

Система удаленного мониторинга состояния здоровья людей с хроническими заболеваниями и прогнозирования периодов обострения

Аннотация

Рассмотрены этапы разработки системы удаленного мониторинга состояния здоровья людей с хроническими заболеваниями, пути решения задач на каждом этапе, подходы к оценке текущего состояния, мониторингу, контролю и прогнозированию обострения хронического заболевания.

Введение

Медицинское сопровождение пациентов с хроническими неинфекционными заболеваниями (ХНИЗ) относится к числу актуальных проблем систем здравоохранения всех стран мира. Это обусловлено многими причинами. Во-первых, хронические заболевания непрерывно прогрессируют и сопровождают пациентов в течение всей жизни, периоды облегчения заболевания (ремиссии) часто прерываются периодами обострения, которые значительно снижают качество жизни пациентов [1]. Недостаточное внимание, уделяемое медицинскому сопровождению таких пациентов, как правило, приводит заболевание к запущенной форме. Во-вторых, статистика Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) показывает, что хронические неинфекционные заболевания являются наиболее частой причиной смертности населения во всех странах мира [2]. В-третьих, неутешительным является прогноз по численности людей, болеющих ХНИЗ. Результаты исследований ВОЗ показывают, что в соответствии с оптимистичным сценарием прогноза к 2060 году численность заболевших ХНИЗ возрастет в 2 раза, а смертность населения достигнет 39 млн. человек [3]. В-четвертых, в период обострения заболевания пациента требуются значительные временные, материальные и кадровые ресурсы для установления состояния ремиссии. В связи с этим во многих странах мира усиливается понимание важности и необходимости решения проблемы мониторинга состояния здоровья людей с хроническими заболеваниями, прогнозирования и раннего выявления периода обострения заболевания для своевременного оказания необходимой медицинской помощи. Проведенные исследования показывают, что научные центры активно ведут исследования по рассматриваемой тематике, используют организационные и лечебно-профилактические мероприятия [4]-[6]. Предлагаемый нами подход к решению медицинского сопровождения пациентов с ХНИЗ основывается на широком использовании информационных, компьютерных и телекоммуникационных технологий, технологий биомедицинской инженерии, обеспечивающих удаленный мониторинг состояния здоровья пациента вне клиники, в условиях активной его жизнедеятельности, обеспечении автономности информационной поддержки пациента при выявлении первых признаков обострения заболевания [7].

Целью проводимого исследования является разработка системы удаленного мониторинга состояния здоровья людей с хроническими заболеваниями вне клиники, в условиях их активной жизнедеятельности, с использованием инструментальных средств оценки комплекса медико-биологических показателей и прогнозирования периодов обострения заболевания для оказания своевременной медицинской помощи.

Материалы и методы

Достижение поставленной цели требует решения целого ряда задач коллективом специалистов из различных областей знаний: физиологии, биохимии, биофизики, биомедицинской инженерии, информационных и телекоммуникационных технологий. Рассмотрим основные задачи, решение которых необходимо для разработки системы удаленного мониторинга состояния здоровья людей с хроническими заболеваниями.

1 Обоснование и формирование комплекса диагностически значимых показателей и признаков обострения хронического заболевания

Хроническое неинфекционное заболевание, будь-то сахарный диабет, артериальная гипертензия, нарушения ритма сердца, обструктивная болезнь легких, онкологическое заболевание, характеризуется совокупностью диагностически значимых показателей, которые отражают изменения биохимических и физиологических процессов, функционирования систем организма и их взаимодействия, нарушения метаболизма в организме. Эти изменения в первую очередь отражаются на биохимических показателях крови и мочи, комплексе показателей вариабельности сердечного ритма, характеризующих работу симпатической и парасимпатической систем организма [8]. При некоторых хронических заболеваниях требуется анализ показателей деятельности сердца и кровеносной системы. Длительный мониторинг диагностически значимых показателей может быть непрерывным (в случае мониторинга нарушений ритма сердца) либо периодическим (мониторинг биохимических показателей крови, мочи, показателей функционирования системы дыхания). Конкретный состав диагностически значимых показателей формируется с учетом особенностей хронического заболевания пациента и мнения медицинских профильных специалистов. Следует отметить, что диагностически значимые показатели хронического заболевания и показатели, отражающие обострение заболевания, являются метрическими показателями, а признаки заболевания – качественными. Переход от диагностически значимых показателей в признаки (предикторы) осуществляется с использованием пороговых показателей, которые для каждого пациента имеют свои значения. Они отражают особенности организма конкретного пациента, изменяются в зависимости от стадии хронического заболевания, влияния факторов среды, возраста пациента.

2 Формирование математических и логических моделей хронического неинфекционного заболевания для состояния ремиссии и стадий обострения заболевания

Математические и логические модели ХНИЗ описывают различные стадии заболевания на основе комплекса диагностически значимых показателей и признаков заболевания и используются для классификации текущего физиологического состояния организма пациента [7]. Он может находиться в состоянии ремиссии либо в той или иной стадии обострения хронического заболевания. Для оценки текущего состояния организма пациента с ХНИЗ формируется многомерное пространство диагностически значимых показателей и признаков, в котором отражаются области ремиссии и стадий обострения заболевания в соответствии с разработанными моделями, вектор текущего состояния пациента и определяется мера близости (расстояние) вектора текущего состояния к границам той или иной области, отражающей стадии обострения ХНИЗ. Для прогнозирования заболевания и выявления периодов его обострения требуется знание дополнительных показателей, которые отражают динамику смещения вектора текущего состояния в многомерном пространстве признаков. На скорость сме-

шения вектора текущего состояния влияют индивидуальные особенности организма пациента, его адаптационные резервы. В связи с этим математические модели разрабатываются с использованием дифференциальных или интегральных уравнений функций времени с переменными коэффициентами, учитывающих индивидуальные особенности организма. Возможны варианты использования матричных моделей, которые будут отражать изменения в состоянии организма в фиксированные моменты времени.

3 Формирование комплекса сертифицированных инструментальных средств и методов исследования, обеспечивающих регистрацию биомедицинских сигналов и оценку диагностически значимых показателей при удаленном мониторинге состояния здоровья пациента в условиях активной жизнедеятельности

Решение этой задачи требует знания функционала и характеристик большого многообразия приборов домашней медицины (носимые измерители артериального давления, кардиомониторы, биохимические анализаторы крови и мочи, средства оценки показателей свертываемости крови, непрерывного мониторинга уровня глюкозы в крови и т. д.), возможности их интеграции в единую носимую информационно-измерительную систему пациента на базе носимого компьютера (высокопроизводительного смартфона) для обработки и анализа биомедицинских сигналов и данных, оценки текущего состояния его здоровья, оказания информационной поддержки пациенту при развитии обострения хронического заболевания, передачи информации о текущем состоянии на сервер лечебного учреждения, который используется для длительного мониторинга состояния здоровья, анализа динамики показателей, прогнозирования обострения хронического заболевания и выявления на ранней стадии развития обострения хронического заболевания [7].

4 Разработка технологии удаленного мониторинга состояния здоровья пациента с ХНИЗ и алгоритмов съема биомедицинских сигналов и данных

Технология удаленного мониторинга состояния здоровья пациента с ХНИЗ определяет последовательность и периодичность съема, регистрации биомедицинских сигналов и оценки диагностически значимых показателей и признаков ХНИЗ. Физиологические показатели организма в процессе жизнедеятельности характеризуются изменчивостью. Для здорового организма эта изменчивость обусловлена циклическими (суточными) процессами и находится в пределах границ индивидуальной нормы. Для пациента с заболеванием, в том числе хроническим, эта изменчивость также находится в определенных границах, определяемых тяжестью заболевания. Переход заболевания из одной стадии в другую сопровождается медленным смещением границ. Для определения последовательности и периодичности оценки диагностически значимых показателей ХНИЗ следует обратить внимание, что такие показатели, как уровень артериального давления, уровень сахара в крови, следует оценивать как минимум два раза в сутки, некоторые биохимические показатели крови и мочи на ранних стадиях развития – один раз в сутки, другие показатели – раз в неделю. Однако для обеспечения высокой точности и достоверности прогнозирования, выявления обострения хронического заболевания на ранних стадиях при приграничных значениях диагностически значимых показателей ХНИЗ необходимо увеличивать частоту их оценки, отслеживать смещение границ колебательного процесса при изменении тяжести заболевания и корректировать математические модели с учетом динамики заболевания. Такой подход позволяет персонализировать модели прогноза обострения заболевания и адаптировать функционирование системы удаленного мониторинга под особенности функционирования организма пациента и развития хронического заболевания.

5 Разработка алгоритмов контроля и прогнозирования состояния здоровья пациента с ХНИЗ и выявления обострения заболевания на ранней стадии

Как было отмечено в предыдущем пункте, периодичность оценки и контроля текущего физиологического состояния пациента должна изменяться с учетом динамики диагностически значимых показателей хронического заболевания. По каждому диагностически значимому показателю строится диаграмма его динамики, по численным значениям которой находится аппроксимирующая функция – модель динамики диагностического показателя [9]. После оценки очередного значения диагностически значимого показателя целесообразно провести уточнение аппроксимирующей функции. Модель прогноза строится на основе использования экстраполяции аппроксимирующей функции на определенный промежуток времени и достижения порогового уровня, который будет означать развитие периода обострения хронического заболевания. В связи с этим коррекция аппроксимирующей функции на каждом этапе текущей оценки физиологического состояния пациента становится обоснованной, так как она способствует повышению точности кратковременного прогноза и выявления начала обострения заболевания. Так как для контроля текущего физиологического состояния пациента используется комплекс диагностически значимых показателей, процедура определения аппроксимирующей функции динамики показателя, экстраполяции и прогноза обострения заболевания осуществляется по каждому из показателей. Эта информация пересылается врачу, который оценивает риски и формирует заключение о проведении дальнейших лечебно-профилактических мероприятий по наблюдаемому пациенту.

Заключение

Для построения системы удаленного мониторинга состояния здоровья людей с хроническими заболеваниями и прогнозирования периодов обострения, выявления обострения заболевания на ранней стадии рассмотрены первоочередные задачи и предложены пути их решения. С учетом предложенных подходов разработанная система удаленного мониторинга представляет собой интеллектуальную информационно-измерительную многоуровневую систему, алгоритм работы которой обеспечивает непрерывный контроль текущего физиологического состояния пациента, формирование диаграммы динамики комплекса диагностически значимых показателей хронического заболевания, аппроксимирующей функции и ее экстраполяции на заданный период для получения кратковременного прогноза физиологического состояния, раннего выявления обострения хронического заболевания. Система обеспечивает адаптацию периодичности контроля физиологического состояния пациента с учетом особенностей протекающих в его организме процессов, информационную поддержку пациента при обострении заболевания с использованием носимого компьютера пациента, возможность автономной работы системы удаленного мониторинга и контроля состояния пациента в случае отсутствия связи с сервером лечебного учреждения. Перспективы развития системы удаленного мониторинга связаны с дальнейшей интеллектуализацией многих ее функций, обеспечивающих снижение нагрузки на врача по выполнению рутинных операций контроля.

Список литературы:

1. Здоровый образ жизни и профилактика заболеваний / Под ред. Н.Д. Юшука, И.В. Маева, К.Г. Гуревича. – М.: Изд-во «Перо», 2012. С. 659.
2. <https://www.mlo-online.com/disease/article/21166001/chronic-diseases-make-up-more-of-the-top-causes-of-death> (дата обращения: 20.09.2022).

- Hughes B., Kuhn R., Peterson C.M., Rothman D.S., Solyrzano J.R., Mathers C.D., Dickson J.R. Projections of global health outcomes from 2005 to 2060 using the International Futures integrated forecasting model // Bull. World Health Organ. 2011. Vol. 89. PP. 478-486.
- Масленникова Г.Я., Бойцов С.А., Оганов Р.Г., Аксельрод С.В., Есин П.Е. Неинфекционные заболевания как глобальная проблема здравоохранения, роль ВОЗ в ее решении // Профилактическая медицина. 2015. № 1. С. 9-13.
- Ziegler L.E. Early diagnosis and treatment of chronic diseases: National review and guidelines – Ra as an example / Scientific Abstract. 2017. P. 438. Published 1 June 2017. Medicine.
- Huan Wang, Xiaojie Yuan, Jiping Wang, Chenglin Sun, Guixia Wang Telemedicine maybe an effective solution for management of chronic disease during the COVID-19 epidemic // Primary Health Care Research & Development. 2022. Vol. e48. PP. 1-7.
- Yuldashev Z.M., Magrupov T.M. Systems and Technologies for Remote Health State Monitoring of Patients with Chronic Diseases / 2020 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT). 2020. IEEE.
- Кобякова О.С., Куликов Е.С., Малых Р.Д., Черногорюк Г.Э., Деев И.А., Старовойтова Е.А., Кириллова Н.А., Загрова Т.А., Балаганская М.А. Стратегии профилактики хронических неинфекционных заболеваний: современный взгляд на проблему // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2019. № 18 (4). С. 92-98.
- Pustozero E., Popova P., Tkachuk A., Yuldashev Z., Grineva E. Development and evaluation of a mobile personalized blood glucose prediction system for patients with gestational diabetes mellitus // Journal of Medical Internet Research. 2018. Vol. 20 (1). Iss. e6.

*Зафар Мухамедович Юлдашев,
д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой,
кафедра биотехнических систем,
Санкт-Петербургский электротехнический
университет «ЛЭТИ»,
г. С.-Петербург,
e-mail: zmyuldashev@etu.ru*

Е.А. Юматов

Методология выявления психической деятельности мозга на основе вейвлетного анализа электроэнцефалограммы

Аннотация

Излагаются материалы пленарного доклада, посвященного раскрытию механизмов психической деятельности мозга человека на основе непрерывного вейвлетного анализа электроэнцефалограммы, представленного на XV Международной научной конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии – ФРЭМЭ'2022».

Раскрытие механизмов психической деятельности мозга является фундаментальной общебиологической актуальной проблемой науки, решение которой открывает широкие возможности для разработки и практического применения принципиально новых информационных технологий и аппаратных систем.

Введение

Происхождение психической деятельности мозга остается одной из величайших загадок природы. Головной мозг является уникальной системной организацией в живой природе, обладающей способностью к субъективной психической деятельности, которая проявляется в сознании, в мыслях, чувствах, эмоциях, т. е. в субъективном восприятии человеком самого себя и окружающего мира.

Несмотря на огромные достижения современной психофизиологии и нейрофизиологии, существующие в данных областях методы не позволяют непосредственно регистрировать и изучать паттерны психической деятельности мозга [1]-[6].

При использовании классических методов анализа электроэнцефалограммы (ЭЭГ) можно видеть, что ритмическая активность имеет нестационарную природу, отличается чрезвычайно высоким разнообразием формы и частотного состава, что существенно ограничивает информационные возможности традиционных методов спектрального анализа сигналов. В связи с этим возникает принципиальный вопрос: отражается ли в ЭЭГ психическая (субъективная) деятельность мозга человека?

Для раскрытия природы психической деятельности мозга необходима разработка принципиально новой информационной методологии, позволяющей расшифровать в нейрофизиологических процессах различные проявления психической деятельности мозга.

В последние годы получил развитие современный математический метод непрерывного вейвлетного анализа ЭЭГ, который является оптимальным методом частотно-временного анализа нестационарных сигналов, в том числе ЭЭГ, а также

служит надежной основой для создания алгоритмов автоматического распознавания отдельных форм ритмической активности на ЭЭГ [7]-[12].

Главной целью исследования являлась разработка информационной технологии, экспериментальных моделей и аппаратуры для выявления психической деятельности мозга человека на основе непрерывного вейвлетного анализа ЭЭГ при различных психических состояниях мозга: осознании визуального изображения, правдивых и лживых мысленных ответов при мысленном воспроизведении информации из памяти [13]-[23].

Материалы и методы

Запись ЭЭГ проводилась у испытуемых в разных структурах мозга в 10 отведениях при помощи электроэнцефалографа «Нейрон-спектр» (г. Иваново), монополярно, по схеме «10 – 20», в затылочных (O2, O1), теменных (P4, P3), центральных (C4, C3), лобных (F4, F3) и височных (T4, T3) отведениях. Объединенные референтные электроды располагались на мочках ушей. Полоса фильтрации составляла 0,5...75,0 Гц, постоянная времени – 0,32 с, режекторный фильтр – 50 Гц. Частота оцифровки – 200 Гц [13]-[23].

Метод вейвлет-преобразования позволяет проводить частотно-временной анализ ЭЭГ-сигналов, зарегистрированных у испытуемых на этапах демонстрации вопросов и мысленных ответов на них. В частности, использовалось непрерывное вейвлет-преобразование ЭЭГ в диапазоне частот от 0,5 до 30 Гц. В качестве базисной функции экспериментальным путем был выбран вейвлет Морле [7]-[12].

Преимуществом вейвлет-преобразования является возможность анализа спектрального состава сигнала в динамике, таким образом исследователь в состоянии наблюдать за измене-