

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD106083>

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. Толкачев¹¹ Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Москва, Российская Федерация² Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева, Москва, Российская Федерация³ 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. 212–230. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD106083>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD106083>

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, and the use of nuclear medicine) results in an increase in radiation exposure and, consequently, an increase in collective and individual doses of radiation to patients.

Diagnostic studies from the international professional community are extensively focusing on issues such as management and dose optimization. Worldwide practice can resolve these issues using software for monitoring patient doses to automatically collect, analyze, and account for patient doses in various types of diagnostic studies. The software allows to obtain data on the doses of patients from X-ray procedures and detailed information about studies, track the total accumulated dose of the patient, and maintain statistics on the device, X-ray laboratory, and the medical organization. It also helps analyze the collected dosimetric data, deduce the causal relationship between dose indications and diagnostic procedure conditions, and monitor the effectiveness of the equipment.

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

Modern DMS have a wide range of possibilities for automated collection, storage, and management of patient radiation exposure data in radiology departments. DMS increase the quality of healthcare services, provide patient safety, and optimize the workflow of medical organizations.

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(3):212–230.

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD106083>

Received: 12.04.2022

Accepted: 25.07.2022

Published: 24.08.2022

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD106083>

在放射诊断中监测患者剂量负荷的软件的功能

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

简评

使用电离辐射的诊断程序（计算机断层扫描、介入程序、核医学的应用等）数量的增加导致辐射负载的增加，从而导致患者集体和个人辐射剂量的增加。

诊断测试的管理和剂量优化问题在国际专业界受到了广泛关注。全球实践借助用于监测患者剂量的软件解决了这一问题，以便在进行各种类型的诊断研究时自动收集、分析和计算患者剂量。该软件允许从X射线放射程序中获取患者剂量数据和有关研究的详细信息，跟踪患者的总累积剂量，进行设备、放射技师、医疗机构的统计数据，并分析收集的剂量数据，得出剂量读数和检查条件的因果关系，确保设备的效率得到监测。

本文调查了全球可用的患者剂量监测软件的基本能力。确定了实际工作所需软件功能的关键技术要求。

现代剂量监测软件具有广泛的功能，可自动收集、存储和控制放射科患者剂量负荷数据。患者剂量监测软件有助于提高所提供的医疗服务质量，确保患者安全，并优化医疗机构的工作。

关键词： 剂量负担监测； 放射诊断； 软件。

To cite this article

Shatenok MP, Ryzhov SA, Lantukh ZA, Druzhinina YuV, Tolkachev KV. 在放射诊断中监测患者剂量负荷的软件的功能. *Digital Diagnostics*. 2022;3(3):212–230. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD106083>

收到: 12.04.2022

接受: 25.07.2022

发布日期: 24.08.2022

缩写词清单

CT——计算机断层摄影
 MD 软件——患者剂量监测软件
 RDU——参考诊断水平
 AGD (Average Glandular Dose) ——乳腺的平均剂量
 CTDIvol (Volume CT Dose Index) ——CT检查期间体模中吸收的辐射剂量

DAP (Dose Area Product) ——按面积计算的剂量乘积
 DLP (Dose Length Product) ——剂量和长度的乘积；所有 CT 检查的吸收剂量，考虑到扫描区域的长度
 SSDE (Size-Specific Dose Estimate) ——患者的剂量负荷，考虑到其几何尺寸

绪论

在过去的几十年里，世界上使用电离辐射的诊断程序数量有所增加，这主要与高剂量研究数量的增加有关，例如计算机断层扫描（CT）、介入程序和使用核医学[1]。这导致这些方法在辐射负荷结构中所占比例增加，从而导致患者的集体和个人剂量增加。

应当指出，俄罗斯联邦的趋势大体上与世界一致。莫斯科，根据表格第3-DOZ表¹，2017年集体剂量增加到10,946人-西弗，2020年增加到16,662人-西弗。这与CT检查份额的增长直接相关——从2017年5.5%到2020年的13.1%。根据第3-DOZ表报告表，2020年CT研究对集体剂量的具体贡献达到75.9%[2, 3]。这种趋势很可能在未来几年继续下去。

科学界特别关注的是对同一患者进行不合理的多次研究，以及剂量超过100毫希的一次性研究[4]。一些研究人员认为，只做两三次CT手术，尤其是在儿童身上，可能会显著增加患恶性肿瘤的风险[5]。

这种背景下，根据W. Bogdanich在The New York Times上发表的一系列文章²，美国脑灌注CT错误导致可见皮肤损伤的案例应受到密切关注，其调查和原因确定应在专业界得到最广泛的宣传。西方国家，此类案例有力地推动了辐射安全领域提出新要求，特别是强制使用特殊软件来计算患者辐射剂量。不幸的是，在俄罗斯确定性效应的发生并没有广泛的共鸣，科学俄语来源对它们的描述通常与患者手术治疗的特殊性有关[6-8]。这方面，辐射安全监管文件的要求目前并不反映在放射诊断科的工作流程中使用软

件记录患者剂量的必要性，而是利用软件产品的功能仅用于统计收集不同医疗机构的信息³。

同时，在俄罗斯人工收集信息以报告患者的辐射负荷和使用纸质放射诊断室日志使适当监测辐射安全变得困难。缺乏自动化会增加过程的劳动强度，并导致人为错误。

诊断测试的管理和剂量优化问题在国际专业界受到了广泛关注。根据欧洲指令2013/59/EURATOM[9]，建议对诊断程序中患者的剂量负荷进行“比以前精确得多”的监测和控制。并遵循现代辐射防护ALARA (As Low As Reasonably Achievable——尽可能低，合理实现)的基本原则，以证明和优化诊断剂量。

解决此问题的全球实践是使用患者剂量监测软件（MD软件），以便在各种类型的诊断研究期间自动收集、分析和计算患者剂量：CT、射线照相/荧光透视、乳房X线照相术、血管造影术等。

MD软件允许您从X射线放射程序中获取患者剂量数据和有关研究的详细信息，跟踪患者的总累积剂量，保持设备、放射科医生、医疗机构的统计数据，以及分析收集的剂量数据，得出剂量读数和条件研究之间的因果关系，以监测设备的效率。

R. W. Loose等人[10]确定了医疗组织中的以下辐射安全任务，使用MD软件有助于解决这些任务：

- 收集剂量学数据以确定当地和国家诊断参考水平（RDL）或典型剂量值；
- 验证来自自己建立RDL的研究的平均剂量的合规性；
- 意外接触的预防、检测和报告；
- 优化患者的辐射暴露，特别是在CT和介入手术领域；
- 患者暴露文件、报告和跟踪的结构化整合；
- 生成有关超出既定地方或国家级别的通知；

¹ 医学放射检查期间对患者的辐射剂量信息（第3-DOZ表）。存取方式：http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_52009/c262c55885294afd998489c7f7ef8fe17e14da38/。访问日期：2022年3月15日

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>).

³ 医学放射检查期间对患者的辐射剂量信息（第3-DOZ表）。存取方式：http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_52009/c262c55885294afd998489c7f7ef8fe17e14da38/。访问日期：2022年3月15日

- 地方、区域或国家基准（英文：Benchmarking——对比分析）不同模式和程序的患者辐射负荷。

该清单还可以包括评估器官剂量和终身属性风险的必要性。

需要补充的是，使用MD软件需要医学物理学家、X射线学家、放射科医生和参与诊断过程的全科医生等专家的团队合作。然而，据推测，使用MD软件的主要责任将由合格的医学物理学家承担，他将监督系统的初始安装和调整，检查数据传输的正确性，并计算主要剂量参数。

使用软件的阶段

这项工作的目的是研究世界市场上可用的MD软件的主要功能，并确定软件功能的关键技术要求。在研究的第一阶段，在PubMed、GoogleScholar和英语和俄语的电子图书馆数据库中对所提出主题的文献进行了回顾。对于搜索，使用了以下查询：“dose monitoring system”、“patient dose in radiology”、“dose tracking software”、“放射诊断期间的患者剂量负荷”、“患者剂量监测”。

根据国内外文献资料的分析结果，编制了患者的MD软件列表，用于研究和测试主要功能：

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

用MD软件的工作基于以下方案：

1. 认识并与MD软件的制造商建立联系。
2. 制造商对产品的介绍。
3. 访问MD软件的演示版。
4. 将测试数据集加载到MD软件中。该数据集包含有关从15次X射线CT扫描中执行的X射线

检查的信息。为了形成一个数据集，选择了用于检查CT患者的最常见类型的程序。对统一放射信息服务（ERIS）⁵中的研究进行了完整且不可恢复的匿名化。该数据集总共包括20种程序的3102项研究。

5. MD软件在闭环中的认可和测试。测试期至少为1个月，以便对软件的所有技术参数进行全面评估。

由于制造商提供的MD软件的访问级别不同，每个系统的检查程序都有其自身的特点。对于一些MD软件，由于技术原因，使用厂商的测试数据集进行测试。

从2019年6月开始这些工作是在年内进行的。

连接剂量监测软件

MD软件具患者的有多模式结构，能够连接来自不同制造商的设备。除了这些系统之外，还可以连接非电离设备，以控制人员工作的效率并做出管理决策。

由于DICOM协议（CTDIvol、DLP、DAP、AGD、SSDE等）中剂量指标数据的可用性，通过数字X射线诊断（X射线诊断、乳房X线摄影、血管造影、CT等）进行的研究，系统化程度高，可用于控制患者的剂量负荷。可以通过三种方式从DICOM检索剂量信息：

- 1) 将剂量信息固定在各个制造商提供的专用标签中；
- 2) 使用光学字符识别（OCR）读取研究的剂量报告（Dose report）中存储的信息；
- 3) 使用DICOM文件，包含有关患者计算辐射剂量登记信息的结构化报告（radiation dose structure report, RDSR）。

RDSR是一个分层结构的文件，其中包含有关所进行研究的信息：有关研究的一般信息、有关每个系列辐照和剂量指标的信息（图1）。这种格式允许您获得有关研究和患者的最完整信息：例

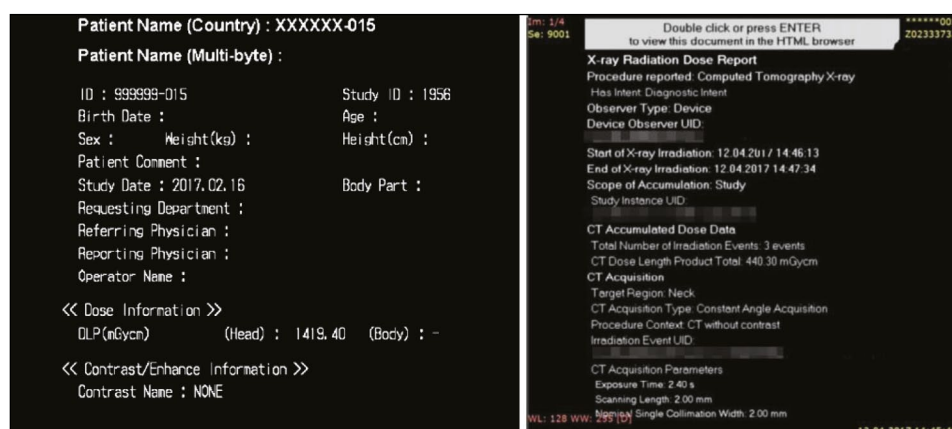


图1。Dose Report和RDSR示例。

⁴ Radimetrics (Bayer) 患者剂量监测软件未在俄罗斯联邦注册。

⁵ 国家远程医疗中心诊断和技术官方网站。统一放射信息服务。存取方式：https://tele-med.ai/proekty/edinyj-radiologicheskij-informacionnyj-servis_2020。访问日期：2022年3月15日

如，计算器官剂量和其他个性化剂量指标所需的人体测量和人口统计数据。如果没有以RDSR格式传输的研究的确切参数，则无法计算对皮肤的峰值剂量。不幸的是，2013年之后生产的设备支持这种格式，在研究中，此类设备具有RDSR的比例为7%。

大多数MD软件安装在服务器上，用于记录、显示、分析数据并将数据传输到其他相关系统。服务器可以是物理的、虚拟的，也可以是云解决方案。

MD软件可以直接连接到CT工作站，但最常见的连接架构是PACS-MD。典型的连接以及负责专家的角色所示图2。

将MD软件连接到MO/MO组的信息网络后，需要配置来自诊断设备的数据传输。DICOM格式的研究信息必须记录在MD软件的正确字段中。每个MD软件都有数据导出设置的特殊性。通过调整，验证了量维数显示的正确性、计算算法和剂量指标的确定精度。将研究协议的名称标准化和将研究分组以安装RDU并进一步与国家与国际数据进行比较是一项特别费力的任务。

患者剂量监测软件的主要功能

作为所开展工作的结果，MD软件的关键特性得到了识别和描述，同时考虑了执行X射线诊断程序的实际好处。

根据制造商和配置的不同，MD软件支持各种模式：CT、介入放射学、射线照相和透视、乳房X线照相术、正电子发射断层扫描（PET）、PET/CT、单光子发射计算机断层扫描（SPECT）、SPECT/CT。

统计

MD软件是一个诊断研究参数数据库，带有用于分析和统计处理的各种工具。各种MD软件中，这些功能都具有特殊性，但可以区分主要功能：

- 按日期、研究类型、模式、设备、方案、剂量负荷、扫描区域、医疗机构、患者的人口统计和人体测量数据、放射科医生的姓名（姓氏、名字、父名）等过滤器的存在；
- 能够以表格形式查看研究列表（图3）。对于每项研究，都会显示关键参数列表：研究和协议代码、剂量值（CTDIvol、DLP、SSDE、DAP 等）、透视时间、患者的人口统计和人体测量数据、医疗机构名称、设备型号、医生和操作者的姓名等；
- 根据其状态，生成警告警报的研究有颜色指示；
- 可以自定义仪表板（Dashboard）并应用不同类型的图形和图表来可视化过滤后的数据。通常，MD软件建议使用标准图表或根据需要创建新图表。

统计处理工具的存在允许您计算最大值、最小值、平均值和中值，以及确定分位数、标准偏差和构建趋势。例如，可以根据选定方案的有效剂量绘制研究分布图，并将特定研究的剂量与同一方案中其他研究的剂量进行比较。该图显示了所考虑的CT协议的已建立RDU级别（图4）。实时监控仪表板可让您识别设备和人员操作中可能出现的偏差。还可以对特定类型的研究的剂量分布进行统计分析，例如，通过DLP参数（图5）。一些MD软件具有用于监控研究时间的模块，包括准备阶段、研究本身以及研究之间的等待期（图6）。该工具既可用于

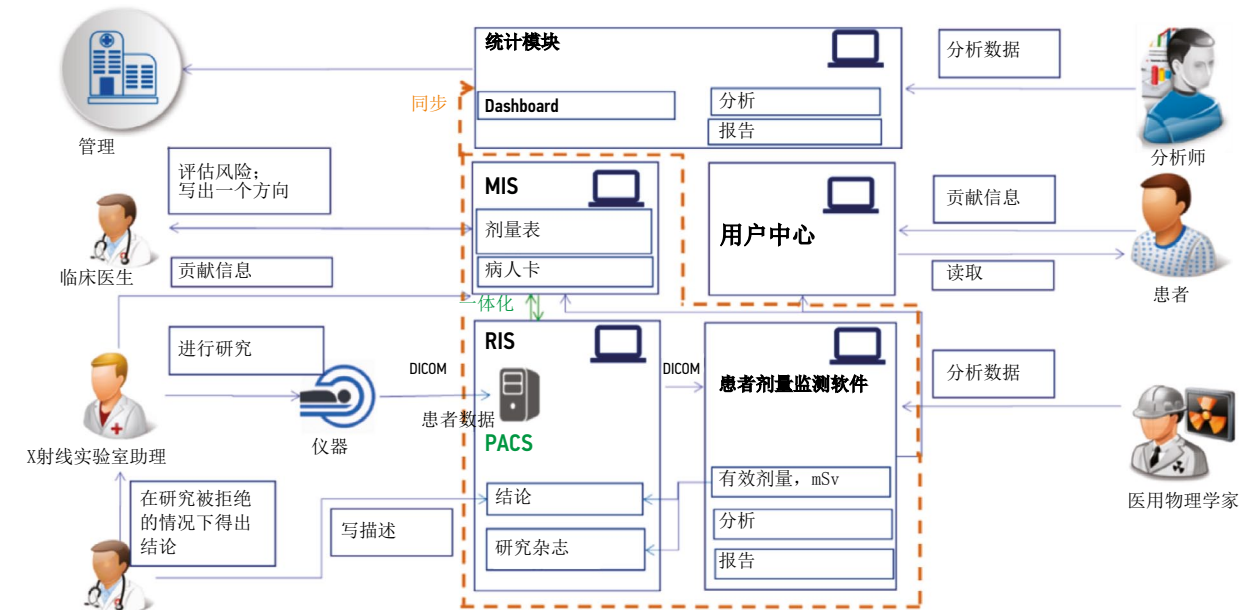


图2. 患者剂量监测软件的典型连接示例。
注：MIS——医疗信息系统；RIS——代表放射信息系统。

| 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 20:55 | WAC-CT-CT12 | | CSKNE | =Vascular*07_Hjarnans_o_halsens_artarer_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 | - | 913.3 | 144.2 | 12. |
| 24-May-2015 00:14 | WAC-CT-CT12 | | CSKNE | =Vascular*07_Hjarnans_o_halsens_artarer_C (Adult) | 2746.97 | - | 1665.54 | 66.13 | 66. |
| 22-May-2015 18:31 | WAC-CT-CT12 | | CSKNE | =Vascular*07_Hjarnans_o_halsens_artarer_C (Adult) | 2745.7 | - | 1519.99 | 71.65 | 71. |
| 13-May-2015 20:19 | WAC-CT-CT12 | | CSKNE | =CT HALS HJARN | 2740.23 | - | 1533.06 | 77.68 | 77. |
| 04-May-2015 13:27 | ARL-ER-ER1 | | CACDB | 216 | 2740.7 | - | 1794.3 | 203.9 | 231. |
| 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_och_Buk (Adult) | 2735.91 | - | 2686.63 | 36.89 | 36. |
| 28-Feb-2015 04:17 | WAC-CT-CT12 | | CSKUH | =Vascular*07_Hjarnans_o_halsens_artarer_C (Adult) | 2746.4 | - | 1325.01 | 75.34 | 75. |
| 01-Feb-2015 18:38 | WAC-CT-CT12 | | CSKNE | =Vascular*07_Hjarnans_o_halsens_artarer_C (Adult) | 2733.17 | - | 1603.75 | 66.8 | 66. |
| 21-Jan-2015 18:53 | WAC-CT-CT12 | | CSKNE | =Vascular*07_Hjarnans_o_halsens_artarer_C (Adult) | 2730.04 | - | 1521.76 | 72.83 | 72. |
| 15-Jan-2015 16:46 | WAC-CT-CT12 | | CSKUH | =Vascular*07_Hjarnans_o_halsens_artarer_C (Adult) | 2738.24 | - | 1484.94 | 70.32 | 70. |
| 09-Oct-2014 14:06 | HOU-ONC-CT2 | | CCHES | =Neck*HALS_THORAX_BUK_K_EXTRA (Adult) | 2731.89 | - | 996.17 | 23.24 | 23. |
| 30-Sep-2014 15:16 | HOU-CLINPH-CP4 | | CCHES | 216 | 2745.48 | - | 1635.32 | 16.69 | 16. |
| 01-Aug-2014 13:36 | HOU-XR1-R1 | | CABDOD | =Abdomen*GENOMLYSNING_BUK (Adult) | 2747.67 | - | 949.6 | 56.66 | 24. |
| 28-Jul-2014 11:10 | HOU-CLINPH-CP4 | | CCHES | 216 | 2732.86 | - | 1936.66 | 32.83 | 18. |
| 14-Jul-2014 07:40 | HOU-XR1-R1 | | CURITC | =Abdomen*UROGRAFI_XL (Adult) | 2731.61 | - | 1367.7 | 26.75 | 26. |
| 28-Jun-2014 19:51 | WAC-CT-CT12 | | CSKUH | =Vascular*08_Hjarnans_och_Halsens_artarer_ (Adult) | 2742.6 | - | 1507.83 | 68.31 | 68. |
| 26-Jun-2014 21:28 | WAC-CT-CT12 | | CCABDC | =Specials*02_Multitrauma_Thorax_och_Buk (Adult) | 2730.16 | - | 2686.71 | 35.6 | 35. |
| 11-May-2014 16:48 | ARL-CT-CT2 | | CSKUH | - | 2741.4 | - | 1385.4 | 73.5 | 73. |

图3. 数据表示、DoseTrack、Sectra的表格视图。

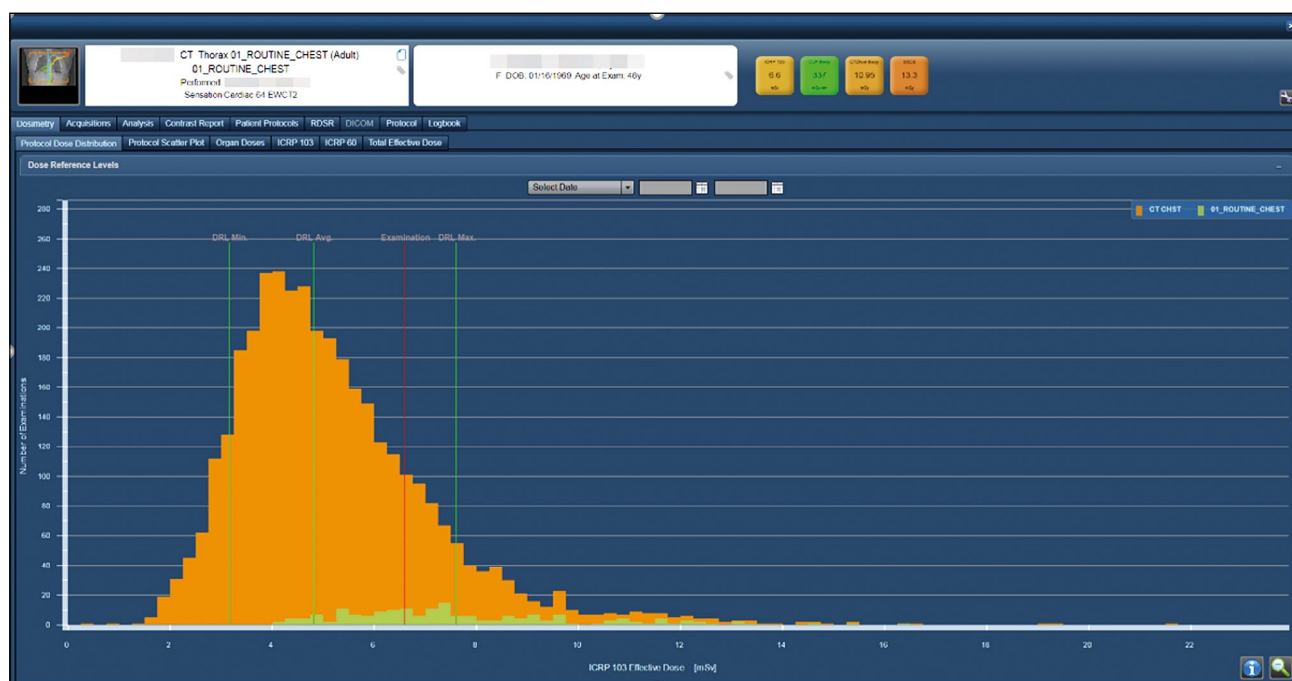


图4. 患者剂量监测软件的参考诊断水平图，Radimetrics, Bayer。

控制研究的持续时间，也可用于遵循有关设备使用的建议。

病人卡

患者卡包含有关患者的信息，包括ID（唯一一个人编号）、全名、性别、年龄、体重、身高、体重指数（BMI）。本节还提供了有关患者进行并上传到系统中的研究的信息。从X光检查中获得的患者剂量信息通常以图表和表格形式提供。显示所有研究中患者累积的总剂量。通常有一个颜色指示灯，指示超过规定的剂量水平，无论是单独研究还是累积总剂量。

信号警报

MD软件中自动警报通知的存在使您可以快速识别超出既定剂量负荷允许水平的情况。在大多数系统中，实施了特殊“触发器”的设置，据此自动生成警报并通过电子邮件发送给负责的医学物理师或系统的其他用户（图7）。例如，可以引用以下充当“触发器”的研究参数：CTDIvol、DLP、DAP、ESD、SSDE、AGD、乳房压缩厚度、mAs。对于这些参数中的每一个，都设置了相应的允许水平。

通常根据“红绿灯”类型对研究本身及其剂量参数进行颜色指示，具体取决于已建立的允

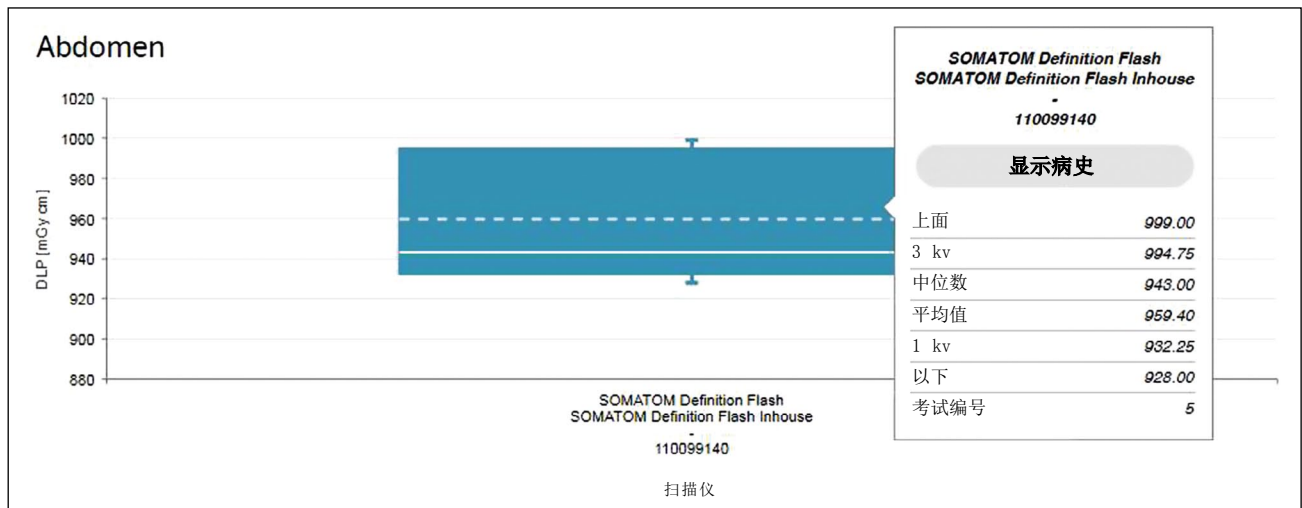


图5. 通过参数DLP、Teamply、Siemens Healthineers对剂量分布进行统计分析。



图6. 以分钟为单位的患者间隔直方图，Teamply，Siemens Healthineers。

许水平：超过剂量水平在图8中标记为红色。有的MD软件能够为已对患者执行并加载到系统中的所有研究的总累积剂量设置允许水平。通过MD软件中的数据功能，可以在研究和患者层面快速跟踪剂量信息（图9）。

有效剂量计算

为了计算软件中的有效MD软件剂量，使用了

取决于从DICOM获得的模态（DLP、DAP、MGD、活动等）的研究剂量参数。大多数软件使用国际辐射防护委员会（The International Commission on Radiological Protection, ICRP）建议⁶和⁷中发布的标准转换因子。MD软件的一大优点是能够编辑剂量系数并输入您自己的值，因为例如在俄罗斯联邦，MU 2.6.1.3584-19⁸中批准的系数值与国际不同那些。

⁶ ICRP, 1991. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21 (1-3). 存取方式: <https://icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%2060>. 访问日期: 2022年3月15日

⁷ ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4). 存取方式: <https://icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20103>. 访问日期: 2022年3月15日

⁸ 指南 MU 2.6.1.3584-19《对 MU 2.6.1.2944-19“在医学X射线研究期间控制患者的有效照射剂量”的更改》。存取方式: <https://base.garant.ru/73515396/>. 访问日期: 2022年3月15日

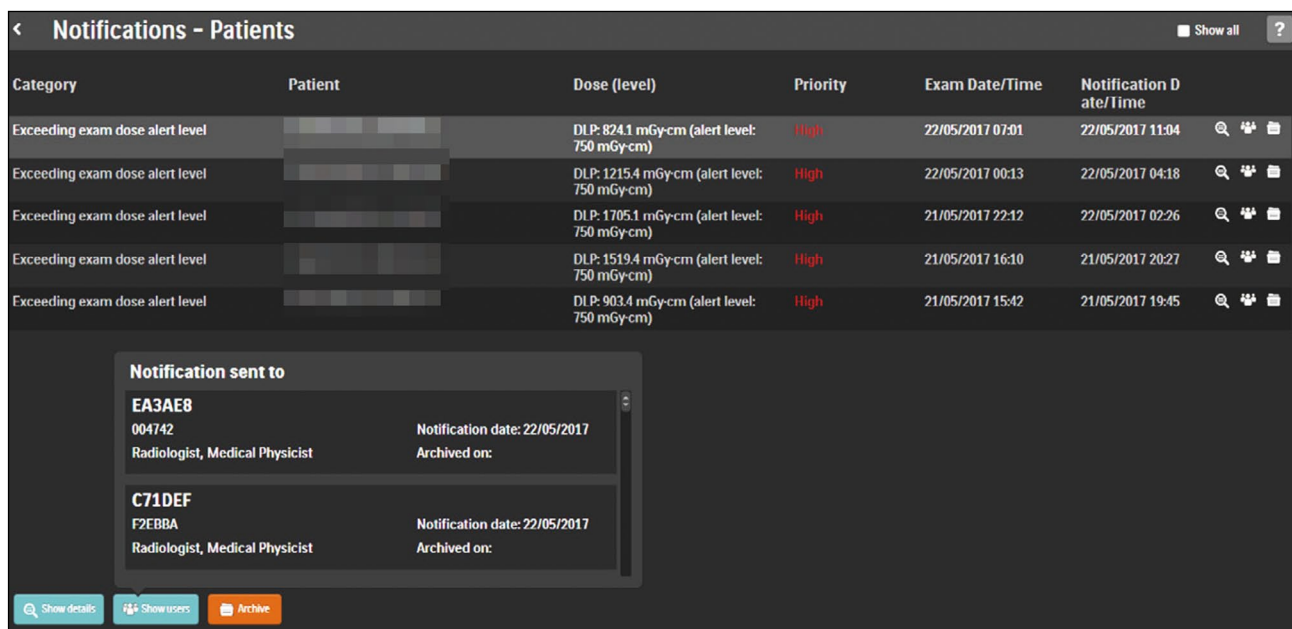


图7. 通过DLP值级别形成信号警报，DoseWise Portal, Philips.

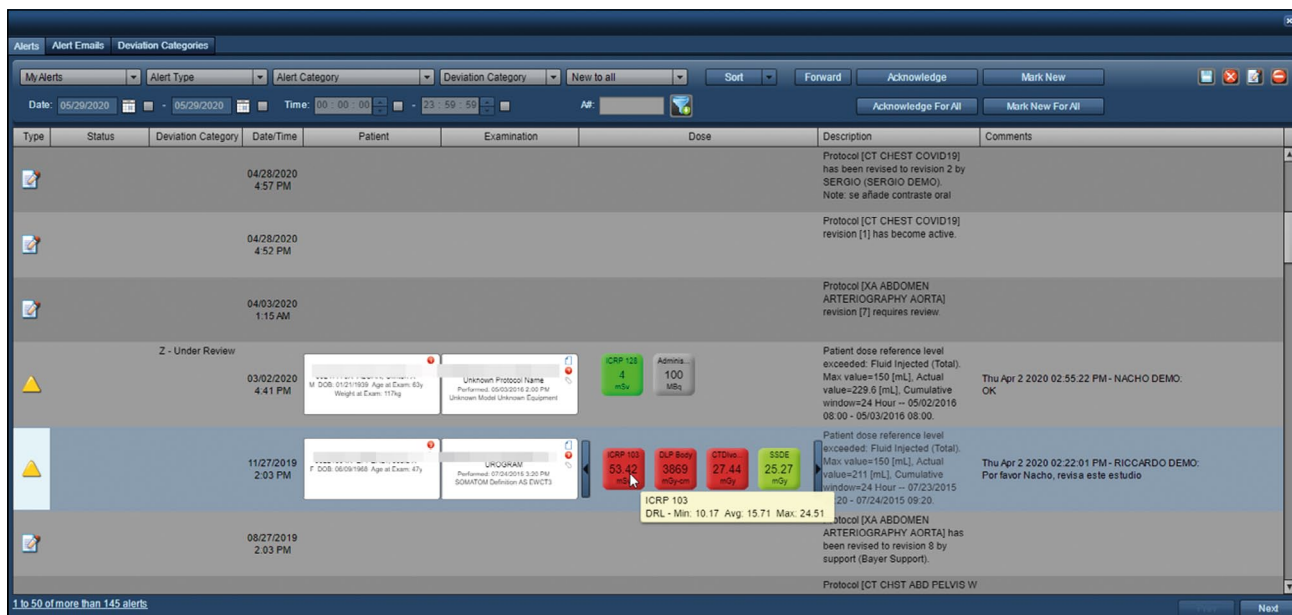


图8. CT参数、Radimetrics、Bayer的颜色指示。

参考诊断水平

对于RDU的研究，MD软件有不同的功能，可以安装外部RDU，也可以根据输入的数据计算RDU。可以进一步将组织的局部剂量水平与国家或国际RDU进行比较。

大多数MD软件允许RDU用于各种模式和程序类型，包括介入诊断和荧光检查。RDU在MD软件中根据模式以推荐剂量单位计算[11, 12]。一些系统的优点包括能够根据人口统计和人体测量数据计算特定患者群体的RDU，例如儿科RDU和肥胖患者的RDU（图10）。

与手动操作相比，使用自动化的MD软件大大简化和加速了RDU安装过程，提高了结果的

准确性和可靠性。这使得这个过程可以定期进行。

MD软件的引入允许RDU作为优化患者在医疗组织日常工作中的剂量负荷的工具。

报告

生成加载数据的报告是MD软件的主要功能之一。通常，报告包括在一定时期内进行的研究的剂量暴露数据、诊断设备负载数据、研究类型的统计数据、使用的协议、扫描区域等。这些报告包括有关高剂量研究的信息，以及超出既定RDU并生成警告警报的研究。使用此信息，可以对已执行的研究进行点分析，找出可能过度的原因。

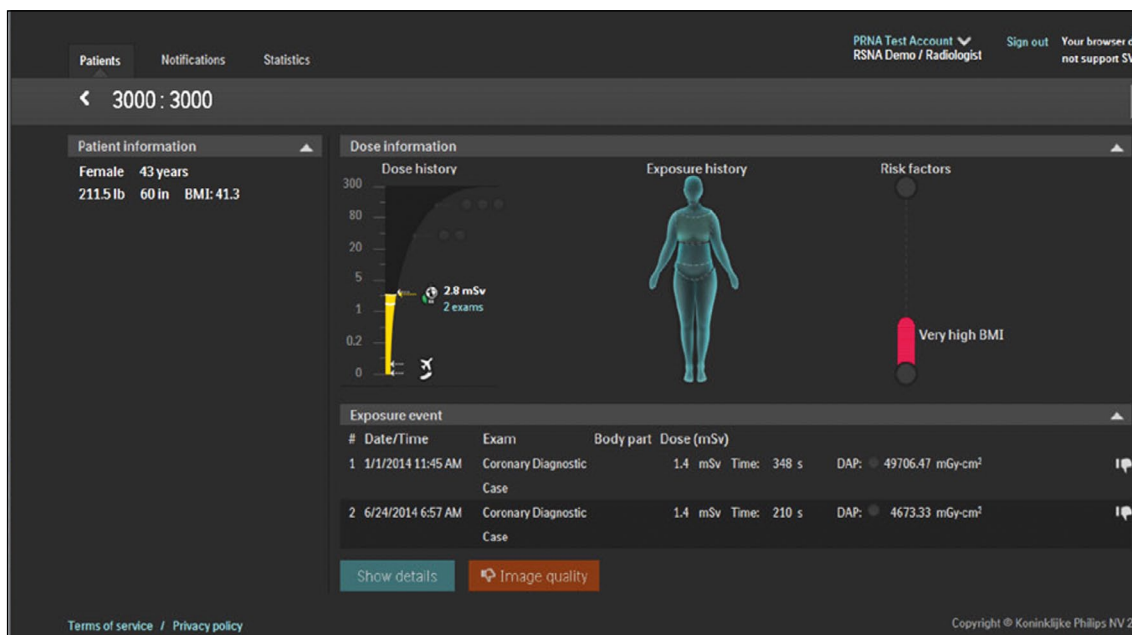


图9. 患者剂量历史, DoseWise Portal, 飞利浦。

MD软件既可以使用现有的标准报告模板, 例如DoseWatch软件, 也可以根据研究区域/研究方案提供关于剂量负荷的月度报告, 或者使用必要的参数设置您自己的报告。通常情况下, 您可以根据可用的信息面板自动生成报告, 并根据既定的时间表为专家设置电子邮件通讯。可以按模式、时间间隔、机构、研究方案、患者年龄、CTDI和DLP值等使用排序和过滤器(图11)。例如, DoseWatch软件报告提供了该期间10项最高剂量研究的可视化, 以及DLP中指示的具有高累积剂量值的前10名患者(图12)。设备负载: CT扫描仪负载分布、CT扫描仪的研究数量、降低剂量技术的使用情况、根据X射线学家和放射科医生进行的研究数量。

| 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 |
| <input type="button" value="Calculate DRLs"/> <input type="button" value="Email Active DRLs"/> | |

图10. 设置本地参考诊断水平, DoseTrack, Sectra。

MD软件中自动报告的存在使您可以减少准备医疗机构定期剂量报告的时间和人力成本, 放弃纸质表格并提高报告数据的准确性和质量。可以比较诊断设备、医疗机构和人员的参数。

SSDE

许多MD软件商业实现了计算CT的SSDE (Size Specific Dose Estimate——尺寸特定剂量估计) 等参数的能力。此参数允许您根据患者的几何尺寸评估患者的剂量负荷, 而不是CTDIvol参数, 这是为标准患者定义的直径为32厘米(身体)或16厘米(头部)的模型。根据美国医学物理学家协会(The American Association of Physicists in Medicine, AAPM) [13]的出版物, SSDE是根据患者的有效直径或水当量直径计算得出的。计算所需的信息通常来自标记地形图或一组轴向图像。

以病人为中心

应该注意的是在放射暴露方面, 在诊断过程中将患者正确居中的重要性。根据一些研究, 不正确的居中可导致诊断剂量增加高达20% [14, 15]。在CT检查和介入放射学中, 最常对MD软件中的对中依从性进行类似的分析。

MD软件允许您计算患者相对于零位的位移并评估对中的质量。在正交图像上沿两个轴(X和Y)记录偏差(图13)。正确对中对是评估放射科医师工作质量的标准之一。

皮肤的峰值剂量

如果您选择介入程序(透视或血管造影), 主要的剂量学参数会记录在MD软件中: DAP、透视时间、参考点的剂量。

| 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 | 8 | 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 | 6 | - | 1 | - | - | 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 %) |

图11. 按DLP范围和CT扫描仪型号分布的检查数量，每台扫描仪的检查总数，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 |
| RLP0F430 | 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 |
| RLP0F430 | RLADD01 | 61 | 2019-07-25 | Компьютерная томография органов брюшной | 8293.60 |
| RLP0F430 | RLADD01 | 73 | 2019-07-25 | Компьютерная томография органов брюшной | 7907.50 |

图12. 包含十个最大剂量研究的示例表，DoseWatch, GE。

在大多数系统中可以使用以下方法估计患者的剂量负荷：

- 对患者身体表面皮肤的峰值剂量的空间表示（图14）；
- “时间线”描述整个过程中每个时刻的辐照特性（辐照方向；峰值电压，kVp；每秒帧数，剂量特性）；
- 剂量图的角度扫描。

使用上述功能进行剂量监测可以检测可视化技术中的错误，并在某些情况下优化过程（改变照射方向、每秒帧数、应用“电影”和“冻结”的图片模式）。MD软件还可以识别需要监测与高皮肤剂量相关的确定性效应发展的患者。

器官剂量

鉴于CT的剂量值与其他放射诊断方法相比较 高，因此大多数MD软件中的器官剂量计算都是针对这种模式实现的。

使用蒙特卡罗法模拟计算患者器官剂量，同时模拟CT扫描仪的参数（能谱、准直、过滤、管电流）。考虑到扫描协议的参数，例如管上的间距、电流和电压、准直等，确定患者的剂量负荷。通过从体模库中选择合适的患者体模来评估器官剂量[16]。考虑到患者的数据、患者的性别和年龄、可能的怀孕及其持续时间，会自动提出体模（图15）。作为确定器官剂量模块的一部分，MD软件的制造商越来越多地提供计算胎儿剂

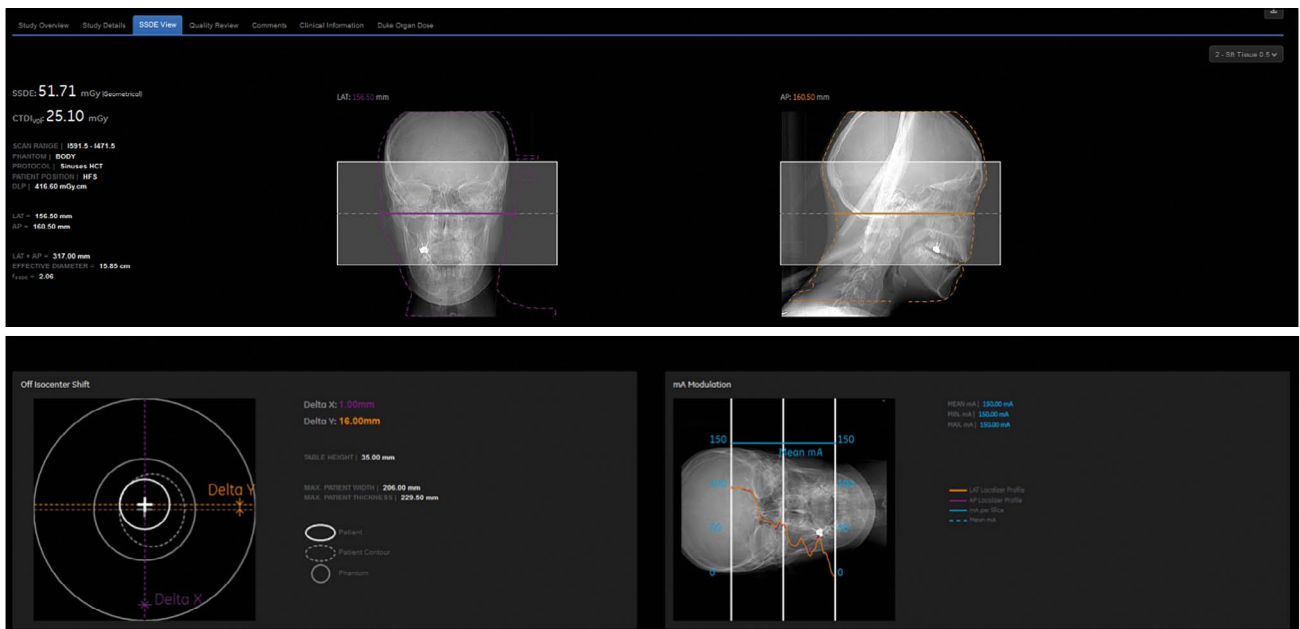


图13. 计算机断层扫描患者中心评估, DoseWatch, GE。



图14. 介入手术中皮肤峰值剂量的监测和优化, Radimetrics, Bayer。

量的功能。计算器官剂量的算法使用ICRP 103⁹中给出的系数。

一些MD软件实现了一个交互式剂量测定模块, 允许您通过手动更改扫描协议的参数来模拟剂量场景。可以比较不同年龄、体重和性别的患者的剂量, 但这种方法的准确性仍然存在疑问。例如, A. Iriuchijima等人[17]比较了CT中的器官剂量, 由MD软件中的蒙特卡罗法确

定, 并使用放射光致发光剂量计在拟人模型中测量。偏差为13%, MD软件中的剂量值较低。因此, 应使用此评估工具, 同时考虑到现有的限制。

目前, 这些方法正在积极改进, 包括从图像中勾勒器官轮廓和计算器官剂量。器官剂量分析对于正确评估可归因的辐射风险是必要的。

⁹ ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4). 存取方式: <https://icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20103>. 访问日期: 2022年3月15日

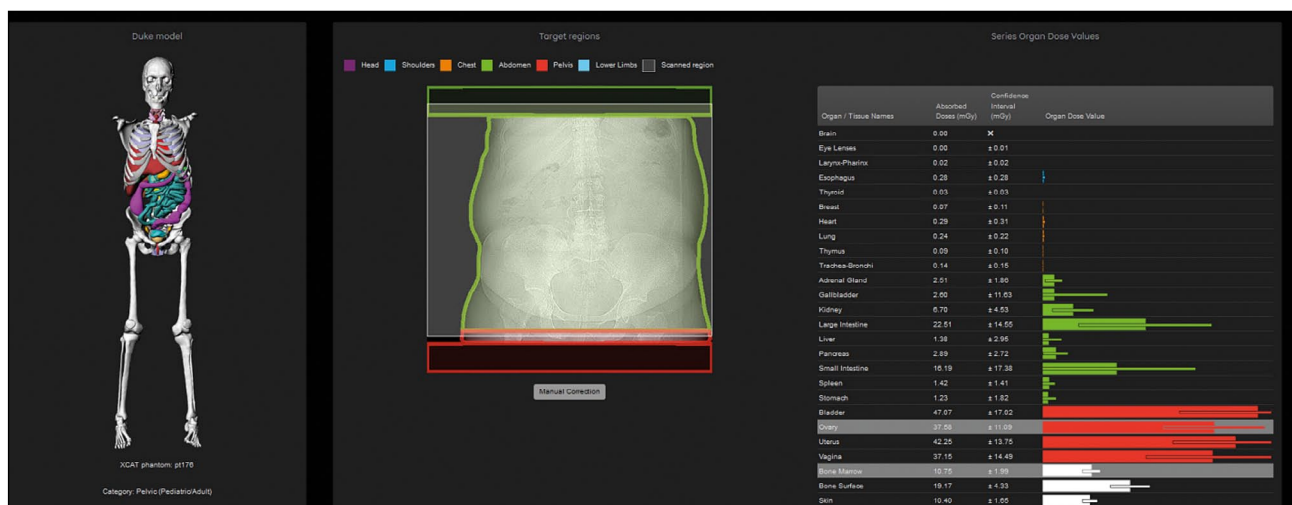


图15. 患者有效器官剂量分析, DoseWatch, GE。

实施患者剂量监测软件的国际经验

目前MD软件在不同国家得到积极使用和实施。许多出版物[10, 18, 19]证实了实施此类软件的必要性, 提供了MD软件的主要技术要求, 以及实施和使用的建议。使用MD软件的经验尤其在NICE网站上(简要介绍了医疗技术领域的创新)¹⁰, 该网站分析了在不同国家进行的10项不同研究。已经对各种方式进行了研究, 包括CT、透视程序、X射线、PET和PET/CT。主要结果包括:

- 研究不正确的主要原因是患者的高身高体重指数和铺设期间(CT)期间的不正确对齐;
- 引入MD件后, 数字X射线检查的患者剂量水平显著降低, CT的剂量减少也已实现;
- 同一医疗设施中, 不同仪器的剂量水平存在很大差异; 医疗机构之间也存在差异。经过调查, 发现协议选择不当。

C. Heilmair等人[20]描述了软件实现的第一个结果。给出了显示超出既定剂量水平的主要原因: 高身高体重指数(52%)、不正确的居中(24%)、重复扫描(11%)等。从患者辐射安全的角度来看, 使用MD软件获得的数据的价值得到了强调。英国的一项研究[21]评估了使用MD软件的第一次体验: 它报告了处理大量数据的便利性和高速性, 以及为数据过滤选择的剂量标识符对结果质量的影响。

美国放射学会(American College of Radiology, ACR)对这一主题进行了大量工作, 其中包括为诊断程序组织剂量指数登记(Dose Index Registry, DIR)。2011年注册成立, 旨在收集和存储研究中的剂量信息。有关研究的信息, 包括DLP、CTDIvol等剂量参数, 在去个人化后, 会通过PACS或诊断设备的MD软件自动发送到寄存器。超过2000家机构与登记册相关联, 收集了超过5000万项

研究的信息。为了能够正确比较数据, 研究的名称先前已根据RadLex词典进行了标准化。每个连接到DIR的MO都会定期收到来自所有医疗机构的剂量分布表形式的报告。这种剂量登记册的存在可以有效地优化X光诊断研究患者的剂量, 识别剂量过量和方案参数选择不当的情况, 并提高放射科医生对剂量负荷问题的认识。这就是为什么实施基于PACS的MD软件的建议看起来特别有趣, 该软件在一个放射诊断服务的框架内结合了来自多个医疗组织的数据, 例如莫斯科卫生部。

结论

现代MD软件具有广泛的自动收集、存储和控制放射科患者剂量暴露数据的功能。

使用MD软件监测患者的剂量, 可以在患者病历中记录研究期间接受的有效剂量以及累积的有效剂量和剂量指标; 监测过量剂量指标和患者的有效剂量; 计划新的研究, 考虑到患者的辐射暴露; 建立和应用RDU以优化患者的剂量负荷; 与RDU比较并发出多余信号; 起草放射诊断部门关于患者剂量负荷的报告, 以提交给监管机构。

说到需要引入MD软件, 值得参考国外同行的经验和使用本文介绍的软件的积极效果。使用MD软件可以识别和消除在诊断过程中超出剂量水平的主要原因, 降低各种模式的患者剂量水平, 并优化人员的工作。

需要注意的是, MD软件的实施存在一定的限制和困难。不幸的是, 过时的诊断设备无法传输有关患者和研究参数的所有必要信息, 这限制了MD软件的使用。因此, 例如, CT上没有RDSR格式, DICOM的X射线机中缺乏有关剂量的信息, 这使得它难以工作。这就是为什么实施的MD软件应

¹⁰ NICE. Radiation dose monitoring software for medical imaging with ionising radiation. Medtech innovation briefing [published: 31 October 2017]. 接入方式: www.nice.org.uk/guidance/mib127. 访问日期: 2022年3月15日

表格患者剂量监测软件的主要功能

| 位号 | 参数 | 有 |
|----|--|--------|
| 1 | 可用模式 | 强制接种疫苗 |
| | 计算机断层扫描(CT)、正电子发射断层扫描(PET)、PET/CT、单光子发射计算机断层扫描(SPECT)、SPECT/CT、乳房X线摄影、射线照相/透视、血管造影 | |
| | 超声、磁共振成像、光密度测定、对比度 | 可选的 |
| 2 | 供应商中立兼容性 | 强制接种疫苗 |
| 3 | 自动患者剂量跟踪 | 强制接种疫苗 |
| 4 | 读取剂量信息。可用格式 | 强制接种疫苗 |
| | RDSR, OCR | |
| | MPPS、DICOM接头 | 可选的 |
| 5 | 病人卡 | 强制接种疫苗 |
| 6 | 内置匿名器 | 可选的 |
| 7 | 研究注册表中地形图的可用性 | 强制接种疫苗 |
| 8 | 根据剂量合理性分析地形图的可用性 | 强制接种疫苗 |
| 9 | 研究有效剂量计算 | 强制接种疫苗 |
| 10 | 患者总有效剂量计算 | 强制接种疫苗 |
| 11 | 有效剂量统计模块的可用性 | 可选的 |
| 12 | 可以调整系数以计算有效剂量 | 强制接种疫苗 |
| 13 | CT程序的SSDE计算(AAPM TG 204) | 强制接种疫苗 |
| 14 | 器官剂量 | 强制接种疫苗 |
| 15 | 计算对皮肤的剂量(peak skin dose) | 强制接种疫苗 |
| 16 | 血管造影中剂量数据的时间线表示 | 可选的 |
| 17 | 交互式剂量模拟模块 | 可选的 |
| 18 | 用于本地参考水平和状态参考水平的完全可定制模块 | 强制接种疫苗 |
| 19 | 定制的可能性Dashboard | 可选的 |
| 20 | 配置自动电子邮件通知 | 可选的 |
| | 按设备 | 强制接种疫苗 |
| | 用于医疗机构 | 强制接种疫苗 |
| | 按设备组 | 可选的 |
| 21 | 用于比较研究和患者剂量的工具 | 强制接种疫苗 |
| | 由医疗组织团体 | |
| | 通过本地化 | 可选的 |
| | 按研究领域 | 强制接种疫苗 |
| | 根据研究方案 | 强制接种疫苗 |
| | 按学习的数量和持续时间 | 强制接种疫苗 |
| 22 | 审核放射科医生工作的工具 | 强制接种疫苗 |
| | 关于研究质量 | |
| | 根据患者的剂量负荷 | 强制接种疫苗 |
| 23 | 有关已完成研究的信息,能够按方式、位置、设备进行过滤 | 强制接种疫苗 |
| 24 | 具有所需频率的可定制自动报告 | 强制接种疫苗 |
| 25 | 将数据库导出到Microsoft Excel(csv格式) | 强制接种疫苗 |
| 26 | 患者接触报告 | 强制接种疫苗 |
| 27 | PACS自动获取研究 | 强制接种疫苗 |
| 28 | 管理用户功能和数据访问权限 | 强制接种疫苗 |
| 29 | LDAP集成到企业用户目录中以进行用户身份验证 | 可选的 |
| 30 | 基于图像标题分析(OCR)生成Dose SR | 强制接种疫苗 |
| 31 | 用于与其他信息系统交换剂量信息的传出HL7接口 | 强制接种疫苗 |

该具有允许您分析当前诊断设备组参数的功能，同时考虑到扩展它的可能性。和更新作为医疗组织放射科发展的一部分。此外，MD软件的完整运行，还需要规范研究方案的名称和艰苦的“端口映射”程序（英语：data mapping——确定一个对象或不同对象的潜在不同语义之间的数据对应关系）研究。初始阶段，还应考虑系统安装和维护的预期时间和人力成本。

这项工作的框架内，研究了各种MD软件的主要功能，评估了实际工作对功能的需求。完整的MD软件参数集显示在表中，就标记了作者认为的强制性参数和可选参数。

因此，已经形成了MD软件功能的一组关键要求：

- 能够加载以下模式的研究：CT、介入放射学、放射照相和透视、乳房X线照相术、PET、PET/CT、SPECT、SPECT/CT；
- 保存病历；
- 自动计算有效剂量；
- 通过CT程序评估器官剂量；
- 计算CT的SSDE参数；
- RDU的安装和配置；
- 计算血管造影期间皮肤的剂量；
- 可用性和配置有关超过既定允许剂量水平和其他参数的自动警报通知的能力；
- 审核放射科医师的工作；
- 具有高级过滤器的分析工具；
- 自动预定报告；
- 数据库导出格式为.csv或.xlsx、.xls或.pdf。

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

MD软件有助于提高所提供的医疗服务质量，确保患者安全，并优化医疗机构的工作。根据特定医疗机构、医学物理学家、放射科医师、放射科医师的需求配置MD软件的能力是解决放射学和辐射安全领域所面临问题的关键。

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This article was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

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. 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.

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., Mildnerberger 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, Kortesiemi 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, Mildnerberger 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. Vaňó E, Miller DL, Martin CJ, et al. ICRP Publication 135: diagnostic reference levels in medical imaging. *Ann ICRP*. 201746(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. Heilmaier 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

AUTHORS' INFO

*** 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

Sergey A. Ryzhov;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0640-7368>;
eLibrary SPIN: 6595-4011; e-mail: s.ryzhov@npcmr.ru

Zoya A. Lantukh;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6623-9610>;
eLibrary SPIN: 5486-6496; e-mail: z.lantukh@npcmr.ru

Yuliya V. Druzhinina;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3230-3722>;
eLibrary SPIN: 1973-2848; e-mail: yu.druzhinina@npcmr.ru

Kirill V. Tolkachev;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8871-8700>;
eLibrary SPIN: 3196-7497; e-mail: k.tolkachev@npcmr.ru

ОБ АВТОРАХ

*** Шатёнок Мария Петровна;**

адрес: Россия, 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9217-7011>;
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

Лантух Зоя Александровна;

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

Толкачев Кирилл Владимирович;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8871-8700>;
eLibrary SPIN: 3196-7497; e-mail: k.tolkachev@npcmr.ru

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку