

Настоящее и будущее цифровой реанимации

В. Г. Амчеславский, С. Б. Арсеньев, В. И. Лукьянов, В. Г. Багаев, И. А. Колыхалкина, Т. Ф. Иванова

ГБУЗ г. Москвы «Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии» Департамента здравоохранения г. Москвы

Present and future of digital intensive care unit

V. G. Amcheslavsky, S. B. Arsenyev, V. I. Lukyanov, V. G. Bagaev, I. A. Kolykhalkina, T. F. Ivanova

Scientific and Research Institute for Emergency Pediatric Surgery and Traumatology, Moscow, Russia

Резюме

В статье представлена проблема создания цифровой реанимации. Это связано со значительным увеличением объема разнородных медицинских данных, требуемых для принятия клинического решения врачом-специалистом в условиях недостатка времени. Авторы представляют современный информационно-аналитический комплекс отделения анестезиологии-реанимации. В комплекс входят следящая мониторинговая система с центральной станцией, выделенный сервер, электронная история болезни. Для работы комплекса применены технологии big data и алгоритмы CDS, что позволило создать интегральные показатели, характеризующие работу ряда систем организма. Использование программных средств Arden Knowledge Engine позволяет авторам утверждать о переходе к следующей ступени развития цифровой реанимации — использованию искусственного интеллекта.

Ключевые слова: критические состояния у детей, многопараметрический мониторинг в ОАР, методы data mining, информационно-аналитические системы, программа Arden Knowledge Engine, цифровая реанимация.

Summary

The article presents the problem of creating digital intensive care unit (ICU). This is associated with a significant increase in the amount of heterogeneous medical data required for a clinical decision by a specialist in a shortage of time. The authors present a modern information and analytical complex of the anesthesiology and intensive care unit. The complex includes: a tracking monitor system with a central station, a dedicated server, an electronic medical history. For the operation of the complex, Big Data technologies and CDS algorithms were applied, which made it possible to create integral indicators characterizing the operation of a number of body systems. Using Arden Knowledge Engine software tools allows authors to assert about the transition to the next stage of development of digital resuscitation, the use of artificial intelligence.

Key words: critical state in children, multimodal monitoring in ICU, data mining, information-analytical systems, Arden Knowledge Engine, digital ICU.

Актуальность

XXI век справедливо называют веком цифры, реальностью становится и цифровая медицина. Источники медицинских данных включают в себя клинические данные из электронных историй болезни, данные специализированных исследований, данные о медицинских препаратах, создаваемые медицинские дневники и заключения, аудио- и видеозаписи и многое другое [1]. Значительный объем в медицинских информационных системах занимают изображения (компьютерная томография (КТ), магнитно-резонансная томография (МРТ), рентгеновские, ультразвуковые исследования и многое другое. Число и объем данных медицинских исследований стремительно растут, работа с такими огромными массивами информации, получившими определение «технологии big data», требует принципиально новых подходов к обработке данных и соответствующего программного обеспечения [2] (рис. 1).

Самой актуальной проблемой при технологиях big data стала разработка алгоритмов комплексного анализа и интерпретации данных в режиме реального времени, поскольку сбор и анализ такой информации на уровне продвинутой аналитики (advanced analytics) позволяют упреждающе замечать любые отклонения и аномалии в показателях пациента, выявляя скрытые закономерности, что дает возможность не только контролировать, но и определять эффективность лечения [3].

Анестезиолого-реанимационные отделения (АРО) лечебно-профилактических учреждений — это наиболее ответственный этап медицинской деятельности, а главное

действующее лицо — анестезиолог-реаниматолог — многопрофильный специалист, отвечающий за результаты этой деятельности. Располагая современными технологиями диагностики и лечения, анестезиолог-реаниматолог призван принимать клинические решения при постоянном возрастании ответственности за них в условиях огромного потока разнообразной информации и постоянного дефицита времени (рис. 2).

До настоящего времени для изучения взаимодействия и корреляций между временными рядами мультимодальных клинических данных применяют многочисленные разрозненные устройства непрерывного

21й – Век цифровой медицины

Стремительное внедрение информационных технологий в медицину. В России за 10 лет распространенность МИС увеличилась почти в 30 раз

2018 – Искусственный интеллект: программа IBM Watson уже сейчас диагностирует рак в 4 раза точнее врача

2025 - Tricoder – носимые гаджеты - анализ сетчатки, биоматериалов, выдыхаемого воздуха – 54 параметра получаемые on-line

2041 - Цифровые нанотехнологии и 3D-печать органов



Рисунок 1. Платформа IBM Watson Health в партнерстве с платформой компании Apple HealthKit использует передовую аналитику и возможности обработки естественного языка для обеспечения клинической поддержки принятия решений.

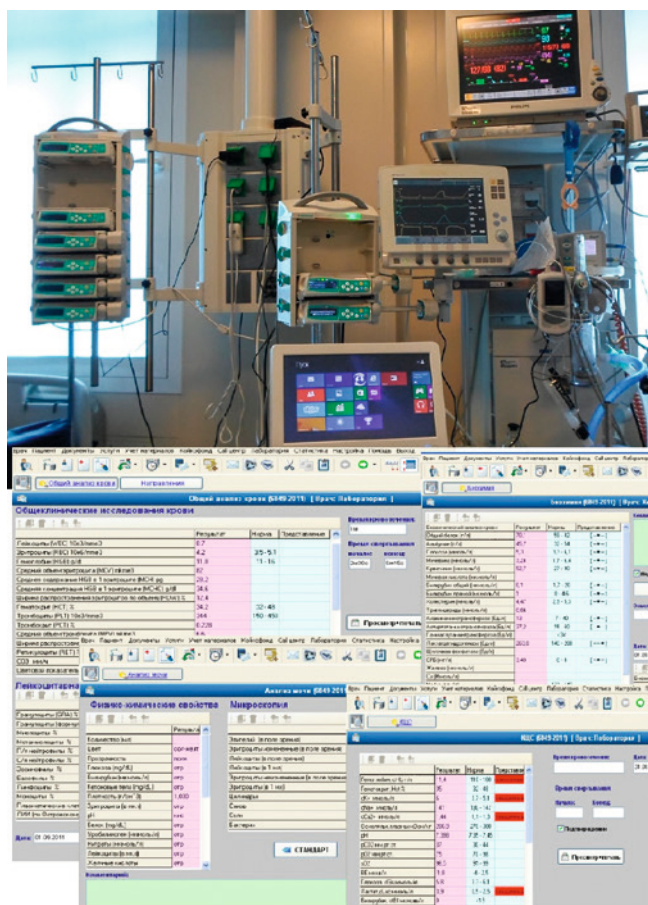


Рисунок 2. ОАР — наиболее ответственный этап медицинской помощи больным в критических состояниях с огромной мультимодальной информационной нагрузкой на врача — анестезиолога-реаниматолога в условиях дефицита времени для принятия решения.

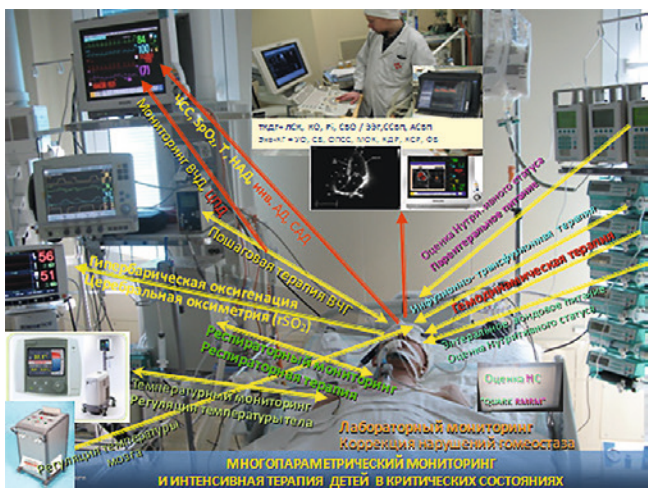


Рисунок 3. Анестезиолог-реаниматолог, анализируя получаемую информацию, проводит своевременную и адекватную коррекцию интенсивной терапии.

мониторинга, регистрирующие данные физиологических параметров, и оборудование, позволяющее получить дискретную информацию о пациенте, но эта информация находится вне контекста с истинным клиническим состоянием до момента ее оценки лечащим врачом (рис. 3). Множество диагностических методов и способов,



Рисунок 4. Создание алгоритмов поддержки принятия клинических решений является ключевым моментом развития цифровизации ОАР.

дающих представление о состоянии систем и органов пациента, в том числе методы непрерывной оценки жизненно важных функций (АД, ЧСС, ЧД, SatO_2 и др.), нейромониторинг (ВЧД, ЦПД), используемые дискретно методы нейровизуализации (КТ, МРТ), ультразвуковые методы исследования (УЗИ, ТКДГ, НСГ), а также лабораторные исследования состояния внутренней среды, гемостаза и клеточного состава крови получили название «многопараметрический мониторинг».

Всегда ли анализ данных многопараметрического мониторинга позволяет проводить своевременную и адекватную корректировку интенсивной терапии? Согласно ряду исследований человеку сложно осмыслить изменения временных рядов мультимодальных клинических данных, о которых получено более двух сигналов, тем более изучая их взаимодействия и корреляции между собой [5]. В связи с этим актуальна интеграция информационных потоков с переводом визуальной информации в цифровую с генерацией алгоритмов принятия клинических решений (CDS) и последующим использованием возможностей искусственного интеллекта для формирования экспертных заключений и рекомендаций по тактике лечения и прогноза острого периода заболевания (рис. 4) [6].

Важность разработки более совершенных всеобъемлющих подходов связана еще и с тем, что до настоящего времени отсутствует целостное представление данной проблемы не только в нашей стране, но и за рубежом. Решение данной проблемы и составило цель данного исследования.

Цель и задачи работы

Создание медицинской информационно-аналитической системы на основе существующего аппаратно-измерительного медицинского комплекса ОАР, позволяющей с использованием алгоритмов CDS осуществлять поддержку клинических решений и в перспективе формировать экспертные решения и рекомендации по проводимой интенсивной терапии детей в критических состояниях.

Для достижения поставленной цели следовало решить следующие задачи: сформировать взаимосвязанный комплекс медицинской информационной системы и системы прикроватных мониторов; создать условия для аккумуляции получаемой информации в медицинские базы данных, ее обработки и хранения в постоянном сопряжении с электронной историей болезни; с помощью самообучающихся нейронных сетей [7] определить ряд интегральных показателей, характеризующих развитие декомпенсации мониторируемой системы и развитие критического состояния; сделать доступной эту информацию лечащему врачу в режиме реального времени, в том числе на портативных устройствах; выработать механизм экспертной оценки для предупреждения возникающих угроз состоянию ребенка с формированием рекомендаций по путям и методам преодоления имеющихся проблем.

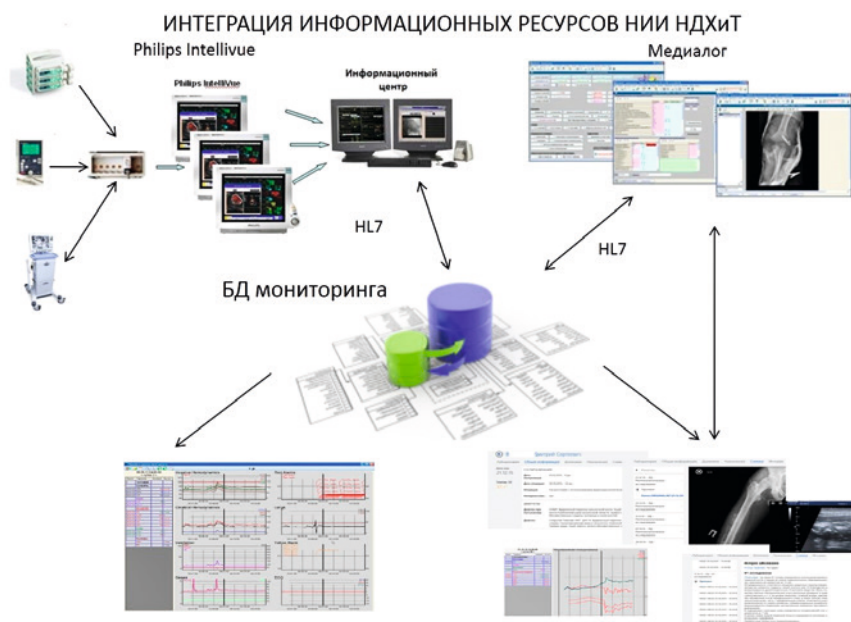


Рисунок 5. Схематическое изображение информационно-аналитического комплекса.
Примечание: база данных мониторинга обозначает выделенный сервер; ПО — программное обеспечение; Philips Intellivue — система прикроватных мониторов, центральной станции и прикроватного оборудования; ЭИБ — электронная история болезни.

Материалы и методы

Основу создаваемого комплекса составила медицинская информационная система (МИС) компании «Пост Модерн Технолоджи» [8], совмещенная с системой прикроватных мониторов MP60 и центральной станцией (Philips) [9]. Полученные временные ряды предварительно фильтровались с целью удаления артефактов, так называемых лишних сигналов (шумов), в том числе из-за возможных сбоев аппаратуры. Использовались методы спектрального и когерентного анализа, рассматривали кросскорреляционные функции. Финальный анализ проводили многомерными методами статистики, такими как метод главных компонент, дискриминантный и регрессионный анализ.

В работе использовали программы Statistica v. 8 (Statsoft), Gretl, PolyAnalyst v. 6 (Megaputer), графические и вычислительные возможности электронной таблицы Excel Microsoft.

Был проведен анализ результатов многопараметрического мониторинга данных с 2010 по 2017 год у 462 детей с тяжелой механической травмой в возрасте от 1 года до 18 лет (68% — мальчики, 32% — девочки) в ходе проведения интенсивной терапии в ОАР. Статистически значимым считали вывод при вероятностной ошибке $p < 0,05$.

Результаты

В результате проведенного исследования был сформирован комплекс, включающий сеть прикроватных мониторов MP60 с центральной станцией, которые, помимо данных ЖВФ, позволяют снимать данные с прикроватного оборудования, используя модули VueLink, выделенный сервер в соединении с центральной станцией, позволяющий на основе протокола HL7 аккумулировать, обрабатывать и хранить в медицинской базе полученные данные, постоянно сопрягая их с электронной историей болезни (рис. 5).

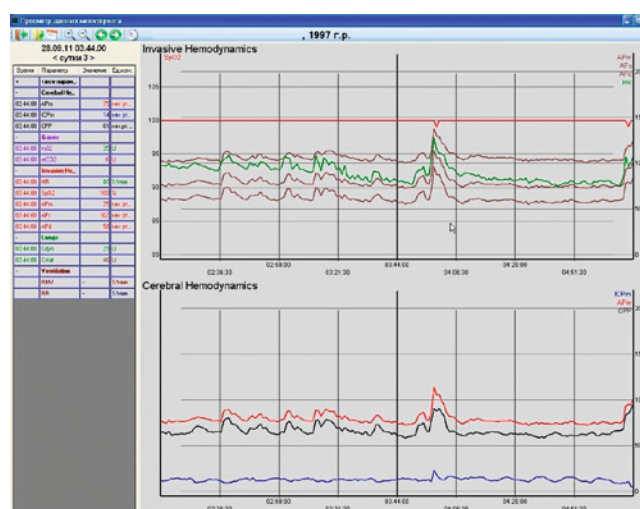


Рисунок 6. Представлены графические тренды пациента с тяжелой травмой, включая тЧМТ, которому проводится мониторинг ВЧД и ЦПД. 1 — эпизод в интервале 10 минут с повышением ВЧД (ICP), ЦПД (CPP), среднего АД (ADm), ЧСС (HR), купированный применением протокола пошаговой борьбы с внутричерепной гипертензией [10]; 2 — отмечено увеличение ЧД респиратором, что соответствует применению 4-го шага протокола; 3 — представлены числовые значения на момент указанного положения курсора; 4 — смещаемый курсор времени оценки анализируемых параметров.

Как видно из рисунка, данные многопараметрического мониторинга и их анализ стали доступны лечащему врачу в режиме реального времени, в том числе на портативных устройствах (смартфон, планшет) благодаря системе WEB access. Это позволило реализовать принцип anytime, anyplace, определив возможность врача принимать клинические решения вне зависимости от места нахождения. Архивация данных, их цифровая обработка и возможность представления в графическом или табличном виде позволяют провести ретроспективный анализ



Рисунок 7. Динамика ИПГ в остром периоде тяжелой механической травмы: 1 — график изменения величины ИПГ; 2 — величина последнего вычисленного ИПГ; 3 — дельта величины ИПГ; 4 — трактовка изменений ИПГ; 5 — соответствие дельты ИПГ состоянию.

событий в соответствии с изменениями клинического состояния больного (рис. 6).

С целью сведения мультимодальной информации в единое целое были применены программные средства Arden Knowledge Engine [11, 12]. Это позволило разработать систему предупреждений о возникающих угрозах состоянию ребенка и на основе экспертной оценки медицинской информации выработать рекомендации по путям и методам преодоления имеющихся проблем.

В настоящее время в систему предупреждений вошли три показателя, разработанные с использованием алгоритмов CDS: интегральный показатель гомеостаза (ИПГ) и показатели, характеризующие внутричерепные объемные соотношения (PRx) и церебральную ауторегуляцию (VRx).

Интегральный показатель гомеостаза (ИПГ) определяется на основе рутинного анализа КЩС и в настоящее время используется нами для всех пациентов в критических состояниях (рис. 7) [13, 14].

Как видно из рисунка, изменения ИПГ могут происходить как в положительную, так и в отрицательную сторону. Клинически это соответствовало последующему улучшению или ухудшению состояния больного, при этом снижение ИПГ ниже -5 в течение двух или более часов предшествовало развитию критического состояния. Это давало возможность лечащему врачу предпринять необходимые меры для предупреждения его развития.

Интегральные показатели внутричерепных объемных соотношений (PRx) и церебральной ауторегуляции (VRx) были использованы для

оценки состояния и прогноза у больных с тяжелой механической травмой, включающей тЧМТ в условиях мониторинга ВЧД. Было определено, что изменения PRx/VRx предшествуют и характеризуют развитие декомпенсации мониторируемой системы и развитие критического состояния (рис. 8). В настоящее время накапливается клинический опыт применения этих интегральных показателей при интенсивной терапии детей с тяжелой механической травмой, включающей тЧМТ [15].

Мониторинг PRx и VRx представляет собой динамично, в реальном времени изменяющееся изображение, в котором сдвиг показателей в красную зону диаграммы характеризует декомпенсацию мониторируемой системы и, наоборот, увеличение площади зеленой зоны говорит о положительной динамике происходящего и дает позитивный прогноз острого периода травмы.

Обсуждение

Создание современной медицинской информационно-аналитической системы на основе существующего аппаратно-измерительного медицинского комплекса ОАР для поддержки принятия клинических решений с использованием алгоритмов CDS неизбежно подразумевает использование технологий больших данных (big data) [16]. Медицинские аналитические задачи, которые можно решать с применением такого анализа, могут быть различных типов: описательная аналитика (отвечающая на вопрос: «Что случилось?»); диагностическая аналитика («Почему это произошло?»); предикативная аналитика («Что случится в будущем?»); предписывающая аналитика («Что необходимо сделать, чтобы этого не произошло?»). В нашем понимании применение технологии big data означало не только большой объем рассмотренных данных, а использование всех доступных аналитических средств для выполнения поставленных задач. В данном исследовании мы подошли к использованию big data в контексте системы поддержки принятия решений

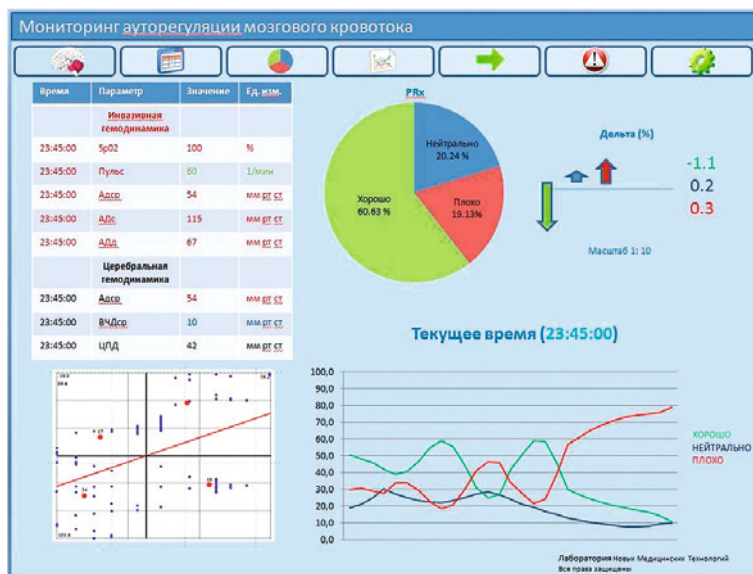


Рисунок 8. Представлены данные мониторинга ВОС и ЦА у больного с тяжелым церебральным повреждением после травмы.

о способах лечения и организации лечебного процесса, реализуя это на основе углубленной аналитики, включая системы идентификации пациентов с определенными патологиями (за основу взяты пациенты с тяжелой механической травмой), методы осуществления коллаборации между медицинским персоналом, методы и системы прогнозирования изменений физиологических и клинических состояний (data mining). Применение методологии data mining позволяет реализовывать методы нейронных сетей, обобщенного кластерного анализа, правил связи, деревьев классификации и регрессии, интерактивных деревьев, растущих деревьев, обобщенных аддитивных моделей и многие другие [17]. Именно такой подход позволил нам подойти к использованию алгоритмов CDS (clinical decision support) для разработки интегральных показателей в поддержку принимаемым клиническим решениям. Интегральный показатель гомеостаза (ИПГ) и показатели, характеризующие внутричерепные объемные соотношения (PRx) и церебральную ауторегуляцию (VRx), доказали свою эффективность в клинической практике, в том числе разрешив одну из первых проблем на пути внедрения — реакцию врачей — анестезиологов-реаниматологов на предлагаемые решения.

Формирование интегральных показателей, характеризующих состояние и вектор изменений мониторируемых систем организма больного, позволило перейти на следующую ступень развития комплекса — создание экспертных решений и рекомендаций по проводимой интенсивной терапии детей в критических состояниях с применением программных средств Arden Knowledge Engine [18] (рис. 9).

Выполненное исследование обеспечило доступ лечащему врачу — анестезиологу-реаниматологу в режиме реального времени к данным многопараметрического мониторинга и результатам их анализа, в том числе на портативных устройствах (смартфон, планшет) благодаря системе WEB access. Это позволило приступить к реализации принципа anytime, anyplace, определив возможность врача принимать клинические решения вне зависимости от места нахождения.

Выводы

1. Формирование архитектуры медицинской информационно-аналитической системы, создание алгоритмов поддержки клинических решений на основе разрабатываемых интегральных показателей, внедрение программных средств Arden Knowledge Engine оправдало себя клинически и позволяет перейти на новую ступень развития цифровой реанимации с использованием возможностей искусственного интеллекта.
2. Дальнейшее развитие данного направления предполагает многоцентровое исследование, посвященное дальнейшему внедрению в мониторинг и интенсивную терапию детей в критических состояниях системы поддержки клинических решений (CDS) и искусственного интеллекта с оценкой влияния этого на улучшение результатов лечения.



Рисунок 9. Пирамида эволюции цифровой реанимации: 1 — этап прикроватного мониторинга с использованием следящих систем; 2 — этап многопараметрического мониторинга с интеграцией всех данных; 3 — этап применения CDS-алгоритмов поддержки принятия клинических решений; 4 — использование возможностей искусственного интеллекта (AI) для формирования экспертных заключений и рекомендации по проводимой интенсивной терапии.

Список литературы

1. Майер-Шенбергер В., Кукьер К. Большие данные. Революция, которая изменит то, как мы живем, работаем и мыслим. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2014–240 с.
2. Belle A., Thiagarajan R., Reza Soroushmehr S. M., Navidi F., Beard D., Najarian K. (2015) Big Data Analytics in Healthcare // *BioMed Research International*. Vol. 2015. P. 1–16.
3. Champagne D., Hung A., Leclerc O. (2015) The road to digital success in pharma / McKinsey & Company. www.mckinsey.com/industries/pharmaceuticals-and-medical-products/our-insights/the-road-to-digital-success-in-pharma.
4. S. P. Baker, B. O'Neill, W. Haddon Jr., W. B. Long, The Injury Severity Score: A method for describing patients with multiple injuries and evaluating emergency care, *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*. 14 (3) (1974), 187–196.
5. Belle A., Thiagarajan R., Reza Soroushmehr S. M., Navidi F., Beard D., Najarian K. Big Data Analytics in Healthcare // *BioMed Research International*. Vol. 2015. P. 1–16.
6. Цветкова Л. А., Черненко О. В. Внедрение технологий Big Data в здравоохранение: оценка технологических и коммерческих перспектив. *Ж. «Экономика науки»*, т. 2, № 2, стр. 138–150, 2016.
7. Галушкин А. И. Нейронные сети: основы теории. Научно-техническое издательство «Горячая линия — Телеком». 496 с., 2017.
8. www.medialog.ru
9. www.philips.ru
10. Рошаль А. М., Амчеславский В. Г., Колыхалкина И. А., Карасева О. В., Ахадов Т. А. и др. «Профилактика и лечение внутричерепной гипертензии у детей с тяжелой черепно-мозговой травмой». Методические рекомендации № 25, Москва, 27 с., 2014.
11. www.ardensoftware.com
12. Arden Suite. Available at: <http://www.medexter.com/products/ardensuite> [Accessed 18.April 2017].
13. Амчеславский В. Г., Арсеньев С. Б., Лукьянов В. И., Хмельницкий К. Е., Глебова Е. С. Интегральный показатель кислотно-щелочного гомеостаза и прогноз состояния детей в остром периоде тяжелой механической травмы. *Детская хирургия*. 22 (5), с. 228–235, 2018.
14. Григоренко Е. А., Амчеславский В. Г., Арсеньев С. Б., Мишулина О. А. Интегральный показатель кислотно-щелочного состояния крови для оценки состояния пациентов с черепно-мозговой травмой. *Журнал Медицинский алфавит* № 5. Неотложная медицина № 1 (221), с. 37–41, 2014.
15. Арсеньев С. Б. Создание и развитие системы поддержки принятия клинических решений в ОАР [Электронный ресурс] / С. Б. Арсеньев, В. Г. Амчеславский // XX Конгресс педиатров России с международным участием «Актуальные проблемы педиатрии»: сборник материалов конгресса (г. Москва, 16–18 февраля 2018 г.). — Электрон. дан. — Москва, 2018. — С. 415.
16. Настоящее и будущее новых цифровых технологий в реанимации / В. Г. Амчеславский, С. Б. Арсеньев, В. И. Лукьянов, В. Г. Багаев, И. А. Колыхалкина, Т. Ф. Иванова // III Московский городской съезд анестезиологов и реаниматологов «Междисциплинарный подход в анестезиологии и реаниматологии»: сборник материалов съезда (г. Москва, 26–27 апреля 2018 г.). — Электрон. дан. — Москва, 2018. — С. 49. — Режим доступа: www.ar-mos.com/public/files/events/7/714/katalog.pdf.
17. Мокина Е. Е., Марухина О. В., Шарова М. Д., Дубинина И. А. Ж. Фундаментальные исследования. № 5 (2), с. 269–274, 2017.
18. Adlassnig K.-P., Fehre K., Service-Oriented Fuzzy-Arden-Syntax-Based Clinical Decision Support, *Indian Journal of Medical Informatics* 8 (2014), 75–79.

ПЛАН

научно-практических мероприятий на 2019г.

	18 января <u>ЦКБ УДПРФ, ул Маршала Тимошенко, 15</u> Научно-практическая конференция «РЕПРОДУКТИВНАЯ МЕДИЦИНА XXI ВЕКА. ВЗГЛЯД ЭКСПЕРТОВ»
	5 марта <u>г. Москва, Измайловское ш., д.71, корп. 4Г-Д</u> 48-й научно-практический семинар ФБУН ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора «АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПРОФИЛАКТИКИ, ДИАГНОСТИКИ И ЛЕЧЕНИЯ ВНЕБОЛЬНИЧНЫХ ПНЕВМОНИЙ»
	25-26 апреля <u>г. Москва, Новый Арбат, д.36</u> IX Всероссийский конгресс с международным участием «МЕДИЦИНА ДЛЯ СПОРТА 2019»
	16-17 мая <u>г. Москва, Новый Арбат, д.36</u> V Межведомственная научно-практическая конференция «ИНФЕКЦИОННЫЕ БОЛЕЗНИ – АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ, ЛЕЧЕНИЕ И ПРОФИЛАКТИКА»
	23-24 мая <u>г. Санкт-Петербург, Московский пр., 97А</u> Научно-практическая конференция «АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ТОКСИКОЛОГИИ И ФАРМАКОЛОГИИ»
	3 июня <u>ЦКБ УДПРФ, ул Маршала Тимошенко, 15</u> Научно-практическая образовательная конференция «ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНАЯ МЕДИЦИНСКАЯ ПОМОЩЬ В ГИНЕКОЛОГИИ XXI ВЕКА. ВЗГЛЯД ЭКСПЕРТА»
	16-17 сентября <u>г. Москва, Новый Арбат, д. 36</u> 5-ый НАЦИОНАЛЬНЫЙ КОНГРЕСС БАКТЕРИОЛОГОВ
	26-27 сентября <u>г. Москва, Новый Арбат, д. 36</u> XVII Международный конгресс «РЕАБИЛИТАЦИЯ И САНАТОРНО-КУРОРТНОЕ ЛЕЧЕНИЕ 2019»
	18-19 ноября <u>г. Москва, Новый Арбат, д. 36</u> VII Международный конгресс «ПРОФИЛАКТИКА И ЛЕЧЕНИЕ МЕТАБОЛИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ И СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ: МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ ПОДХОД»
	18-19 ноября <u>г. Москва, Новый Арбат, д. 36</u> КОНГРЕСС ЭНДОКРИНОЛОГОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ
	28-29 ноября <u>г. Москва, Новый Арбат, д. 36</u> Конгресс с международным участием «КОНТРОЛЬ И ПРОФИЛАКТИКА ИНФЕКЦИЙ, СВЯЗАННЫХ С ОКАЗАНИЕМ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ» (ИСМП-2019)

Дополнительная информация на сайте www.expodata.info
тел.: (495) 617-36-43; (495) 617-36-44; тел./факс: (495) 617-36-79;