1 \dots N$, в течение нескольких циклов прохождения пульсовой волны через исследуемый сосуд.

4. Система неинвазивной оперативной оценки уровня гематокрита должна содержать N источников импульсного оптического излучения с длиной волны λ_j и узкой шириной полосы $\Delta\lambda$, общий приемник оптического излучения для снижения погрешности преобразования оптических сигналов для всех N каналов, предусматривать коррекцию уровня темнового тока в процессе измерения оптических сигналов.

Список литературы:

1. Юлдашев З.М. Многоуровневая пространственно-распределенная система ликвидации медико-санитарных последствий чрезвычайных ситуаций // Информационно-управляющие системы. 2014. № 1. С. 43-47.
2. Грязнов А.Ю. О возможности получения фазоконтрастных изображений на микрофокусных источниках рентгеновского излучения // Биотехносфера. 2010. № 1. С. 30-32.

3. Садыкова Е.В. Информационные технологии систем поддержки принятия решений врача // Информационно-управляющие системы. 2012. № 5. С. 89-91.
4. Шаповалов В.В., Гуревич Б.С., Колесов И.А., Беляев А.В., Андреев С.В. Особенности прохождения сигнала в спектральных устройствах для биомедицинских анализов // Биомедицинская радиоэлектроника. 2010. № 4. С. 32-38.

Зафар Мухамедович Юлдашев,
д-р техн. наук, профессор,
зав. кафедрой,
Юлия Германовна Бибишева,
аспирант,
инженер по выполнению
научно-исследовательских работ,
Алексей Андреевич Анисимов,
аспирант, ассистент,
Анна Юрьевна Глазова,
аспирант, ассистент,
кафедра биотехнических систем,
СПбГЭТУ «ЛЭТИ»,
г. С.-Петербург,
e-mail: yuld@mail.ru

Е.А. Пустозеров, З.М. Юлдашев

Дистанционный мониторинг состояния больных сахарным диабетом

Аннотация

Представлена методика дистанционного мониторинга состояния больного диабетом, учитывающая динамику углеводного обмена в зависимости от приема пищи, физических нагрузок и инъекций инсулина. Разработана структура мобильной системы мониторинга, методы обработки и анализа результатов. Система включает в себя алгоритм коррекции индивидуализированных моделей метаболизма глюкозы и выработки рекомендаций больному.

Актуальность проблемы

Контроль состояния больных сахарным диабетом (СД), находящихся на амбулаторном лечении, является чрезвычайно важной и практически сложной задачей. Это связано как с серьезными последствиями, к которым может привести хроническое повышение уровня сахара в крови, так и с серьезными рисками для больного при состоянии гипо- и гипергликемии. Для поддержания нормогликемии у больных СД и выработки своевременной помощи предлагается использовать удаленный контроль лечения больных диабетом посредством сбора и анализа данных о течении заболевания и выработки рекомендаций при нахождении пациента вне лечебного учреждения. Данный подход требует разработки методики и системы дистанционного мониторинга состояния больных СД [1].

Цель работы – повышение эффективности мониторинга состояния больных сахарным диабетом путем учета происходящего в организме пациента углеводного обмена в динамике.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие **задачи**:

- 1) разработка методики дистанционного мониторинга состояния больного СД, учитывающей динамику углеводного обмена в зависимости от приема пищи, физических нагрузок и инъекций инсулина;

- 2) разработка структуры мобильной системы мониторинга состояния больных СД на основе предложенной методики дистанционного мониторинга;
- 3) разработка метода обработки и анализа результатов мониторинга с целью оценки динамики состояния больного СД;
- 4) техническая реализация системы.

Предлагаемая технология мониторинга состояния больных СД реализуется на основе телемедицинской сети пациент-врач, обеспечивающей периодическую оценку основных медико-биологических показателей, характеризующих процесс углеводного обмена (уровень сахара в крови – УСК, приемы пищи, инъекции инсулина, физические нагрузки, артериальное давление и др.), и информационную поддержку пациента для организации оптимального управления углеводным обменом.

Методика дистанционного мониторинга состояния больного диабетом

Для оценки состояния пациента осуществляется сбор медико-биологической информации, которая разделена на три группы. Первая группа включает в себя общие данные о больном (возраст, пол пациента, время диагностики диабета и др.). Вторая группа включает в себя показатели, получаемые в лабораторных исследованиях: гликированный гемоглобин HbA1c, холестерин, ли-

попротеиды высокой плотности (ЛПВП), липопротеиды низкой плотности (ЛПНП), триглицериды (ТГ), микроальбуминурия (МАУ), скорость клубочковой фильтрации, протеинурия и др. Третья группа включает в себя показатели, которые периодически контролируются пациентом: уровень гликемии, инъекции инсулина, структура принимаемой пищи, характер, интенсивность физических нагрузок и др. Третья группа показателей находится под постоянным контролем пациента, который осуществляет ввод данных в мобильное устройство, откуда данные впоследствии отправляются на централизованный сервер для обработки и оценки их лечащих врачом.

Основное влияние на уровень сахара в крови оказывают приемы пищи, инъекции инсулина, физическая активность. На рис. 1 схематично представлены данные и профили действия, описывающие динамику изменения сахара в крови под действием различных факторов, учитываемых системой, в течение дня.

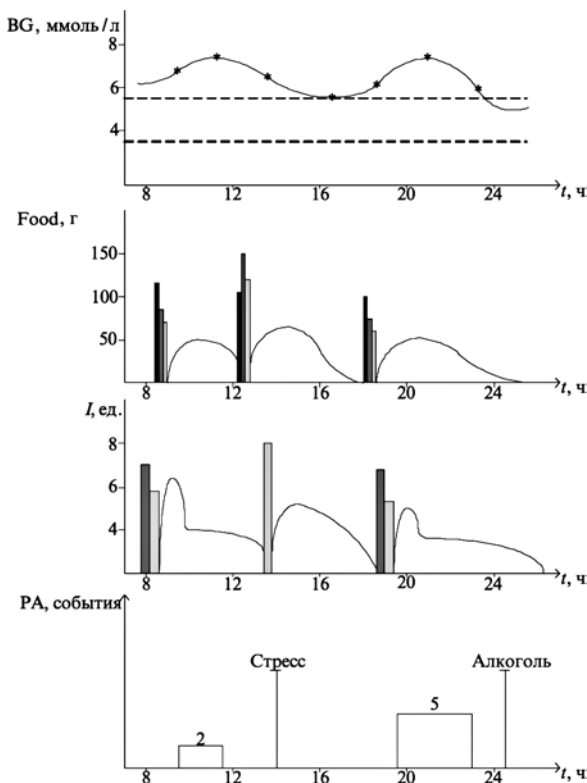


Рис. 1. Представление информации о течении диабета

На верхнем графике представлены данные измерений УСК, второй график отображает приемы пищи и их профили действия, третий график – инъекции и профили действия инсулинов, нижний график – физические нагрузки и прочие события. Профили действия отражают влияние события (фактора) на УСК во времени. Индивидуализированные профили действия различных факторов используются в системе для прогнозирования будущих значений гликемии и наглядного представления модели течения СД.

В систему для анализа заносят следующие данные:

$$X = [BG, I, F, PA, e, L, M],$$

где BG – информация об измерениях уровня сахара в крови; I – информация об инъекциях инсулина; F – информация о приемах пищи; PA – информация о физических нагрузках; e – события, влияющие на компенсацию диа-

бета; L – показатели, фиксируемые в длительные промежутки времени; M – лабораторные показатели и заключения врача.

$$BG = [BGL, type, t],$$

где BGL – значение уровня сахара в крови, ммоль/л; $type$ – тип измерения (натощак, через час после еды и т. д.); t – точное время измерения.

$$I = [IL, type, t],$$

где IL – величина инъекции инсулина, ед.; $type$ – тип инсулина (лантус, новорапид и др.); t – точное время измерения.

$$F = [Carb, Fat, Prot, E, GI, m, t],$$

где $Carb, Fat, Prot$ – количество белков, жиров и углеводов, г.; E – энергетическая ценность принятой пищи, ккал; GI – средневзвешенный гликемический индекс продуктов; m – оценка полезности продукта; t – точное время приема пищи.

$$PA = [A, t_1, t_2],$$

где A – интенсивность нагрузки; t_1, t_2 – время начала и конца физической нагрузки.

Для более точного учета физических нагрузок предлагается использовать каналы измерения ЧСС и движений с помощью акселерометра [2]. Разрабатываются алгоритмы для количественной оценки влияния физических и эмоциональных нагрузок на уровень сахара в крови.

По этим данным строятся профили действия, отражающие сахаропонижающий или сахароповышающий эффект различных событий, с применением разработанных индивидуализированных математических моделей, описывающих действие факторов на уровень гликемии. Подробно применяемые математические модели влияния на УСК различных факторов описаны в статье [2].

Система анализирует критические значения уровня сахара в крови с привязкой к другим событиям (инъекции инсулина, физическая нагрузка) и устанавливает зависимости между данными событиями и нарушениями компенсации.

Предполагаемое значение УСК в данный момент времени рассчитывается как суперпозиция профилей действия влияющих факторов в предыдущие моменты времени:

$$BGL_t^* = f \left(BG_{t-1}, \sum_{i_1=t-D_1}^t I_{i_1}, \sum_{i_2=t-D_2}^t F_{i_2}, \sum_{i_3=t-D_3}^t PA_{i_3}, \sum_{i_4=t-D_4}^t e_{i_4} \right),$$

где D_j – период, в течение которого влияние j -го фактора становится пренебрежимо малым.

Структура мобильной системы мониторинга

Для реализации предложенной методики дистанционного мониторинга предлагается следующая структура системы, представленная на рис. 2.

Основные составляющие системы мониторинга располагаются на мобильном устройстве пациента, куда заносятся диагностические показатели либо посредством ввода пациентом, либо со средств измерения. Программное обеспечение системы должно включать в себя модули хранения и анализа данных, выработки рекомендаций, оповещения пользователя, связи с сервером. По каналу связи данные передаются из локальной базы дан-

ных в базу данных центрального сервера. Врач, через доступ к серверу, анализирует данные пациента и вырабатывает рекомендации, перенаправляемые на устройство пациента. Подробное описание структуры и функциональных возможностей разработанной системы, программного комплекса, вопросов практической реализации системы приведено в [3].

Метод обработки и анализа результатов мониторинга

Углеводный обмен представляет собой динамический процесс, его характер непрерывно меняется под воздействием большого числа факторов. Это ведет к расхождению расчетных и реальных параметров и вызывает необходимость коррекции индивидуализированных моделей.

Для повышения точности прогнозирования опасных состояний оценивается ошибка индивидуализированных моделей

$$\Delta_t = BGL_t - BGL_t^*$$

При превышении ошибки Δ_t пороговой величины происходит подстройка параметров индивидуализированных моделей, используемых для расчета и выработки рекомендаций.

Рассчитывается корреляция между различными показателями. Например, на рис. 1 видно, что третья инъекция инсулина не полностью скомпенсировала прием пищи, – система просчитывает отклонения и дает сигнал пользователю. Система вырабатывает рекомендации по компенсации отклонения УСК.

При выработке рекомендаций выделяются доминирующие события, влияющие на УСК в данный момент времени, которые оказались декомпенсированными. Пациенту выдается рекомендация по компенсации данного фактора. Система ведет процесс непрерывного обучения пациента, разъясняя, какие мероприятия необходимо проводить в различных ситуациях, и напоминая о важных событиях (измерение сахара, прием инсулина и др.).

Обработка ведется на различных интервалах времени, составляются усредненные профили за определенный

промежуток времени (неделя, месяц) (рис. 3), с помощью которых выявляются повторяющиеся нарушения в компенсации диабета и строится индивидуализированный портрет заболевания конкретного пациента. Для выработки рекомендации предложены алгоритмы обработки и анализа данных о состоянии больного. Они осуществляют выявление систематических нарушений в программе лечения диабета. Примерами таких нарушений могут быть: повышенный уровень сахара в крови по утрам, гипогликемия после физических нагрузок, нарушений в питании, повышенное содержание пищи с высоким гликемическим индексом и др. Система вырабатывает рекомендации по изменению рациона питания и распорядка дня для поддержания у пациента нормогликемии.

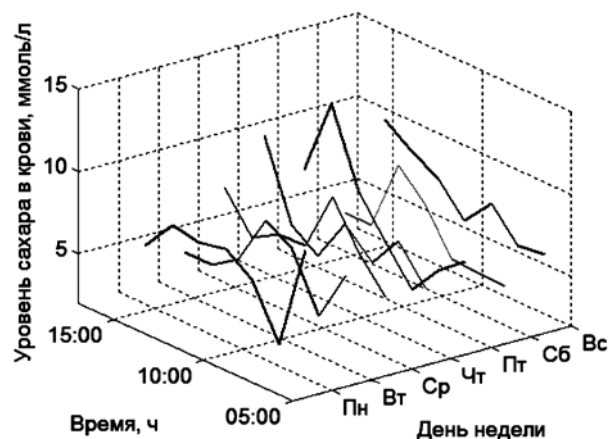


Рис. 3. Динамика УСК по дням недели

Данные обрабатываются и подготавливаются в удобном для врача виде, после чего лечащим врачом делается заключение и вырабатываются рекомендации по компенсации.

После того как программа компенсации установлена и диабет скомпенсирован, лечение переходит в стадию облегченного мониторинга, при котором больным ведет-

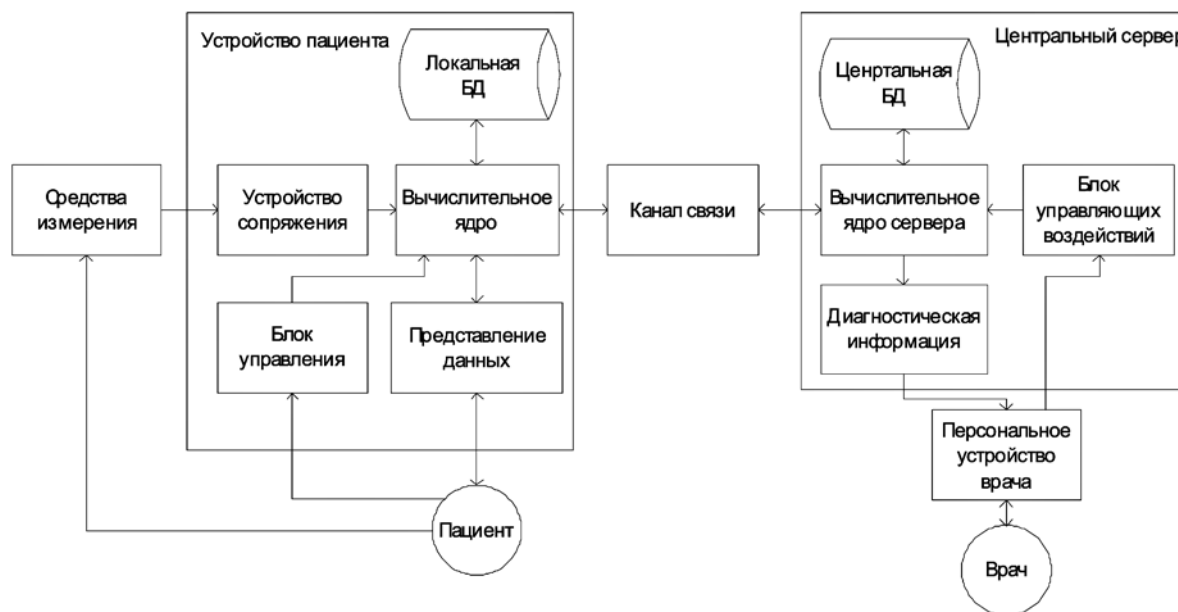


Рис. 2. Структурная схема системы мониторинга

ся только частичный учет показателей течения диабета (введение УСК обязательно). Возврат к интенсивному контролю осуществляется при появлении признаков декомпенсированного диабета и в особых случаях.

В системе при выработке рекомендаций применяются следующие решающие правила:

- интеллектуального мониторинга (система вырабатывает рекомендации по проведению дополнительных измерений в критические моменты времени);
- формирования сигнала для оказания экстренной помощи пациенту;
- прогнозирования состояния пациента;
- информационной поддержки и обучения пациента.

Техническая реализация системы

Сбор данных осуществляется при помощи мобильных устройств пациента. В ходе исследования было разработано приложение для мобильных устройств, которое осуществляет сбор, представление и экспорт показателей, отвечающих за состояние пациента [4].

Представленная выше информация хранится в двух копиях: на устройстве пациента и на сервере. В определенные моменты времени осуществляется синхронизация данных между пациентом и сервером.

Представление информации о состоянии пациента осуществляется в трех видах:

- 1) представление пациенту данных, хранящихся на локальном устройстве;
- 2) представление пациенту данных, хранящихся на сервере, в браузере на устройстве пациента;
- 3) представление врачу данных о состоянии больного, хранящихся на сервере, в браузере на устройстве врача.

В перспективе предполагается разработка мобильного приложения врача для удаленного контроля состояния больного.

В разработанном приложении реализовано отображение данных о состоянии больного, которое осуществляется в различной форме: в виде таблиц, всплывающих сообщений, графиков и диаграмм. Кроме того, реализован механизм сигнализации посредством подачи звукового, светового и тактильного сигналов средствами мобильного устройства пациента.

Осуществление информационной поддержки пациенту осуществляется тремя способами:

- 1) информирование пациента о запланированных событиях и возможных осложнениях локально, средствами мобильного приложения;
- 2) связь врача и пациента посредством сообщений на сервере, онлайн-консультаций и обновления данных;
- 3) экстренная связь пациента и лечащего врача посредством средств мобильной связи.

В дальнейшем собранная с помощью приложения информация будет использоваться для выработки новых решающих правил для постановки заключений и рекомендаций по лечению больного.

Выводы

1. В целях прогнозирования гипо- или гипергликемического состояния больных с декомпенсированным диабетом целесообразно осуществлять дистанционный мониторинг углеводного обмена.
2. В основе мониторинга состояния здоровья больных диабетом предложено использовать модель динамического баланса углеводного обмена, которая учитывает непрерывно изменяющееся соотношение между получаемой и потребляемой энергией.
3. Система дистанционного мониторинга состояния здоровья больного диабетом реализуется на базе карманного персонального компьютера (смартфон, i-pad и т. д.), который обеспечивает непрерывный учет показателей углеводного обмена и состояния больного.
4. Программное обеспечение системы должно включать в себя модули для хранения и анализа данных, выработки рекомендаций по компенсации гипо- и гипергликемии, оповещения пользователя, связи с сервером для обмена данных с лечебным учреждением.
5. Система мониторинга должна обеспечивать коррекцию индивидуализированных математических моделей метаболизма глюкозы в соответствии с вводимыми данными о показателях, характеризующих состояние пациента.

Список литературы:

1. Юлдашев З.М., Пустозеров Е.А. Телемедицинская система оценки риска заболевания сахарным диабетом // Биомедицинская радиоэлектроника. 2011. № 5. С. 61-65.
2. Пустозеров Е.А., Юлдашев З.М. Метод и система для информационной поддержки пациента – больного сахарным диабетом // Биомедицинская радиоэлектроника. 2013. № 11. С. 16-20.
3. Пустозеров Е.А., Юлдашев З.М. Система mHealth для информационной поддержки больного сахарным диабетом // Биотехносфера. 2013. № 1 (25). С. 39-44.
4. Пустозеров Е.А., Юлдашев З.М. Мобильное приложение информационной поддержки больного сахарным диабетом diaCompanion (diaCompanion) / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013617246.

*Евгений Анатольевич Пустозеров,
ассистент, аспирант,
Зафар Мухамедович Юлдашев,
д-р техн. наук, профессор,
зав. кафедрой,
кафедра биотехнических систем,
СПбГЭТУ «ЛЭТИ»,
г. С.-Петербург,
e-mail: yuld@mail.ru*

* * * * *