

Возможности программного обеспечения для мониторинга дозовой нагрузки пациентов в лучевой диагностике

М.П. Шатёнок¹, С.А. Рыжов^{1,2}, З.А. Лантух¹, Ю.В. Дружинина^{1,3}, К.В. Толкачев¹

¹ Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Москва, Российская Федерация

² Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева, Москва, Российская Федерация

³ Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Увеличение количества диагностических процедур с использованием ионизирующего излучения (компьютерная томография, интервенционные процедуры, применение ядерной медицины) приводит к увеличению лучевой нагрузки и, как следствие, росту коллективных и индивидуальных доз облучения пациентов.

Вопросам менеджмента и оптимизации дозы от диагностических исследований уделяется много внимания в международном профессиональном сообществе. Общемировая практика решает данную проблему при помощи программного обеспечения для мониторинга доз пациентов с целью автоматизированного сбора, анализа и учёта доз пациента при проведении диагностических исследований различных видов. Программное обеспечение позволяет получить данные о дозах пациентов от рентгенорадиологических процедур и детальную информацию об исследованиях, отследить суммарную накопленную дозу пациента, вести статистику по аппарату, рентгенолаборанту, медицинской организации, а также анализировать собранные дозиметрические данные, выводить причинно-следственную связь показаний дозы и условий проведения исследований, обеспечивать мониторинг эффективности работы оборудования.

В ходе данной работы выполнено исследование основных возможностей доступного на мировом рынке программного обеспечения для мониторинга доз пациентов. Определены ключевые технические требования к функционалу программного обеспечения, необходимого для практической работы.

Современное программное обеспечение для мониторинга доз обладает широким спектром возможностей для автоматизированного сбора, хранения и контроля данных по дозовым нагрузкам пациентов в отделениях лучевой диагностики. Программное обеспечение для мониторинга доз пациентов позволяет повысить качество оказываемых медицинских услуг, обеспечить безопасность пациента и оптимизировать работу медицинской организации.

Ключевые слова: мониторинг дозовой нагрузки; лучевая диагностика; программное обеспечение.

Как цитировать

Шатёнок М.П., Рыжов С.А., Лантух З.А., Дружинина Ю.В., Толкачев К.В. Возможности программного обеспечения для мониторинга дозовой нагрузки пациентов в лучевой диагностике // *Digital Diagnostics*. 2022. Т. 3, № 3. С. 000–000. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD106083>

Рукопись получена: 12.04.2022 Рукопись одобрена: 25.07.2022 Опубликовано:

24.08.2022

Patient dose monitoring software in radiology

Maria P. Shatenok¹, Sergey A. Ryzhov^{1,2}, Zoya A. Lantukh¹, Yuliya V. Druzhinina^{1,3}, Kirill V. Tolkachev¹

¹ Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russian Federation

² Dmitry Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology, Moscow, Russian Federation

³ Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

An increase in the number of diagnostic procedures using ionizing radiation (computed tomography, interventional procedures, the use of nuclear medicine) leads to an increase in radiation exposure and, as a consequence, an increase in collective and individual doses of radiation to patients.

A lot of attention is paid to the issues of management and optimization of the dose from diagnostic studies in the international professional community. Worldwide practice solves this problem with the help of software for monitoring patient doses in order to automatically collect, analyze and account for patient doses during diagnostic studies of various types. The software allows to obtain data on the doses of patients from X-ray radiological procedures and detailed information about studies, track the total accumulated dose of the patient, keep statistics on the device, X-ray laboratory, medical organization, as well as analyze the collected dosimetric data, deduce the causal relationship of dose indications and diagnostic procedure conditions, monitor the effectiveness of the equipment.

The basic capabilities of patient dose monitoring software (DMS) available on the world market were studied. The main technical requirements for the software functional needed in practical work were defined.

Modern DMS has wide range of possibilities for automated collection, storage and control of patient radiation exposure data in radiology departments. DMS increases the quality of healthcare services, provides patient safety and optimizes workflow of medical organization.

Keywords: dose monitoring; radiology; software.

To cite this article

Shatenok MP, Ryzhov SA, Lantukh ZA, Druzhinina YuV, Tolkachev KV. Patient dose monitoring software in radiology. *Digital Diagnostics*. 2022;3(02):000–000. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD106083>

Received: 12.04.2022 Accepted: 25.07.2022 Published: 24.08.2022

Список сокращений и аббревиатур

КТ — компьютерная томография

ПО МД — программное обеспечение для мониторинга доз пациентов

РДУ — референтные диагностические уровни

AGD (Average Glandular Dose) — средняя доза в молочной железе

CTDIvol (Volume CT Dose Index) — поглощённая доза облучения в фантоме при КТ-исследовании

DAP (Dose Area Product) — произведение дозы на площадь

DLP (Dose Length Product) — произведение дозы на длину; поглощённая доза за все КТ-исследования с учётом протяжённости области сканирования

SSDE (Size-Specific Dose Estimate) — дозовая нагрузка на пациента с учётом его геометрических размеров

ВВЕДЕНИЕ

В течение последних десятилетий в мире наблюдается увеличение количества диагностических процедур с использованием ионизирующего излучения, что связано в первую очередь с ростом количества высокодозных исследований, таких как компьютерная томография (КТ), интервенционные процедуры и применение ядерной медицины [1]. Это приводит к увеличению доли данных методов в структуре лучевой нагрузки и, как следствие, росту коллективных и индивидуальных доз облучения пациентов.

Следует отметить, что тенденции, наблюдаемые в Российской Федерации, в целом соответствуют общемировым. В Москве, по данным формы № 3-ДОЗ¹, коллективная доза выросла с 10 946 чел.-Зв в 2017 г. до 16 662 чел.-Зв в 2020 г., что напрямую связано с ростом удельного веса КТ-исследований — с 5,5% в 2017 г. до 13,1% в 2020 г. По данным отчётной формы № 3-ДОЗ, удельный вклад в коллективную дозу от КТ-исследований достиг в 2020 г. 75,9% [2, 3]. С высокой вероятностью данная тенденция продолжится и в ближайшие годы.

Особую обеспокоенность научного сообщества вызывают случаи необоснованных многократных исследований, проводимых одному и тому же пациенту, а также факты однократных исследований с дозами более 100 мЗв [4]. По мнению ряда учёных, проведение всего двух или трёх КТ-процедур, особенно у детей, может существенно повысить риск развития злокачественных новообразований [5].

На этом фоне, согласно ряду публикаций W. Bogdanich в *The New York Times*², случаи возникновения видимых кожных повреждений в результате ошибок при проведении КТ перфузии головного мозга в США должны обращать на себя пристальное внимание, а их расследование и выявление причин — получать самую широкую огласку в профессиональном сообществе. В западных странах подобные случаи послужили мощным толчком к созданию новых требований в области радиационной безопасности, в частности

¹ Сведения о дозах облучения пациентов при проведении медицинских рентгенорадиологических исследований (форма № 3-ДОЗ). Режим доступа:

http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_52009/c262c55885294afd998489c7f7ef8fe17e14da38/. Дата обращения: 15.03.2022.

² *The New York Times*. Bogdanich W. Radiation overdoses point up dangers of CT scans [Internet], 2009 (<https://www.nytimes.com/2009/10/16/us/16radiation.html>); After stroke scans, patients face serious health risks [Internet], 2010 (<https://www.nytimes.com/2010/08/01/health/01radiation.html>); West Virginia hospital overradiated brain scan patients, records show [Internet], 2011 (<https://www.nytimes.com/2011/03/06/health/06radiation.html>).

к обязательному применению специального программного обеспечения для учёта доз облучения пациентов. К сожалению, в России случаи возникновения детерминированных эффектов не имеют широкого резонанса, а их описание в научных русскоязычных источниках, как правило, связано с особенностями хирургического лечения пациентов [6–8]. В связи с этим требования нормативных документов по радиационной безопасности на настоящий момент не отражают необходимость фиксации доз пациента с помощью программного обеспечения в рабочих процессах отделения лучевой диагностики, а используют возможности программных продуктов только для статистического сбора информации различных медицинских организаций³.

В то же время применяемый в России ручной сбор информации для составления отчётности о лучевой нагрузке пациента и использование бумажных журналов кабинета лучевой диагностики затрудняет проведение надлежащего мониторинга радиационной безопасности. Отсутствие автоматизации повышает трудоёмкость процесса и влечёт за собой возможные ошибки по причине человеческого фактора.

Вопросам менеджмента и оптимизации дозы от диагностических исследований уделяется много внимания в международном профессиональном сообществе. В соответствии с Европейской директивой 2013/59/Euratom [9], рекомендовано проводить мониторинг и контроль дозовой нагрузки пациентов от диагностических процедур «намного более точно, чем ранее», а также следовать основному принципу современной радиационной защиты ALARA (от As Low As Reasonably Achievable — *настолько низко, насколько разумно достижимо*) при обосновании и оптимизации диагностических доз облучения.

Общемировая практика по решению данной проблемы — это использование программного обеспечения для мониторинга доз пациентов (ПО МД) с целью автоматизированного сбора, анализа и учёта доз пациента при проведении диагностических исследований различных видов: КТ, рентгенографии/рентгеноскопии, маммографии, ангиографии и пр.

ПО МД позволяет получить данные о дозах пациентов от рентгенорадиологических процедур и детальную информацию об исследованиях, отследить суммарную накопленную дозу пациента, вести статистику по аппарату, рентгенолаборанту, медицинской организации, а также проанализировать собранные дозиметрические данные, вывести причинно-следственную связь показаний дозы и условий проведения исследований, обеспечить мониторинг эффективности работы оборудования.

R.W. Loose и соавт. [10] выделили следующие задачи радиационной безопасности в медицинских организациях, решению которых способствует использование ПО МД:

- сбор дозиметрических данных для установки локальных и национальных референтных диагностических уровней (РДУ) или значений типичных доз;
- проверка соответствия средних доз от исследований с установленными РДУ;
- предотвращение, выявление и отчётность в случае непреднамеренного облучения;
- оптимизация лучевой нагрузки пациентов, особенно в области КТ и интервенционных процедур;
- структурированная консолидация документации по дозовой нагрузке пациентов, отчётность и отслеживание;
- формирование уведомлений о превышении установленных локальных или национальных уровней;

³ Сведения о дозах облучения пациентов при проведении медицинских рентгенорадиологических исследований (форма № 3-ДОЗ). Режим доступа:

http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_52009/c262c55885294afd998489c7f7ef8fe17e14da38/. Дата обращения: 15.03.2022.

- локальный, региональный или национальный бенчмаркинг (от англ. benchmarking — сопоставительный анализ) лучевой нагрузки пациентов для различных модальностей и процедур.

В данный список также можно включить необходимость оценки органных доз и пожизненных атрибутивных рисков.

Необходимо добавить, что использование ПО МД требует командной работы таких специалистов, как медицинские физики, рентгенолаборанты, врачи-радиологи, врачи-рентгенологи, а также врачи общей практики, вовлечённые в процесс диагностики. Однако предполагается, что основная ответственность за использование ПО МД будет возложена на квалифицированного медицинского физика, который должен контролировать первичную установку и настройку системы, проводить проверку корректности передачи данных и расчёта основных дозовых параметров.

ЭТАПЫ РАБОТЫ С ПРОГРАММНЫМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ

Целью настоящей работы являлось исследование основных возможностей доступного на мировом рынке ПО МД и определение ключевых технических требований к функционалу программного обеспечения. На первом этапе исследования был проведён обзор литературы по представленной тематике в базах данных PubMed, GoogleScholar и eLibrary на английском и русском языках. Для поиска использовали запросы: «dose monitoring system», «patient dose in radiology», «dose tracking software», «дозовая нагрузка пациента при лучевой диагностике», «мониторинг доз пациента».

По результатам проведённого анализа отечественных и международных литературных источников сформирован список ПО МД пациента для исследования и тестирования основных возможностей:

- 1) DoseWatch (GE);
- 2) TQM-Dose (Qaelum);
- 3) Radimetrics (Bayer)⁴;
- 4) DoseWise Portal v3.0 (Philips);
- 5) Teamplay (Siemens Healthineers);
- 6) DoseTrack (Sectra).

Работа с ПО МД строилась по следующей схеме:

1. Знакомство и установление контакта с производителем ПО МД.
2. Презентация продукта производителем.
3. Получение доступа к демоверсии ПО МД.
4. Загрузка тестового набора данных в ПО МД. Набор данных содержал информацию по проведённым рентгенологическим исследованиям с 15 рентгеновских КТ. Для формирования набора данных были выбраны наиболее распространённые типы процедур исследований пациентов на КТ. Проведена полная и невозвратная анонимизация исследований в Едином радиологическом информационном сервисе (ЕРИС)⁵. Всего в набор данных вошло 3102 исследования по 20 типам процедур.
5. Апробация и тестирование ПО МД в закрытом контуре. Срок тестирования составил не менее 1 мес для возможности полной оценки всех технических параметров ПО.

⁴ Программное обеспечение для мониторинга доз пациентов Radimetrics (Bayer) не зарегистрировано в Российской Федерации.

⁵ Официальный сайт НПКЦ диагностики и телемедицинских технологий. Единый радиологический информационный сервис. Режим доступа: https://tele-med.ai/proekty/edinyj-radiologicheskij-informacionnyj-servis_2020. Дата обращения: 15.03.2022.

Ввиду различного уровня доступа к ПО МД, предоставленному производителями, порядок исследования каждой системы имел свои особенности. Для некоторых ПО МД, ввиду технических причин, апробация проводилась с использованием тестового набора данных производителя.

Указанные работы проводились в течение года, начиная с июня 2019 г.

ПРОЦЕСС ПОДКЛЮЧЕНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОНИТОРИНГА ДОЗ

ПО МД пациента имеют мультимодальную структуру с возможностью подключения оборудования различных производителей. Дополнением к данным системам является возможность подключения неионизирующего оборудования с целью контроля эффективности работы персонала и принятия управленческих решений.

Исследования, проведённые цифровым методом рентгенодиагностики (рентгенодиагностика, маммография, ангиография, КТ и пр.), благодаря наличию данных о дозовых показателях в протоколе DICOM (CTDIvol, DLP, DAP, AGD, SSDE и др.) хорошо систематизируются и могут быть использованы для контроля дозовой нагрузки пациента. Информация о дозе может быть извлечена из DICOM тремя способами:

- 1) фиксация дозовой информации в специализированных тегах, имеющихся у отдельных производителей;
- 2) считывание информации, хранящейся в дозовом отчёте (Dose report) исследования, методом оптического распознавания символов Optical character recognition (OCR);
- 3) использование файла DICOM, структурированного отчёта, содержащего информацию о регистрации расчётной дозы облучения пациента (radiation dose structure report, RDSR).

RDSR — файл иерархической структуры с информацией о проведённом исследовании: общей информацией об исследовании, информацией о каждой серии облучения и дозовых показателях (рис. 1). Данный формат позволяет получить наиболее полную информацию об исследовании и пациенте, например, антропометрические и демографические данные, которые необходимы для расчёта органных доз и других персонифицированных дозовых показателей. Расчёт пиковой дозы на кожу невозможен без точных параметров проведения исследования, передаваемых в формате RDSR. К сожалению, данный формат поддерживается оборудованием, произведённым не ранее 2013 г., в исследовании доля подобного оборудования с RDSR составила 7%.

Большинство ПО МД устанавливаются на сервер, который служит для записи, отображения, анализа и передачи данных на другие сопряжённые системы. Сервер может быть физическим, виртуальным или представлять «облачное» решение.

ПО МД может быть подключено напрямую к рабочей станции КТ, однако наиболее распространённая архитектура подключения — это подключение ПО МД к PACS. Типовое подключение, а также роли ответственных специалистов представлены на рис. 2.

После подключения ПО МД в информационную сеть МО/группы МО необходимо провести настройку передачи данных с диагностических устройств. Информация об исследовании из формата DICOM должна записываться в правильные поля ПО МД. Каждое ПО МД имеет особенности в настройке экспорта данных. При настройке проверяются корректность отображения размерности величин, алгоритм расчёта и точность определения дозовых показателей. Особенно трудоёмкой задачей являются стандартизация названий протоколов исследований и определение исследований в группы для установки РДУ и дальнейшего сравнения с национальными и международными данными.

ОСНОВНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ДОЗ ПАЦИЕНТОВ

В результате проведённой работы были выделены и описаны ключевые возможности ПО МД с учётом практической пользы при проведении рентгенодиагностических процедур.

В зависимости от производителя и конфигурации в ПО МД поддерживаются различные модальности: КТ, интервенционная радиология, рентгенография и рентгеноскопия, маммография, позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ), ПЭТ/КТ, однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ), ОФЭКТ/КТ.

Статистика

ПО МД представляет собой базу данных параметров диагностических исследований с различными инструментами для анализа и статистической обработки. В различных ПО МД данные возможности реализованы с особенностями, однако можно выделить основные:

- наличие фильтров по дате, типу исследования, модальности, устройству, протоколу, дозовой нагрузке, области сканирования, медицинской организации, демографическим и антропометрическим данным пациента, ФИО (фамилия, имя, отчество) рентгенолаборанта и др.;
- возможность просматривать список исследований в табличном виде (рис. 3). Для каждого исследования отображается список ключевых параметров: код исследования и протокола, значения дозовых показателей (CTDIvol, DLP, SSDE, DAP и др.), время рентгеноскопии, демографические и антропометрические данные пациента, название медицинского учреждения, модель аппарата, ФИО врача и оператора и др.;
- присутствует цветовая индикация исследований, по которым были сформированы предупреждающие оповещения, в зависимости от их статуса;
- существует возможность настраивать информационную панель (Dashboard) и применять различные типы графиков и диаграмм для визуализации отфильтрованных данных. Обычно в ПО МД предлагается использовать стандартные графики или создавать новые в соответствии с необходимостью.

Наличие инструментов статистической обработки позволяет рассчитывать максимальные, минимальные, средние и медианные значения, а также определять квантили, стандартные отклонения и строить тренды. Например, возможно построить столбчатую диаграмму распределения исследований по эффективной дозе для выбранного протокола и сравнить дозу от конкретного исследования с дозами других исследований по тому же протоколу. На диаграмме отображаются установленные уровни РДУ для рассматриваемого протокола КТ (рис. 4). Мониторинг информационных панелей в режиме реального времени позволяет выявить возможные отклонения в работе оборудования и персонала. Возможно также провести статистический анализ распределений доз для конкретного типа исследования, например по параметру DLP (рис. 5). В некоторых ПО МД присутствует модуль наблюдения за временем проведения исследования, включая этап подготовки, собственно исследование и период ожидания между исследованиями (рис. 6). Инструмент может быть полезен как для контроля длительности исследований, так выполнения рекомендаций по использованию оборудования.

Карточка пациента

Карточка пациента содержит информацию о пациенте, включая ID (уникальный индивидуальный номер), ФИО, пол, возраст, вес, рост, индекс массы тела (ИМТ). В данном разделе также представлена информация об исследованиях, которые проходил

пациент, и которые были загружены в систему. Информация о дозе пациента, полученной от рентгенологического исследования, обычно представлена как в графическом, так и в табличном виде. Отображается суммарная накопленная доза пациента от всех исследований. Обычно присутствует цветовая индикация, сигнализирующая о превышении установленных дозовых уровней, причём как для каждого исследования в отдельности, так и для суммарной накопленной дозы.

Сигнальные оповещения

Наличие автоматических сигнальных оповещений в ПО МД позволяет быстро выявить случаи превышений установленных допустимых уровней по дозовой нагрузке. В большинстве систем реализована настройка специальных «триггеров», по которым автоматически формируются оповещения и направляются на электронную почту ответственному медицинскому физику или другим пользователям системы (рис. 7). В качестве примера можно привести следующие параметры исследований, которые выступают «триггерами»: CTDI_{vol}, DLP, DAP, ESD, SSDE, AGD, толщина компрессии молочной железы, mAs. Для каждого из этих параметров устанавливаются соответствующие допустимые уровни.

Обычно имеется цветовая индикация самих исследований и их дозовых параметров по типу «светофора» в зависимости от установленных допустимых уровней: на рис. 8 красным цветом отмечены превышенные уровни дозы. В некоторых ПО МД предусмотрена возможность установки допустимых уровней для суммарной накопленной дозы от всех исследований, которые были произведены пациенту, и которые загружены в систему. Наличие данных возможностей в ПО МД позволяет оперативно отслеживать информацию о дозе как на уровне исследования, так и на уровне пациента (рис. 9).

Расчёт эффективной дозы

Для расчёта эффективной дозы в ПО МД используются дозовые параметры исследований в зависимости от модальности, полученные из DICOM (DLP, DAP, MGD, активность и др.). В большинстве ПО используются стандартные коэффициенты пересчёта, опубликованные в рекомендациях 60⁶ и 103⁷ Международной комиссии по радиологической защите (The International Commission on Radiological Protection, ICRP). Большим плюсом ПО МД является возможность редактировать дозовые коэффициенты и вносить собственные значения, так как, например, в Российской Федерации значения утверждённых в МУ 2.6.1.3584-19⁸ коэффициентов отличаются от международных.

Референтные диагностические уровни

Для исследования РДУ в ПО МД имеется различный функционал, позволяющий как устанавливать внешние РДУ, так и рассчитывать РДУ на основе внесённых данных. Существует возможность в дальнейшем сравнивать локальные дозовые уровни организации с национальными или международными РДУ.

Большинство ПО МД позволяет работать с РДУ для различных модальностей и типов процедур, включая интервенционную диагностику и флюорографию. РДУ

⁶ ICRP, 1991. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21 (1-3). Режим доступа:

<https://icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%2060>. Дата обращения: 15.03.2022.

⁷ ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4). Режим доступа:

<https://icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20103>. Дата обращения: 15.03.2022.

⁸ Методические указания МУ 2.6.1.3584-19 «Изменения в МУ 2.6.1.2944-19 «Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований»». Режим доступа: <https://base.garant.ru/73515396/>. Дата обращения: 15.03.2022.

рассчитываются в ПО МД в рекомендованных дозовых единицах в зависимости от модальности [11, 12]. К плюсам некоторых систем можно отнести возможность рассчитывать РДУ для определённой группы пациентов с учётом их демографических и антропометрических данных, например педиатрические РДУ, РДУ для тучных пациентов (рис. 10).

Использование автоматизированного ПО МД значительно упрощает и ускоряет процесс установки РДУ по сравнению с работой «вручную», увеличивает точность и достоверность результатов. Создаёт возможность осуществлять этот процесс на периодической основе.

Внедрение ПО МД позволяет использовать РДУ как инструмент оптимизации дозовой нагрузки пациентов в повседневной работе медицинской организации.

Отчёты

Формирование отчётов по загруженным данным является одной из ключевых возможностей ПО МД. Обычно отчёты включают в себя данные по дозовой нагрузке от проведённых исследований за определённый период, данные по загрузке диагностических устройств, статистику по видам исследований, используемым протоколам, областям сканирования и др. В отчёты включается информация о высокодозных исследованиях, а также исследованиях, для которых были превышены установленные РДУ и сформированы предупреждающие оповещения. Используя данную информацию, можно проводить точечный анализ выполненных исследований, выясняя причины возможных превышений.

В ПО МД предлагается либо использовать уже существующие типовые шаблоны отчётов, например ПО DoseWatch, ежемесячные отчёты по дозовой нагрузке в зависимости от области исследования/протокола исследования, либо настроить собственные отчёты с необходимыми параметрами. Чаще всего отчёт можно сформировать автоматически на основе имеющихся информационных панелей и настроить электронную рассылку специалистам по установленному графику. Возможно применение сортировки и фильтров по модальности, временному промежутку, учреждениям, протоколу исследования, возрасту пациентов, значениям CTDI и DLP и др. (рис. 11). Например, в отчётности ПО DoseWatch предусмотрена визуализация 10 самых высокодозных исследований за период и топ-10 пациентов с высоким значением кумулятивной дозы, обозначенной в DLP (рис. 12). Загруженность оборудования: распределение загруженности КТ-сканеров, количество проведённых исследований по КТ-сканерам, использование технологии снижения дозовой нагрузки, количество исследований в зависимости от рентгенолаборанта, врача-рентгенолога.

Наличие автоматизированных отчётов в ПО МД позволяет сократить время и трудозатраты на подготовку регулярной дозовой отчётности медицинского учреждения, отказаться от бумажных форм и повысить точность и качество отчётных данных. Появляется возможность для сравнения параметров диагностического оборудования, медицинских учреждений и персонала.

SSDE

Во многих коммерческих ПО МД реализована возможность расчёта такого параметра, как SSDE (Size Specific Dose Estimate) для КТ. Данный параметр позволяет оценить дозовую нагрузку на пациента с учётом его геометрических размеров, в отличие от параметра CTDIvol, который определяется для стандартного пациента на фантомах диаметром 32 см (тело) или 16 см (голова). В соответствии с публикацией Американской ассоциации медицинских физиков (The American Association of Physicists in Medicine, AAPM) [13], SSDE рассчитывается на основе эффективного диаметра или водозквивалентного диаметра пациента. Необходимая информация для расчёта обычно берётся из разметочных топограмм или набора аксиальных изображений.

Центрация пациента

Следует отметить важность правильной центрации пациента во время диагностической процедуры с точки зрения лучевой нагрузки. По некоторым исследованиям, неверная центрация может привести к увеличению диагностической дозы до 20% [14, 15]. Подобный анализ соблюдения центрации в ПО МД чаще всего проводится для КТ-исследований и в интервенционной радиологии.

ПО МД позволяет рассчитать смещение пациента относительно нулевого положения и оценить качество центрации. Отклонение фиксируется по двум осям (X и Y) на ортогональных снимках (рис. 13). Правильная центрация является одним из критериев оценки качества работы рентгенолаборантов.

Пиковая доза на кожу

В случае выбора интервенционной процедуры (рентгеноскопия или ангиография) в ПО МД фиксируются основные дозиметрические параметры: DAP, время рентгеноскопии, доза в референсной точке.

В большинстве систем оценить дозовую нагрузку на пациента возможно с помощью:

- пространственного представления пиковой дозы на кожу на поверхности тела пациента (рис. 14);
- «временной линии», описывающей характеристики облучения в каждый момент времени на протяжении всей процедуры (направление облучения; пиковое напряжение, кВп; количество кадров в секунду, дозовые характеристики);
- угловой развёртки дозовой карты.

Мониторинг дозовой нагрузки с использованием вышеуказанного функционала даёт возможность выявить ошибки в методике визуализации и в некоторых случаях оптимизировать процесс (изменить направление облучения, количество кадров в секунду, применить режимы «кинопетли» и «заморозки» изображений). ПО МД позволяет также выявить пациентов, нуждающихся в наблюдении по развитию детерминированных эффектов, связанных с высокими кожными дозами.

Органные дозы

Учитывая высокие значения доз от КТ по сравнению с другими методами лучевой диагностики, расчёт органических доз в большинстве ПО МД реализован именно для этой модальности.

Расчёт органических доз пациента проводится с помощью моделирования методом Монте-Карло, при этом моделируются параметры КТ-сканера (энергетический спектр, коллимация, фильтрация, ток на трубке). Дозовая нагрузка пациента определяется с учётом параметров протокола сканирования, таких как питч, ток и напряжение на трубке, коллимация и др. Оценка органических доз проводится с помощью выбора соответствующего фантома пациента из библиотеки фантомов [16]. Фантом предлагается автоматически с учётом данных пациента, учитываются пол и возраст пациента, возможная беременность и её срок (рис. 15). В рамках блока определения органических доз всё чаще производители ПО МД предлагают расчёт дозы на плод. В алгоритме расчёта органических доз используются коэффициенты, приведённые в ICRP 103⁹.

В некоторых ПО МД реализован блок интерактивной дозиметрии, который позволяет провести симуляцию дозовых сценариев, вручную изменяя параметры протокола сканирования. Присутствует возможность сравнения доз для пациентов разного возраста, веса и пола, однако точность данного метода остаётся под вопросом. Например,

⁹ ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4). Режим доступа: <https://icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20103>. Дата обращения: 15.03.2022.

А. Iriuchijima и соавт. [17] провели сравнение органных доз от КТ, определённых методом Монте-Карло в ПО МД и измеренных в антропоморфном фантоме с помощью радиофотолюминисцентных дозиметров. Отклонение составило 13%, причём дозы в ПО МД имели меньшие значения. Таким образом, данный инструмент оценки должен использоваться, принимая во внимания имеющиеся ограничения.

В настоящее время данные методы активно совершенствуются, включая оконтуривание органов по снимкам и расчёт органных доз. Анализ органных доз необходим для правильной оценки атрибутивных радиационных рисков.

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ДОЗ ПАЦИЕНТОВ

В настоящее время ПО МД активно используется и внедряется в разных странах. В ряде публикаций [10, 18, 19] обоснована необходимость внедрения подобного программного обеспечения, приведены основные технические требования к ПО МД, а также рекомендации по внедрению и использованию. Опыт использования ПО МД приведён, в частности, на сайте компании NICE (брифинг по инновациям в области медицинских технологий)¹⁰, где анализируются 10 различных исследований, проведённых в разных странах. Исследования выполнены для различных модальностей, включая КТ, рентгеноскопические процедуры, рентген, ПЭТ и ПЭТ/КТ. К основным результатам можно отнести следующее:

- основными причинами некорректно проведённых исследований послужили высокий ИМТ пациентов и неверная центрация при укладке (КТ);
- уровни доз пациентов от проведения цифровых рентгенологических исследований значительно сократились после внедрения ПО МД, также удалось добиться снижения доз от КТ;
- обнаружены сильные расхождения в уровнях доз на разных аппаратах в одном и том же медицинском учреждении; обнаружены также расхождения и между медицинскими организациями. После соответствующего расследования было выявлено, что протоколы выбирались некорректно.

С. Neilmaier и соавт. [20] описали первые результаты внедрения ПО. Приводятся основные причины выявленных превышений установленных дозовых уровней: высокий ИМТ (52%), неверная центрация (24%), повторное сканирование (11%) и др. Подчёркивается ценность данных, полученных с помощью ПО МД с точки зрения радиационной безопасности пациента. В британском исследовании [21] оценивается первый опыт использования ПО МД: сообщается об удобстве и высокой скорости работы с большим объёмом данных, а также о влиянии выбранного дозового идентификатора для фильтрации данных на качество результатов.

Большая работа в рамках описываемой тематики была проделана Американским колледжем радиологии (American College of Radiology, ACR) и состояла в организации регистра доз от диагностических процедур (Dose Index Registry, DIR). Регистр был основан в 2011 г. и предназначен для сбора и хранения информации о дозах от исследований. Информация об исследованиях, включая такие дозовые параметры, как DLP, CTDIvol и др., автоматически направляется в регистр с ПО МД из PACS или диагностических устройств, предварительно пройдя обезличивание. К регистру подключено более 2000 учреждений, и собрана информация более чем о 50 млн

¹⁰ NICE. Radiation dose monitoring software for medical imaging with ionising radiation. Medtech innovation briefing [published: 31 October 2017]. Режим доступа: www.nice.org.uk/guidance/mib127. Дата обращения: 15.03.2022.

исследований. Для возможности корректного сравнения данных, названия исследований предварительно были стандартизированы в соответствии со словарем RadLex. Каждое МО, подключённое к DIR, регулярно получает отчёт в виде графика распределения доз из всех медицинских организаций. Наличие подобного дозового регистра позволяет эффективно проводить оптимизацию доз пациентов от рентгенодиагностических исследований, выявлять случаи дозовых превышений и некорректного выбора параметров протоколов, а также повышать осведомлённость врачей-радиологов в вопросе дозовой нагрузки. Именно поэтому особенно интересно выглядят предложения внедрения ПО МД на базе PACS, объединяющего данные нескольких медицинских организаций в рамках одной службы лучевой диагностики, например Департамента здравоохранения Москвы. Современное ПО МД обладает широким спектром возможностей для автоматизированного сбора, хранения и контроля данных по дозовым нагрузкам пациентов в отделениях лучевой диагностики.

Мониторинг дозы пациента с помощью ПО МД позволяет зафиксировать в карте пациента полученную за исследование и накопленную эффективную дозу и дозовые показатели; проводить контроль превышения дозовых показателей и эффективной дозы пациента; планировать проведение новых исследований с учётом лучевой нагрузки пациента; устанавливать и применять РДУ для оптимизации дозовой нагрузки пациента; проводить сравнение с РДУ и сигнализировать о превышении, составлять отчётность отделения лучевой диагностики по дозовой нагрузке пациента для предоставления в контролирующие органы.

Говоря о необходимости внедрения ПО МД, стоит принять во внимание опыт иностранных коллег и представленные в настоящей статье положительные результаты использования ПО. Применение ПО МД позволило выявить и устранить основные причины превышения дозовых уровней при проведении диагностических процедур, снизить уровни доз пациента для различных модальностей, оптимизировать работу персонала.

Следует отметить наличие определённых ограничений и трудностей, связанных с внедрением ПО МД. К сожалению, устаревшее диагностическое оборудование не имеет возможности передавать всю необходимую информацию о пациенте и параметрах исследования, что ограничивает использование ПО МД. Так, например, затрудняет работу отсутствие формата RDSR на КТ, отсутствие информации о дозе в DICOM рентгеновских аппаратов. Именно поэтому внедряемое ПО МД должно обладать функционалом, позволяющим анализировать параметры текущего парка диагностического оборудования с учётом возможности его расширения и обновления в рамках развития отделений лучевой диагностики для медицинских организаций. Кроме того, для полноценной работы ПО МД необходима стандартизация названий протоколов исследований и кропотливая процедура «маппинга» (от англ. data mapping — *определение соответствия данных между потенциально различными семантиками одного объекта или разных объектов*) исследований. На начальном этапе должны быть учтены также ожидаемые временные и человеческие затраты для установки и обслуживания системы.

В рамках настоящей работы были изучены основные возможности различных ПО МД, проведена оценка необходимости функционала для практической работы. Полный набор параметров ПО МД представлен в **таблице**, в которой отмечены как обязательные, по мнению авторов, так и опциональные параметры.

Таким образом, сформирован набор ключевых требований к функционалу ПО МД:

- возможность загрузки исследований следующих модальностей: КТ, интервенционная радиология, рентгенография и рентгеноскопия, маммография, ПЭТ, ПЭТ/КТ, ОФЭКТ, ОФЭКТ/КТ;
- ведение карточки пациента;

- автоматический расчёт эффективных доз;
- оценка органных доз от процедур КТ;
- вычисление параметра SSDE для КТ;
- установка и настройка РДУ;
- расчёт дозы на кожу при ангиографии;
- наличие и возможность настройки автоматических сигнальных оповещений о превышениях установленных допустимых уровней дозовой нагрузки и других параметров;
- аудит работы рентгенолаборантов;
- инструменты аналитики с расширенными фильтрами;
- автоматизированные отчёты по расписанию;
- форматы экспорта базы данных .csv или .xlsx, .xls или .pdf.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ПО МД позволяет повысить качество оказываемых медицинских услуг, обеспечить безопасность пациента и оптимизировать работу медицинской организации. Возможность сконфигурировать ПО МД в зависимости от потребностей конкретной медицинской организации, медицинского физика, врача-радиолога, рентгенолаборанта является ключевой для решения задач, поставленных в области радиологии и радиационной безопасности.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Competing interests. The authors declare no obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: М.П. Шатёнок — дизайн исследования, поиск публикаций по теме, анализ литературы, обработка полученных результатов, написание текста; С.А. Рыжов — дизайн исследования, определение основной направленности статьи, экспертная оценка списка литературы; К.В. Толкачев — дизайн исследования, экспертная оценка списка литературы; Ю.В. Дружинина, З.А. Лантух — систематизация и финальное редактирование статьи.

Благодарности. Отдельно выражаем благодарность за помощь в подготовке статьи к публикации исследователю данных отдела координации научных исследований Виноградовой Ирине Александровне и переводчику экспертной группы НИР Романову Андрею Александровичу.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. The authors declare that there is no external funding for the exploration and analysis work.

Competing interests. The authors declare no obvious and potential conflicts of interest related

to the publication of this article.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. M.P. Shatenok — search for relevant publications, literature analysis, research design development, data processing, writing; S.A. Ryzhov — determination of the main focus of the review, expert evaluation of literature review, research design development; K.V. Tolkachev — expert evaluation of literature review, research design development; Yu.V. Druzhinina, Z.A. Lantukh — systematization and final editing of the review.

Acknowledgments. Separately, we express our gratitude for the help in preparing the article for publication to the data researcher of the department for the coordination of scientific research, Irina A. Vinogradova, and to the translator of the scientific research work group, Andrey A. Romanov.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Parakh A., Kortensniemi M., Schindera S.T. CT radiation dose management: a comprehensive optimization process for improving patient safety // *Radiology*. 2016. Vol. 280, N 3. P. 663–673. doi: 10.1148/radiol.2016151173
2. Дружинина Ю.В., Рыжов С.А., Водоватов А.В., и др. Влияние COVID-19 на динамику изменений дозовой нагрузки на пациентов при проведении компьютерной томографии в медицинских организациях Москвы // *Digital Diagnostics*. 2022. Т. 3, № 1. С. 5–15. doi: 10.17816/DD87628
3. Морозов С.П., Солдатов И.В., Лантух З.А., и др. Характеристика дозовой нагрузки на пациентов в медицинских организациях Москвы [Интернет]. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42395967>. Дата обращения: 15.03.2022.
4. Rehani M.M., Yang K., Melick E.R., et al. Patients undergoing recurrent CT scans: assessing the magnitude // *Eur Radiol*. 2020. Vol. 30, N 4. P. 1828–1836. doi: 10.1007/s00330-019-06523-y
5. Brenner D.J., Hall E.J. Computed tomography an increasing source of radiation exposure // *N Engl J Med*. 2007. Vol. 357, N 22. P. 2277–2284. doi: 10.1056/NEJMra072149
6. Пасов В.В., Коротков В.А. Хирургическое лечение ранней лучевой язвы, сформировавшейся после эндоваскулярного вмешательства // *Радиация и риск*. 2020. Т. 29, № 4. С. 158–163. doi: 10.21870/0131-3878-2020-29-4-158-163
7. Иванов В.А., Белякин С.А., Пермяков С.В., и др. Местное лучевое поражение кожи и грудных позвонков после эндоваскулярной ангиопластики коронарных артерий // *Диагностическая и интервенционная радиология*. 2010. Т. 4, № 3. С. 73–76.
8. Рыжов С.А. Радиационные аварии и ошибки в медицине. Термины и определения // *Медицинская физика*. 2019. Т. 81, № 1. С. 73–90.
9. European Commission. Council Directive 2013/59/EURATOM of December 5, 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation, and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom and 2003/122/Euratom // *OJ of the EU*. 2014. L13, N 57. P. 1–80. Режим доступа: <http://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2013/59/oj>. Дата обращения: 15.03.2022.
10. Loose R.W., Vano E., Mildemberger P., et al. Radiation dose management systems — requirements and recommendations for users from the ESR EuroSafe Imaging initiative // *Eur Radiol*. 2021. Vol. 31. P. 2106–2114. doi: 10.1007/s00330-020-07290-x
11. Лантух З.А., Дружинина Ю.В., Водоватов А.В., и др. Применение референтных диагностических уровней для взрослых пациентов в лучевой диагностике / под ред. С.П. Морозова. Вып. 86. Москва: НПКЦ ДиТ ДЗМ, 2020. 36 с. (Серия: Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики).

12. Vañó E., Miller D.L., Martin C.J., et al. ICRP Publication 135: diagnostic reference levels in medical imaging // *Ann ICRP*. 2017. Vol. 46, N 1. P. 1–144. doi: 10.1177/0146645317717209
13. Anonymous, Size-specific Dose Estimates (SSDE) in Pediatric and Adult Body CT examinations // American Association of Physicists in Medicine, TG-204. MD: AAPM, 2011.
14. Habibzadeh M.A., Ay M.R., Asl A.R., et al. Impact of miscentering on patient dose and image noise in x-ray CT imaging: phantom and clinical studies // *Phys Med*. 2012. Vol. 28, N 3. P. 191–199. doi: 10.1016/j.ejmp.2011.06.002
15. Barreto I., Lamoureux R., Olguin C., et al. Impact of patient centering in CT on organ dose and the effect of using a positioning compensation system: Evidence from OSLD measurements in postmortem subjects // *J Appl Clin Med Phys*. 2019. Vol. 20, N 6. P. 141–151. doi: 10.1002/acm2.12594
16. Xu X.G. An exponential growth of computational phantom research in radiation protection, imaging, and radiotherapy: a review of the fifty-year history // *Phys Med Biol*. 2014. Vol. 59, N 18. P. R233–R302. doi: 10.1088/0031-9155/59/18/R233
17. Iriuchijima A., Fukushima Y., Ogura A. Comparison of organ dose calculation using monte carlo simulation and in-phantom dosimetry in CT examination // *Nihon Hoshasen Gijutsu Gakkai Zasshi*. 2018. Vol. 74, N 2. P. 166–171. doi: 10.6009/jjrt.2018_JSRT_74.2.166
18. Fitousi N. Patient dose monitoring systems: a new way of managing patient dose and quality in the radiology department // *Phys Med*. 2017. Vol. 44. P. 212–221. doi: 10.1016/j.ejmp.2017.06.013
19. Tsalafoutas I.A., Hassan Kharita M., Al-Naemi H., Kalra M.K. Radiation dose monitoring in computed tomography: status, options and limitations // *Phys Med*. 2020. Vol. 79. P. 1–15. doi: 10.1016/j.ejmp.2020.08.020
20. Heilmaier C., Zuber N., Bruijns B., et al. Implementation of dose monitoring software in the clinical routine: first experiences // *Rofo*. 2016. Vol. 188, N 1. P. 82–88. doi: 10.1055/s-0041-106071
21. Nicol R.M., Wayte S.C., Bridges A.J., Koller C.J. Experiences of using a commercial dose management system (GE DoseWatch) for CT examinations // *Br J Radiol*. 2016. Vol. 89, N 1057. P. 20150617. doi: 10.1259/bjr.20150617

REFERENCES

1. Parakh A., Kortensniemi M., Schindera ST. CT radiation dose management: a comprehensive optimization process for improving patient safety. *Radiology*. 2016;280(3):663–673. doi: 10.1148/radiol.2016151173
2. Druzhinina YV, Ryzhov SA, Vodovatov AV, et al. COVID-19: changes in CT radiation burden across Moscow medical facilities. *Digital Diagnostics*. 2022;3(1):5–15. (In Russ). doi: 10.17816/DD87628
3. Morozov SP, Soldatov IV, Lantukh ZA, et al. Characteristics of the dose load on patients in medical organizations in Moscow [Internet]. (In Russ). Available from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42395967>. Accessed: 15.03.2022.
4. Rehani MM, Yang K, Melick ER, et al. Patients undergoing recurrent CT scans: assessing the magnitude. *Eur Radiol*. 2020;30(4):1828–1836. doi: 10.1007/s00330-019-06523-y
5. Brenner DJ, Hall EJ. Computed tomography an increasing source of radiation exposure. *N Engl J Med*. 2007;357(22):2277–2284. doi: 10.1056/NEJMra072149
6. Pasov VV, Korotkov VA. Surgical treatment of early radiation ulcer formed after endovascular intervention. *Radiation Risk*. 2020;29(4):158–163. (In Russ). doi: 10.21870/0131-3878-2020-29-4-158-163

7. Ivanov VA, Belyakin SA, Permyakov SV, et al. Local radiation damage to the skin and thoracic vertebrae after endovascular angioplasty of the coronary arteries. *Diagnostic Int Radiol.* 2010;29(4):73–76. (In Russ).
8. Ryzhov SA. Radiation accidents and errors in medicine. Terms and definitions. *Med Physics.* 2019;81(1):73–90. (In Russ).
9. European Commission. Council Directive 2013/59/EURATOM of December 5, 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation, and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom and 2003/122/Euratom. *OJ of the EU.* 2014;13(57):1–80. Available from: <http://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2013/59/oj>. Accessed: 15.03.2022.
10. Loose RW, Vano E, Mildenerger P, et al. Radiation dose management systems-requirements and recommendations for users from the ESR EuroSafe Imaging initiative. *Eur Radiol.* 2021;31(4):2106–2114. doi: 10.1007/s00330-020-07290-x
11. Lantukh ZA, Druzhinina YuV, Vodovatov AV, et al. The use of reference diagnostic levels for adult patients in radiation diagnostics. Ed. by S.P. Morozov. Vol. 86. Moscow: Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies; 2020. 36 p. (Series: Best practices of radiation and Instrumental diagnostics) (In Russ).
12. Vañó E, Miller DL, Martin CJ, et al. ICRP Publication 135: diagnostic reference levels in medical imaging. *Ann ICRP.* 2017;46(1):1–144. doi: 10.1177/0146645317717209
13. Anonymous, Size-specific Dose Estimates (SSDE) in Pediatric and Adult Body CT examinations. In: American Association of Physicists in Medicine, TG-204. MD: AAPM; 2011.
14. Habibzadeh MA, Ay MR, Asl AR, et al. Impact of miscentering on patient dose and image noise in x-ray CT imaging: phantom and clinical studies. *Phys Med.* 2012;28(3):191–199. doi: 10.1016/j.ejmp.2011.06.002
15. Barreto I, Lamoureux R, Olguin C, et al. Impact of patient centering in CT on organ dose and the effect of using a positioning compensation system: Evidence from OSLD measurements in postmortem subjects. *J Appl Clin Med Phys.* 2019;20(6):141–151. doi: 10.1002/acm2.12594
16. Xu XG. An exponential growth of computational phantom research in radiation protection, imaging, and radiotherapy: a review of the fifty-year history. *Phys Med Biol.* 2014;59(18):R233–R302. doi: 10.1088/0031-9155/59/18/R233
17. Iriuchijima A, Fukushima Y, Ogura A. Comparison of organ dose calculation using monte carlo simulation and in-phantom dosimetry in CT examination. *Nihon Hoshasen Gijutsu Gakkai Zasshi.* 2018;74(2):166–171. doi: 10.6009/jjrt.2018_JSRT_74.2.166
18. Fitousi N. Patient dose monitoring systems: a new way of managing patient dose and quality in the radiology department. *Phys Med.* 2017;44:212–221. doi: 10.1016/j.ejmp.2017.06.013
19. Tsalafoutas IA, Hassan Kharita M, Al-Naemi H, Kalra MK. Radiation dose monitoring in computed tomography: status, options and limitations. *Phys Med.* 2020;79:1–15. doi: 10.1016/j.ejmp.2020.08.020
20. Heilmair C, Zuber N, Bruijns B, et al. Implementation of dose monitoring software in the clinical routine: first experiences. *Rofo.* 2016;188(1):82–88. doi: 10.1055/s-0041-106071
21. Nicol RM, Wayte SC, Bridges AJ, Koller CJ. Experiences of using a commercial dose management system (GE DoseWatch) for CT examinations. *Br J Radiol.* 2016;89(1057):20150617. doi: 10.1259/bjr.20150617

ОБ АВТОРАХ	AUTHORS' INFO
* Шатёнок Мария Петровна; адрес: Россия, 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9217-	* Maria P. Shatenok; address: Petrovka st. 24/1, Moscow, 127051, Russia; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9217-

7011; eLibrary SPIN: 5165-7113; e-mail: m.shatenok@npcmr.ru	7011; eLibrary SPIN: 5165-7113; e-mail: m.shatenok@npcmr.ru
Рыжов Сергей Анатольевич; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0640-7368 ; eLibrary SPIN: 6595-4011; e-mail: s.ryzhov@npcmr.ru	Sergey A. Ryzhov; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0640-7368 ; eLibrary SPIN: 6595-4011; e-mail: s.ryzhov@npcmr.ru
Лантух Зоя Александровна; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6623-9610 ; eLibrary SPIN: 5486-6496; e-mail: z.lantukh@npcmr.ru	Zoya A. Lantukh; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6623-9610 ; eLibrary SPIN: 5486-6496; e-mail: z.lantukh@npcmr.ru
Дружинина Юлия Владимировна; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3230-3722 ; eLibrary SPIN: 1973-2848; e-mail: yu.druzhinina@npcmr.ru	Yuliya V. Druzhinina; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3230-3722 ; eLibrary SPIN: 1973-2848; e-mail: yu.druzhinina@npcmr.ru
Толкачев Кирилл Владимирович; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8871-8700 ; eLibrary SPIN: 3196-7497; e-mail: k.tolkachev@npcmr.ru	Kirill V. Tolkachev; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8871-8700 ; eLibrary SPIN: 3196-7497; e-mail: k.tolkachev@npcmr.ru
* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author	

ARTICLE IN PRESS

Таблица. Основные возможности программного обеспечения для мониторинга доз пациентов

№ п/п	Параметр		Наличие
1	Доступные модальности	Компьютерная томография (КТ), позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ), ПЭТ/КТ, однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ), ОФЭКТ/КТ, маммография, рентгенография/рентгеноскопия, ангиография	Обязательно
		Ультразвуковое исследование, магнитно-резонансная томография, денситометрия, контраст	Опционально
2	Вендор-нейтральная совместимость		Обязательно
3	Автоматическое отслеживание дозы пациента		Обязательно
4	Считывание информации о дозе. Доступные форматы	RDSR, OCR	Обязательно
		MPPS, заголовки DICOM	Опционально
5	Карточка пациента		Обязательно
6	Анонимизатор встроенный		Опционально
7	Наличие топограмм в реестре исследований		Обязательно
8	Наличие анализа топограмм в части обоснования дозы		Обязательно
9	Расчёт эффективной дозы за исследование		Обязательно
10	Расчёт суммарной эффективной дозы пациента		Обязательно
11	Наличие модуля статистики по эффективной дозе		Опционально
12	Возможность настройки коэффициентов для расчёта эффективной дозы		Обязательно
13	Вычисление SSDE для КТ-процедур (AAPM TG 204)		Обязательно
14	Органные дозы		Обязательно
15	Расчёт дозы на кожу (peak skin dose)		Обязательно
16	Представление данных о дозе при ангиографии в виде временной линии		Опционально
17	Модуль интерактивной симуляции дозы		Опционально
18	Полностью настраиваемый модуль для локальных референтных уровней и государственных референтных уровней		Обязательно
19	Возможность настройки Dashboard		Опционально
20	Настройка автоматических уведомлений по электронной почте		Опционально
21	Инструменты сравнения исследований и дозовых нагрузок пациента	по оборудованию	Обязательно
		по медицинским организациям	Обязательно
		по группам аппаратов	Опционально
		по группам медицинских организаций	Обязательно
		по локализации	Опционально
		по области исследования	Обязательно
22	Инструмент аудита работы рентгенолаборантов	по числу и длительности исследований	Обязательно
		по качеству проведения исследования	Обязательно
		по дозовой нагрузке пациентов	Обязательно
23	Информация о выполненных исследованиях с возможностью фильтрации по модальности, расположению, устройству		Обязательно
24	Настраиваемые автоматизированные отчёты с необходимой периодичностью		Обязательно
25	Экспорт базы данных в Microsoft Excel (формат csv)		Обязательно
26	Отчёт о дозовой нагрузке пациента		Обязательно
27	Автоматизированное получение исследования из PACS		Обязательно

28	Управление функционалом пользователя и правами доступа к данным	Обязательно
29	Интеграция LDAP в корпоративный пользовательский каталог для аутентификации пользователя	Опционально
30	Создание Dose SR на основе анализа заголовков изображений (OCR)	Обязательно
31	Исходящий интерфейс HL7 для обмена информацией о дозе с другими информационными системами	Обязательно

ARTICLE IN PRESS

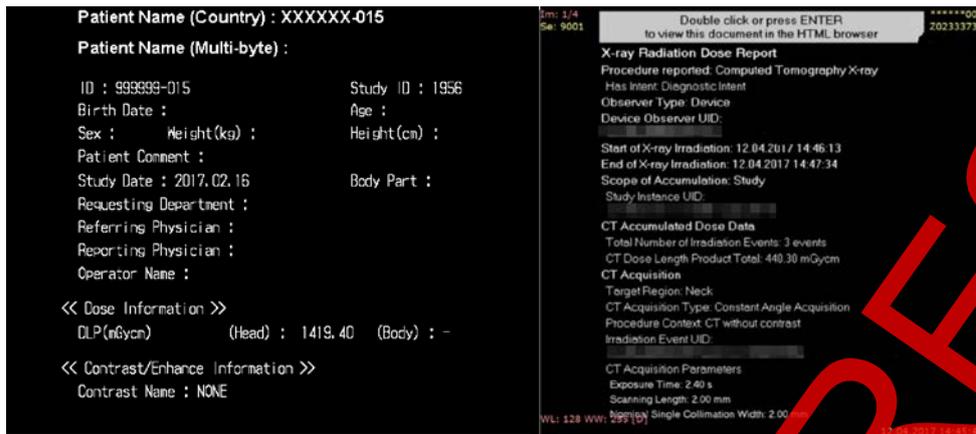


Рис. 1. Пример Dose Report и RDSR.

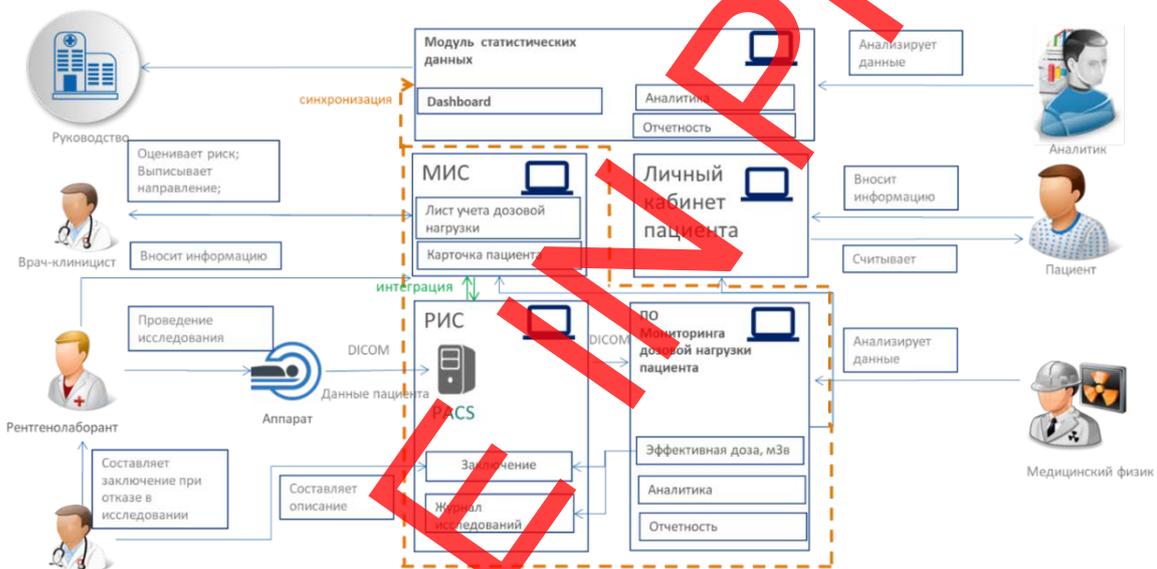
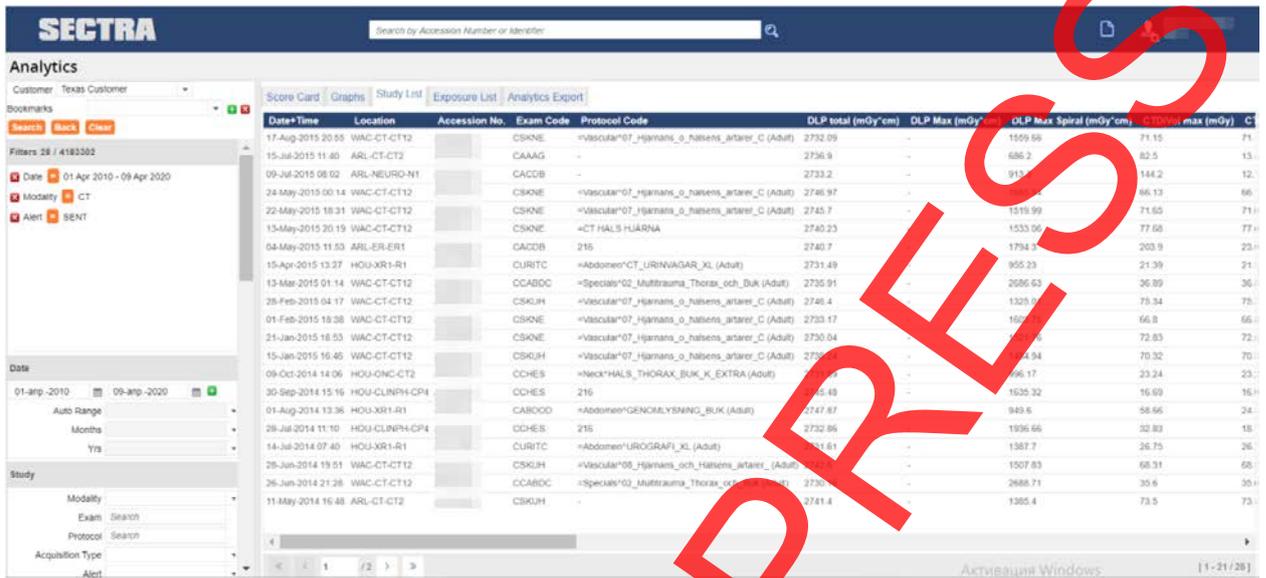


Рис. 2. Пример типового подключения программного обеспечения для мониторинга доз пациентов.

Примечание. МИС — медицинская информационная система; РИС — радиологическая информационная система.



The screenshot displays the SECTRA software interface. At the top, there is a search bar and navigation tabs for 'Score Card', 'Graphs', 'Study List', 'Exposure List', and 'Analytics Export'. The main area is a table with the following columns: Date+Time, Location, Accession No., Exam Code, Protocol Code, DLP total (mGy*cm), DLP Max (mGy*cm), DLP Max Spiral (mGy*cm), and CTDIvol max (mGy). The table contains multiple rows of data, including patient information and dose metrics. On the left side, there are filters for 'Date' (01 Apr 2010 - 09 Apr 2020) and 'Study' (Modality: CT, Alert: SENT).

Date+Time	Location	Accession No.	Exam Code	Protocol Code	DLP total (mGy*cm)	DLP Max (mGy*cm)	DLP Max Spiral (mGy*cm)	CTDIvol max (mGy)	C
17-Aug-2015 20:05	WAC-CT-CT12		CSKNE	=Vascular*07_Hipmans_o_halsens_artaser_C (Adult)	2732.09	--	1559.66	71.15	71
15-Jul-2015 11:40	ARL-CT-CT2		CAAAG	--	2736.9	--	686.2	82.5	13
09-Jul-2015 08:02	ARL-NEURO-N1		CACDB	--	2733.2	--	913	144.2	12
24-May-2015 00:14	WAC-CT-CT12		CSKNE	=Vascular*07_Hipmans_o_halsens_artaser_C (Adult)	2746.97	--	1561.2	66.13	66
22-May-2015 18:31	WAC-CT-CT12		CSKNE	=Vascular*07_Hipmans_o_halsens_artaser_C (Adult)	2745.7	--	1515.99	71.65	71
13-May-2015 20:19	WAC-CT-CT12		CSKNE	=CT HALS HUARNA	2740.23	--	1533.06	77.68	77
04-May-2015 11:53	ARL-ER-ER1		CACDB	215	2740.7	--	1794.3	203.9	23
15-Apr-2015 13:27	HOU-XR1-R1		CURITC	=Abdomen*CT_URINVAGAR_XL (Adult)	2731.49	--	955.23	21.39	21
13-Mar-2015 01:14	WAC-CT-CT12		CCABDC	=Specials*02_Multitrauma_Thorax_sch_Buk (Adult)	2735.91	--	2086.63	36.09	36
28-Feb-2015 04:17	WAC-CT-CT12		CSKJH	=Vascular*07_Hipmans_o_halsens_artaser_C (Adult)	2746.4	--	1329.0	75.34	75
01-Feb-2015 18:38	WAC-CT-CT12		CSKNE	=Vascular*07_Hipmans_o_halsens_artaser_C (Adult)	2733.17	--	1607.3	66.8	66
21-Jan-2015 18:53	WAC-CT-CT12		CSKNE	=Vascular*07_Hipmans_o_halsens_artaser_C (Adult)	2730.04	--	1514.54	72.83	72
15-Jan-2015 16:40	WAC-CT-CT12		CSKJH	=Vascular*07_Hipmans_o_halsens_artaser_C (Adult)	2730.2	--	1514.54	70.32	70
09-Oct-2014 14:06	HOU-CNC-CT2		CDHES	=Spec*HALS_THORAX_BUK_K_EXTRA (Adult)	2742.4	--	996.17	23.24	23
30-Sep-2014 15:16	HOU-CLINPH-CP4		CDHES	215	2745.48	--	1635.32	16.09	16
01-Aug-2014 13:36	HOU-XR1-R1		CABOOD	=Abdomen*GENCMLYSNING_BUK (Adult)	2747.87	--	949.6	58.66	24
29-Jul-2014 11:10	HOU-CLINPH-CP4		CDHES	215	2732.85	--	1936.66	32.83	18
14-Jul-2014 07:40	HOU-XR1-R1		CURITC	=Abdomen*UROGRAF1_XL (Adult)	2741.81	--	1387.7	26.75	26
26-Jun-2014 19:51	WAC-CT-CT12		CSKJH	=Vascular*08_Hipmans_sch_Halsens_artaser_C (Adult)	2740.2	--	1507.83	68.31	68
26-Jun-2014 21:28	WAC-CT-CT12		CCABDC	=Specials*03_Multitrauma_Thorax_sch_Buk (Adult)	2730.2	--	2688.71	35.6	35
11-May-2014 16:48	ARL-CT-CT2		CSKJH	--	2741.4	--	1305.4	73.5	73

Рис. 3. Табличный вид представления данных, DoseTrack, Sectra.

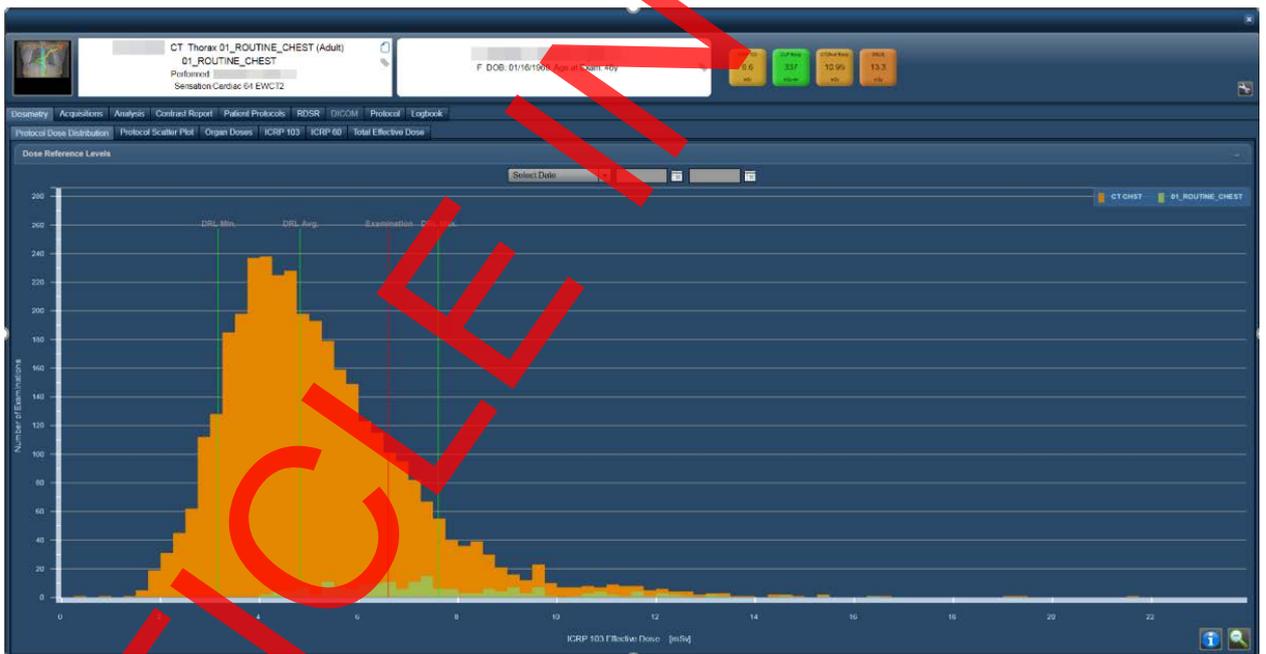


Рис. 4. Диаграмма референтных диагностических уровней программного обеспечения для мониторинга доз пациентов, Radimetrics, Bayer.



Рис. 5. Статистический анализ распределений доз по параметру DLP, Teamplay, Siemens Healthineers.

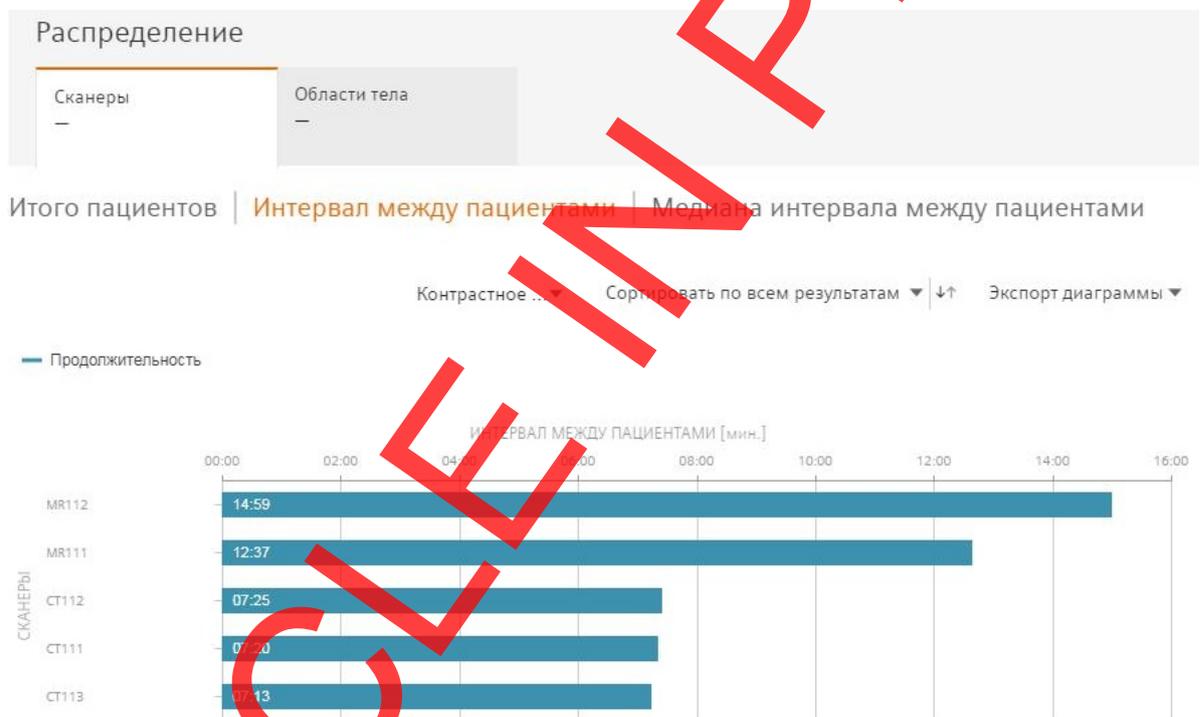


Рис. 6. Гистограмма для параметра «Интервал между пациентами в минутах», Teamplay, Siemens Healthineers.

Notifications - Patients

Category	Patient	Dose (level)	Priority	Exam Date/Time	Notification Date/Time
Exceeding exam dose alert level		DLP: 824.1 mGy-cm (alert level: 750 mGy-cm)	High	22/05/2017 07:30	22/05/2017 11:04
Exceeding exam dose alert level		DLP: 1215.4 mGy-cm (alert level: 750 mGy-cm)	High	22/05/2017 06:13	22/05/2017 04:18
Exceeding exam dose alert level		DLP: 1705.1 mGy-cm (alert level: 750 mGy-cm)	High	21/05/2017 22:12	22/05/2017 02:26
Exceeding exam dose alert level		DLP: 1519.4 mGy-cm (alert level: 750 mGy-cm)	High	21/05/2017 16:30	21/05/2017 20:27
Exceeding exam dose alert level		DLP: 903.4 mGy-cm (alert level: 750 mGy-cm)	High	21/05/2017 15:42	21/05/2017 19:45

Notification sent to

EA3AE8 094742 Radiologist, Medical Physicist	Notification date: 22/05/2017 Archived on:
C71DEF F2EBBA Radiologist, Medical Physicist	Notification date: 22/05/2017 Archived on:

Рис. 7. Формирование сигнальных оповещений по уровням значений DLP, DoseWise Portal, Philips.

Alerts

Type	Status	Deviation Category	Date/Time	Patient	Examination	Dose	Description	Comments
			04/28/2020 4:57 PM		Protocol [CT CHEST COVID19] has been revised to revision 2 by SERGIO (SERGIO DEMO). Note: se añade contraste oral.			
			04/28/2020 4:52 PM		Protocol [CT CHEST COVID19] revision [1] has become active.			
			04/03/2020 1:15 AM		Protocol [XA ABDOMEN ARTERIOGRAPHY AORTA] revision [7] requires review.			
	Z - Under Review		03/02/2020 4:41 PM			ICRP 103: 4 mSv, Admisis: 100 mSv	Patient dose reference level exceeded: Fluid Injected (Total). Max value=150 [mL], Actual value=229.6 [mL]. Cumulative window=24 Hour -- 05/02/2016 08:00 - 05/03/2016 08:00.	Thu Apr 2 2020 02:55:22 PM - NACHO DEMO. OK.
			07/2019 3:43 PM		UROGRAM	ICRP 103: 53.42 mSv, DLP Body: 3869 mGy-cm, CT DI: 27.44 mGy, SSDE: 25.27 mGy	Patient dose reference level exceeded: Fluid Injected (Total). Max value=150 [mL], Actual value=211 [mL]. Cumulative window=24 Hour -- 07/23/2015 20 - 07/24/2015 09:20.	Thu Apr 2 2020 02:22:01 PM - RICCARDO DEMO. Per favor Nacho, revisa este estudio
			08/27/2019 2:03 PM			ICRP 103: DRL - Min: 10.17 Avg: 15.71 Max: 24.51	Protocol [XA ABDOMEN ARTERIOGRAPHY AORTA] has been revised to revision 8 by support (Bayer Support).	
							Protocol [CT CHST ABD PELVIS W	

Рис. 8. Цветовая индикация параметров компьютерно-томографического исследования, Radimetrics, Bayer.

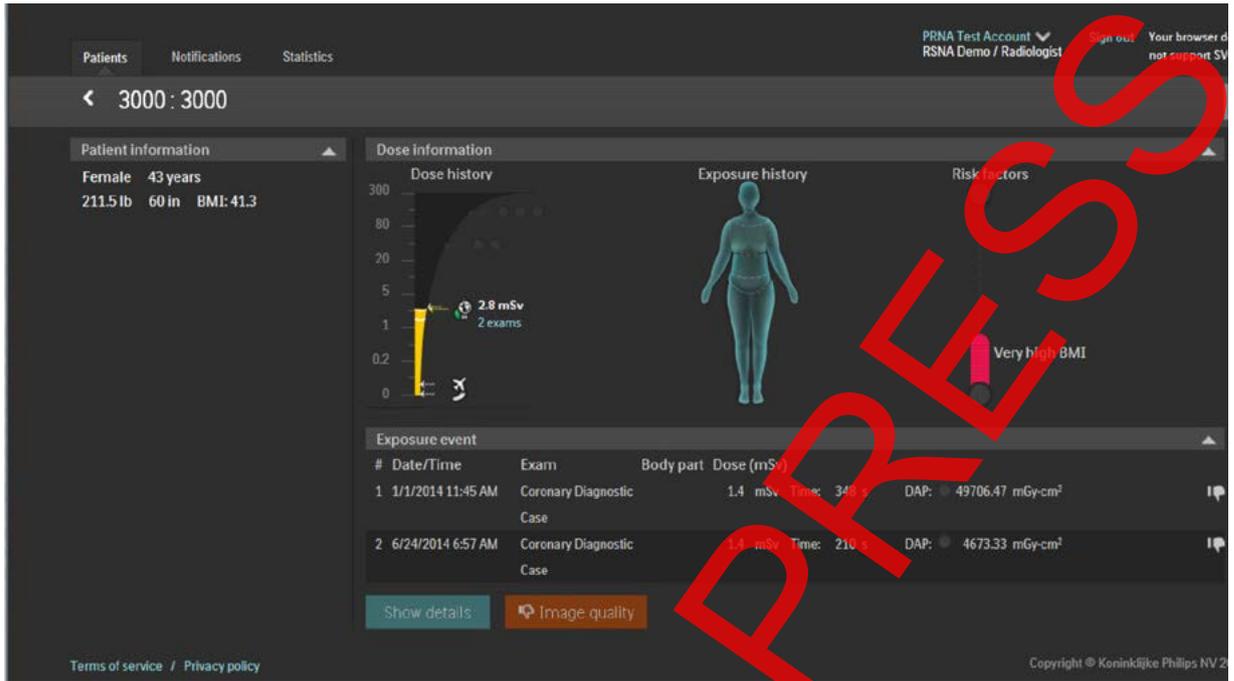


Рис. 9. Дозовая история пациента, DoseWise Portal, Philips.

Local Dose Reference Levels

Minimum Studies:	200	⬆️⬇️⬆️
Maximum Study age (days):	30	⬆️⬇️⬆️
Dose Type		
CONVENTIONAL	<input type="checkbox"/>	
MAMMOGRAPHY	<input type="checkbox"/>	
CT	<input checked="" type="checkbox"/>	
FLUOROSCOPY	<input checked="" type="checkbox"/>	
DRL Percentile:	75	⬆️⬇️⬆️
Habitus:	A,B,C	

Calculate DRLs **Email Active DRLs**

Рис. 10. Установка локальных референтных диагностических уровней, DoseTrack, Sectra.

Device	DLP Range (mGy.cm)	0	1000	2000	3000	4000	5000	6000	> 7000	Total
		- 1000	- 2000	- 3000	- 4000	- 5000	- 6000	- 7000		
Aquilion (Aquilion 64 (106	84	16	12	1	1	-	-	220
Aquilion (Aquilion 64 GP		103	95	28	12	3	8	4	6	259
Aquilion (DKC		93	40	14	2	8	1	1	-	159
Aquilion (GP		84	42	2	4	7	3	2	1	145
Aquilion (GP		192	140	22	13	20	10	5	8	410
Aquilion (GP		46	61	24	11	13	3	2	1	161
Aquilion (GP		70	37	17	10	6	2	1	3	146
Aquilion (GP		83	63	13	12	4	5	-	-	180
Aquilion (GP		33	33	7	-	-	-	-	-	73
Aquilion (GP		227	55	13	7	3	2	1	1	314
Aquilion (GP		91	46	14	11	6	-	-	-	168
Aquilion (GP		42	49	7	3	1	3	1	3	109
Aquilion (GP		53	61	11	8	10	2	4	3	152
LightSpeed VCT (GB		228	75	29	3	-	-	-	-	339
SOMATOM Sensation 40 (KDC		665	54	-	-	-	-	-	-	719
Total		2116 (59.54 %)	935 (26.31 %)	217 (6.11 %)	111 (3.12 %)	87 (2.45 %)	41 (1.15 %)	21 (0.59 %)	26 (0.73 %)	3554 (100.00 %)

Рис. 11. Количество исследований, распределённое по диапазонам значений DLP и по модели компьютерно-томографических сканеров, общее количество исследований на каждом сканере, DoseWatch, GE.

Patient ID	Accession Number	Patient's Age	Study Date	Study Description	Total Study DLP (mGy.cm)
RLPD41B00	RLADD01	41	2019-07-11	Компьютерная томография грудной полости и	10494.10
	AGFA0	77	2019-07-16	Компьютерная томография грудной полости и	9772.40
RLPD41B0	RLADD01	50	2019-07-11	Компьютерная томография органов брюшной	9680.00
RLPD41B0	RLADD01	78	2019-07-10	Компьютерная томография органов брюшной	9171.80
RLPD41B0	RLADD01	60	2019-07-02	Компьютерная томография органов брюшной	8816.70
RLP0F43	RLADD01	51	2019-07-11	Компьютерная томография органов брюшной	8622.10
RLP0F430	RLADD01	57	2019-07-18	Компьютерная томография органов брюшной	8440.10
RLP0F430	RLADD01	83	2019-07-03	Компьютерная томография органов брюшной	8411.40
RLP0F43	RLADD01	61	2019-07-25	Компьютерная томография органов брюшной	8293.60
RLP0F43	RLADD01	73	2019-07-25	Компьютерная томография органов брюшной	7907.50

Рис. 12. Пример таблицы с десятью исследованиями с максимальной дозой, DoseWatch, GE.

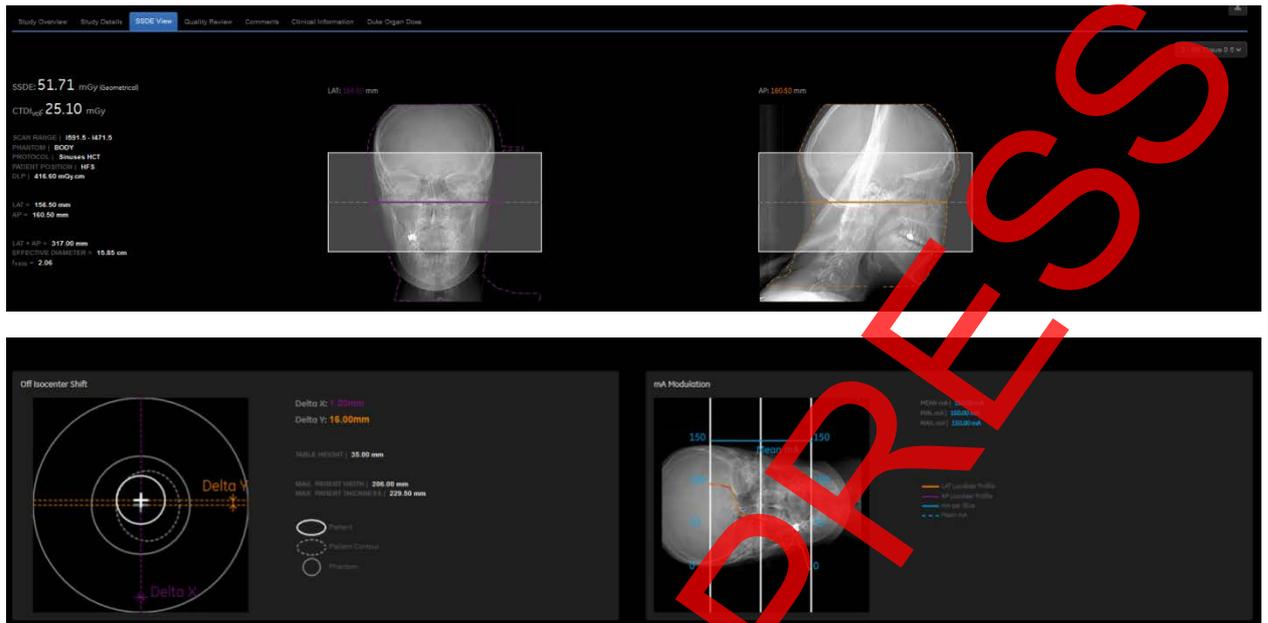


Рис. 13. Оценка центрации пациента при компьютерной томографии, DoseWatch, GE.

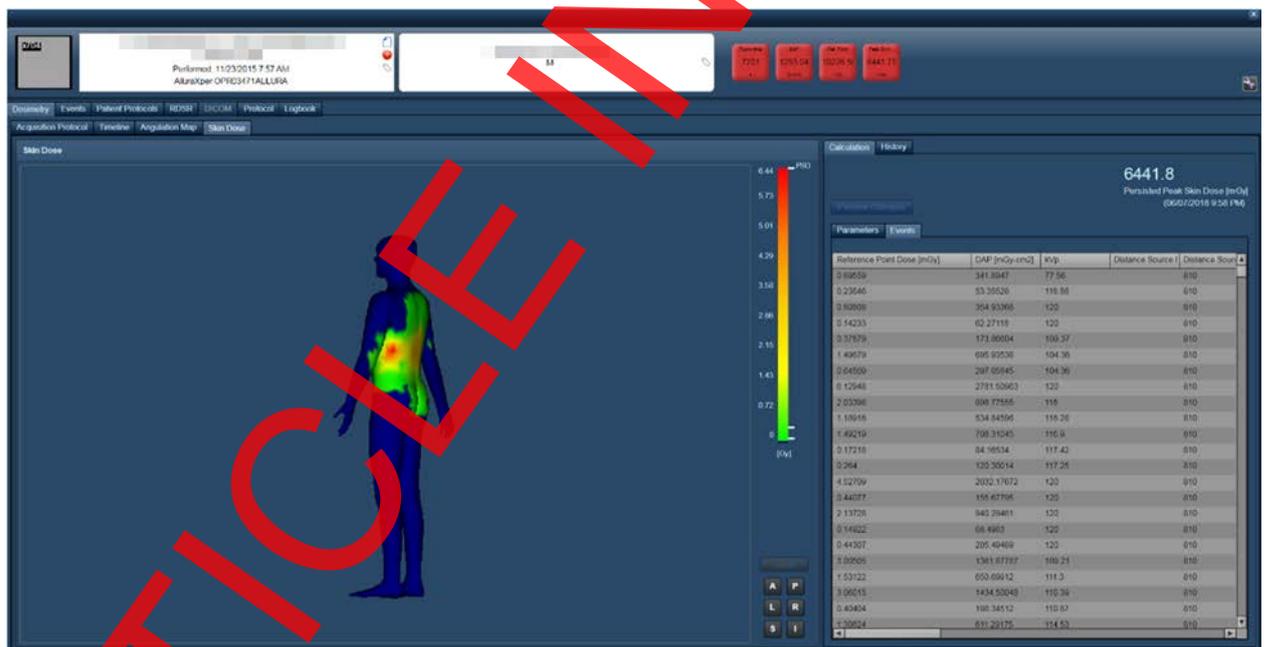


Рис. 14. Мониторинг и оптимизация пиковой дозы на кожу при интервенционных процедурах, Radimetrics, Bayer.

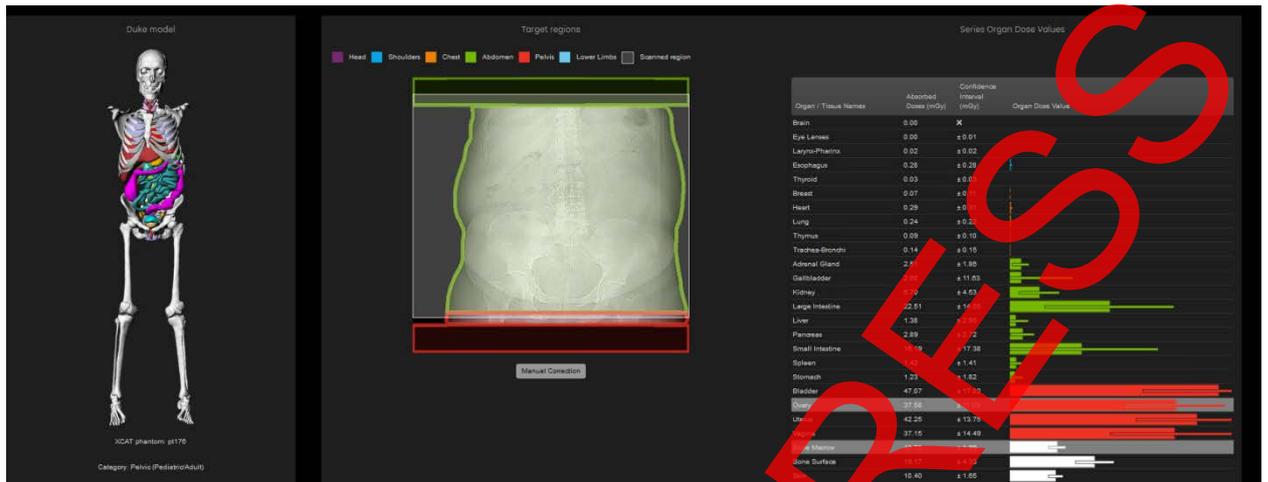


Рис. 15. Анализ эффективных органных доз пациента, DoseWatch, GE.