

ОБЗОРЫ ЛИТЕРАТУРЫ

© ЗАВЬЯЛОВ А.А., АНДРЕЕВ Д.А., 2020

Завьялов А.А., Андреев Д.А.

Организация контроля качества радиотерапии путем автоматизации процессинга больших массивов данных

ГБУ «Научно-исследовательский институт организации здравоохранения и медицинского менеджмента Департамента здравоохранения города Москвы», 115088, Москва, Россия

Введение. Организация сбора и анализа данных по профилю «онкология» в Москве все чаще осуществляется путем применения новейших автоматизированных систем. Различные аспекты науки о данных становятся востребованными в области радиационной онкологии. Открываются новые пути к расширению массивов показателей, предназначенных в том числе для мониторинга качества и безопасности медицинской деятельности.

Цель исследования — краткий обзор ключевых структурных элементов автоматизированной обработки больших массивов данных и перспектив использования науки о данных в свете организации внутреннего контроля качества и безопасности лучевой терапии онкологических больных.

Материал и методы. Для поиска источников литературы были использованы базы данных PubMed и eLibrary. В основном отбирались работы, опубликованные за последние 2–3 года. Проанализировано более 20 публикаций.

Результаты. В статье кратко сообщается о текущих перспективах использования науки о больших массивах данных в свете организации контроля качества и безопасности лучевой терапии в крупной онкологической сети. Рассмотрены структурные элементы автоматизированной обработки больших массивов данных, связанных с функционированием радиотерапевтических отделений. Применение технологий процессинга больших массивов медицинских данных позволяет улучшить надзор за качеством на всех этапах лучевой терапии. Детализированные данные по лучевой нагрузке могут быть «привязаны» к показателям исходов, интегрированным в более крупные регистры.

Обсуждение. Процедуры контроля качества лучевой терапии могут быть в определенной степени автоматизированы путем дальнейшего совершенствования программных инструментов анализа и сравнения характеристик проводимого лечения с цифровыми показателями минимальных норм/стандартов. Создание автоматизированных систем раннего предупреждения и быстрого реагирования врачей в случае серьезных расхождений в актуальных показателях качества онкологической помощи позволит эффективно контролировать внутренние медицинские процессы.

Заключение. Значение технологий анализа больших массивов данных для организации внутреннего контроля качества и безопасности медицинской деятельности, в том числе по профилю «радиология», в перспективе возрастет.

Ключевые слова: онкология; радиология; лучевая терапия; организация здравоохранения; контроль качества и безопасности; наука о данных; автоматизированная обработка; информационные системы; обзор

Для цитирования: Завьялов А.А., Андреев Д.А. Организация контроля качества радиотерапии путем автоматизации процессинга больших массивов данных. *Здравоохранение Российской Федерации*. 2020; 64(6): 368-372. <https://doi.org/10.46563/0044-197X-2020-64-6-368-372>

Для корреспонденции: Андреев Дмитрий Анатольевич, вед. науч. сотр.; ученая степень «доктор», присужденная в Erasmus University Medical Center (Erasmus MC), г. Роттердам, Нидерланды; научно-клинический отдел, ГБУ «Научно-исследовательский институт организации здравоохранения и медицинского менеджмента Департамента здравоохранения города Москвы», 115088, Москва. E-mail: dmitry.email08@gmail.com.

Участие авторов. Завьялов А.А. — концепция и дизайн исследования, общее руководство научным проектом, редактирование; Андреев Д.А. — подбор и анализ данных, написание рукописи. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 27.10.2020

Принята в печать 10.11.2020

Опубликована 29.12.2020

Aleksandr A. Zavyalov, Dmitry A. Andreev

Management of the radiotherapy quality control using automated Big Data processing

Research Institute for Healthcare Organization and Medical Management of Moscow Healthcare Department, Moscow, 115088, Russia

Introduction. In Moscow, the state-of-the-art information technologies for cancer care data processing are widely used in routine practice. Data Science approaches are increasingly applied in the field of radiation

oncology. Novel arrays of radiotherapy performance indices can be introduced into real-time cancer care quality and safety monitoring.

The purpose of the study. The short review of the critical structural elements of automated Big Data processing and its perspectives in the light of the internal quality and safety control organization in radiation oncology departments.

Material and methods. The PubMed (Medline) and E-Library databases were used to search the articles published mainly in the last 2–3 years. In total, about 20 reports were selected.

Results. This paper highlights the applicability of the next-generation Data Science approaches to quality and safety assurance in radiation oncological units. The structural pillars for automated Big Data processing are considered. Big Data processing technologies can facilitate improvements in quality management at any radiotherapy stage. Simultaneously, the high requirements for quality and integrity across indices in the databases are crucial. Detailed dose data may also be linked to outcomes and survival indices integrated into larger registries.

Discussion. Radiotherapy quality control could be automated to some extent through further introduction of information technologies making comparisons of the real-time quality measures with digital targets in terms of minimum norms / standards. The implementation of automated systems generating early electronic notifications and rapid alerts in case of serious quality violation could drastically improve the internal medical processes in local clinics.

Conclusion. The role of Big Data tools in internal quality and safety control will dramatically increase over time.

Keywords: radiation oncology; data science and big data; quality and safety control; cancer care; healthcare organization, automated data processing; information systems; review

For citation: Zavyalov A.A., Andreev D.A. Management of the radiotherapy quality control using automated Big Data processing. *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii (Health Care of the Russian Federation)*. 2020; 64 (368-372): 368-372. (In Russ.). <https://doi.org/10.46563/0044-197X-2020-64-6-368-372>

For correspondence: Dmitry A. Andreev, M.D., Ph.D., Leading Research Fellow, Scientific – Clinical Department, the State Research Institute for Healthcare Organization and Medical Management of Moscow Healthcare Department, Moscow, 115088, Russia. E-mail: dmitry.email08@gmail.com

Information about the authors:

Zavyalov A.A., <https://orcid.org/0000-0003-1825-1871>

Andreev D.A., <https://orcid.org/0000-0003-0745-9474>

Contribution: Zavyalov A.A. — the research concept, management of the scientific project, critical reading of manuscript, editing; Andreev D.A. — data selection and analysis, writing the manuscript. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the final version of the manuscript.

Acknowledgments. The study had no sponsorship.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interests.

Received: October 27, 2020

Accepted: November 10, 2020

Published: December 29, 2020

Введение

Организация сбора и анализа сведений по профилю «онкология» в Москве с целью оценки качества и безопасности медицинской деятельности все чаще осуществляется путем применения современных автоматизированных систем [1, 2]. Многие аспекты науки о данных становятся востребованными в области радиационной онкологии [3]. Разработка и внедрение научного подхода к анализу данных в радиологии ставит целью совершенствование сбора разнообразной медицинской информации в рамках повседневной клинической практики. Большие массивы данных (БМД) из канцер-регистров становятся важным дополнением к методам клинического аудита качества онкологической помощи. На данном этапе, в случае радиационной онкологии, открываются новые пути к расширению массивов данных, предназначенных в том числе для мониторинга качества и безопасности медицинской деятельности, а также разработки эффективных информационных систем поддержки врачебных решений [4].

Целью работы является краткое обобщение новых тенденций в автоматизации этапов процессинга медицинской информации и перспектив использования науки о БМД в свете организации контроля качества и безопасности лучевой терапии в онкологической сети.

Материал и методы

Для поиска источников литературы были использованы базы данных PubMed (Medline) и eLibrary. В исследовании применяли тематический способ экстракции информации. В базах данных осуществлялись запросы по теме процессинга и применения

БМД для контроля качества и безопасности радиотерапии онкологических больных. В основном отбирались работы, опубликованные за последние 2–3 года. Всего было проанализировано около 20 публикаций.

Результаты

Организация автоматизированного сбора данных

Организация сбора высококачественных сведений о проводимом лечении и его результатах является значимым этапом процессинга БМД. Важным шагом в преодолении последующих проблем обработки данных и разработке действенных информационных систем следует считать стандартизацию переменных и процедур сбора сведений [5]. Необходима проектная разработка единой концепции по классификации, где единообразные определения описывают каждую переменную и все их отношения. В радиологии один из таких проектов реализуется в Италии с целью внедрения систем анализа гетерогенных данных по стереотаксической внешней лучевой терапии опухолей мозга. По результатам промежуточного этапа было выбрано более 130 переменных, характеризующих конкретный вид стереотаксической лучевой терапии, а также внедрено в исследование специальное программное обеспечение «BOA-Web, Beyond Ontology Awareness» [6], способствующее сбору стандартизованных показателей [6]. В других исследованиях также акцентируется внимание на необходимости сбора стандартных переменных в системе обращения БМД [5, 7].

В работе T.R. McNutt и соавт. [8] представлена систематизация сбора данных по радиотерапевтической практике путем категоризации информации по следующим структурным кластерам:

- 1) результаты клинического обследования;
- 2) регистрация и оценка сообщений пациентов об исходах лечения;
- 3) лабораторные исследования и морфологическая спецификация;
- 4) результаты визуализации;
- 5) регистрация программы лечения;
- 6) регистрация мероприятий по достижению контроля над симптомами и др.

Во многих странах уже хорошо налажена система электронной регистрации медицинских записей. Определенные категории данных могут собираться путем применения автоматизированных инструментов мобильного здравоохранения [9] и телемедицины [10]. Собираемые данные подлежат трансляции (переносу) в системы хранилища.

Организация хранения данных

Трансляция информации осуществляется в нескольких вариантах. Как правило, в базы данных информация поступает в преобразованном виде для хранения и быстрого доступа. Существуют как минимум две формы преобразования данных: преобразование первичных необработанных данных напрямую и создание производных переменных и характеристик, имеющих практическое значение, в том числе для мониторинга качества. Процессинг характеристик сопровождается проверкой правдоподобия, целостности и валидности показателей. Проверяются, например, программа проведенного лечения, регулярность сбора характеристик на протяжении всего периода наблюдения [8]. После первичной проверки информация поступает в основное хранилище.

В зависимости от категоризации, формата и назначения переменных данные в информационных хранилищах по радиационной онкологии (ИХР) могут делиться на пять категорий [11]:

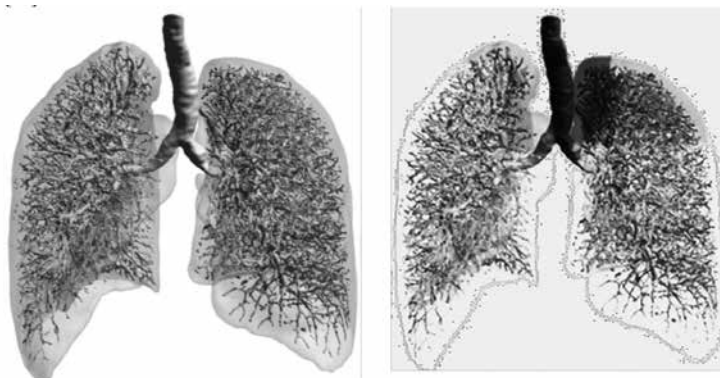
- 1) референсная база данных и связанные файлы;
- 2) данные ИХР, представленные по потоковому протоколу DICOM¹ [11–13];
- 3) данные о технике выполнения лучевой терапии и рабочих режимах радиотерапевтического аппарата;
- 4) записи электронных медицинских карт;
- 5) пользовательские отчеты о клинических характеристиках и лечении, сгенерированные на основе ИХР.

Для каждой категории данных разработаны автоматизированные системы контроля качества. Проверка целостности данных с соблюдением установленных стандартов имеет решающее значение для успеха аналитической обработки и может в дальнейшем способствовать реализации крупномасштабных проектов по совершенствованию «прозрачности» качества лучевой терапии, сравнению результатов лечения между различными радиотерапевтическими отделениями, ежегодной переоценке норм медицинской деятельности в отделениях лучевой терапии. Самыми распространенными стандартизированными системами, которые учитываются при создании информационных инструментов для радиотерапии, можно назвать SNOMED CT² и STCAE³ [8, 14].

Извлечение и аналитический процессинг

В процессе аналитической обработки БМД по радиологии возможно создание условий для улучшения контроля качества рабочих процедур организации лучевой терапии:

- а) приверженность выполнению клинических рекомендаций;



Возможности применения алгоритма «глубокого обучения» и автоматизации доступа к данным для детального анализа распределения лучевой нагрузки в повседневной клинической практике.

Слева — детальное изображение воздухоносных путей и сосудов легкого, выполненное с помощью автоматизированной компьютерной аннотации рутинного КТ-скана из системы регистрации и верификации. Справа — детализированные данные по распределению лучевой нагрузки, полученные путем наложения аннотированного КТ-скана на трехмерную модель распределения доз. Данные по лучевой нагрузке могут быть «привязаны» к показателям исходов, интегрированным в более крупные регистры.

Источники: адаптировано из Vogelius IR, et al., 2020 [20] и Ronneberger O, et al., 2015 [21]; the terms of the <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> License; <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7332210/>.

Results of applying the deep learning algorithm to analyze radiation exposure in real-life.

Left: CT scan from the registration and verification system annotated using the computer algorithm to depict the lung airways and vessels. Right: Detailed radiotherapy data obtained by overlaying an annotated CT scan with a 3-D dose – distribution model. Detailed exposure data may be linked to outcome measures integrated into larger registries.

Sources: adapted from Vogelius IR, et al., 2020 [20], Ronneberger O, et al., 2015 [21]; the terms of the <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> License; <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7332210/>.

- б) идентификация патологических очагов;
- в) определение полей (контуров) воздействия;
- г) планирование программ лечения, включая прогнозирование исходов и эффективности режимов лучевой терапии;
- д) непосредственное выполнение лучевой терапии;
- е) оценка спектра нежелательных явлений и достижение контроля над симптомами [15].

Аналитические системы обладают широкими возможностями и основаны на статистическом анализе, математическом моделировании, искусственном интеллекте и др. [5, 16, 17]. Например, созданы системы регистрации и одновременной верификации распределения доз, позволяющие пользователям взаимодействовать с базами данных через интерфейс прикладного программирования [18]. Эти автоматизированные элементы позволяют сообщать данные об объемах доз для доступных аннотированных областей тела при работе в системах планирования доз [18]. Интерфейс прикладного программирования также применяется для привязки распределения и объема доз при воздействии на легкие к данным в регистрах выживаемости с целью моделирования рисков и прогнозов [19].

Базы БМД улучшаются путем внедрения методов стандартизации оценок постлучевой токсичности и автоматизации топографической оценки лучевой нагрузки. В будущем ожидается совершенствование технологий детализации и контроля лучевого воздействия на органы. На рисунке приведен пример результатов автоматизации трехмерного анализа в рутинной клинической практике с детализацией структур (сосудов и воздухоносных путей) легкого [20].

Обсуждение

Технологии процессинга БМД могут применяться на всех этапах планирования и проведения лучевой терапии. На основе этих технологий возможно моделирование эффективных и безопасных программ лечения, а также рисков и прогнозов, касаю-

¹Digital Imaging and Communications in Medicine — отраслевой стандарт создания, хранения, передачи и визуализации медицинских изображений и документов обследованных пациентов.

²Systematized Nomenclature of Medicine — Clinical Terms, систематизированная медицинская номенклатура — клинические термины.

³Common Terminology Criteria for Adverse Events — общие критерии терминологии для неблагоприятных событий.

щихся развития нежелательных явлений и выживаемости пациентов. В то же время к качеству и целостности всех переменных должны предъявляться самые высокие требования.

Процедуры контроля качества лучевой терапии могут быть в определенной степени автоматизированы путем дальнейшего совершенствования программных инструментов анализа и сравнения характеристик проводимого лечения с аналогичными показателями других лечебных учреждений, а также цифровыми показателями минимальных норм/стандартов.

Заключение

Создание автоматизированных систем быстрого электронного уведомления и реагирования ответственных лиц в случае серьезных расхождений в актуальных показателях качества онкологической помощи позволит эффективно контролировать внутренние медицинские процессы. Значение технологий анализа БМД для организации внутреннего контроля качества и безопасности медицинской деятельности по профилю «онкология» со временем только возрастает.

ЛИТЕРАТУРА

1. Минаков С.Н., Левина Ю.В., Простов М.Ю. Популяционный раковый регистр. Функциональные возможности, задачи и существующие проблемы. *Злокачественные опухоли*. 2019; 9(1): 6–9. <https://doi.org/10.18027/2224-5057-2019-9-1-6-9>
2. Погонин А.В., Тяжелников А.А., Юмукян А.В. ЕМИАС – инструмент эффективного управления медицинскими учреждениями. *Здравоохранение*. 2015; (4): 52–7.
3. Meyer P., Noblet V., Mazzara C., Lallement A. Survey on deep learning for radiotherapy. *Comput. Biol. Med.* 2018; 98: 126–46. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2018.05.018>
4. Matuszak M.M., Fuller C.D., Yock T.I., Hess C.B., McNutt T., Jolly S., et al. Performance/outcomes data and physician process challenges for practical big data efforts in radiation oncology. *Med. Phys.* 2018; 45(10): e811–e9. <https://doi.org/10.1002/mp.13136>
5. Андреев Д.А., Хачанова Н.В., Степанова В.Н., Башлакова Е.Е., Евдошенко Е.П., Давыдовская М.В. Стандартизация моделирования прогрессирования хронических заболеваний. *Проблемы стандартизации в здравоохранении*. 2017; (9-10): 12–24. <https://doi.org/10.26347/1607-2502201709-10012-024>
6. Chiesa S., Tolu B., Longo S., Nardiello B., Capocchiano N.D., Rea F., et al. A new standardized data collection system for brain stereotactic external radiotherapy: the PRE.M.I.S.E project. *Future Sci. O.A.* 2020; 6(7): FSO596. <https://doi.org/10.2144/fsoa-2020-0015>
7. Андреев Д.А., Хачанова Н.В., Кокушкин К.А., Давыдовская М.В. Стандартизованные регистры пациентов с рассеянным склерозом – важный инструмент при переходе на ценностно-ориентированное здравоохранение. *Проблемы стандартизации в здравоохранении*. 2018; (3-4): 35–45. <https://doi.org/10.26347/1607-2502201803-04035-045>
8. McNutt T.R., Bowers M., Cheng Z., Han P., Hui X., Moore J., et al. Practical data collection and extraction for big data applications in radiotherapy. *Med. Phys.* 2018; 45(10): e863–e9. <https://doi.org/10.1002/mp.12817>
9. Hauth F., Bizu V., App R., Lautenbacher H., Tenev A., Bitzer M., et al. Electronic Patient-Reported Outcome Measures in Radiation Oncology: Initial Experience After Workflow Implementation. *JMIR mHealth uHealth*. 2019; 7(7): e12345. <https://doi.org/10.2196/12345>
10. Lewis G.D., Hatch S.S., Wiederhold L.R., Swanson T.A. Long-Term Institutional Experience With Telemedicine Services for Radiation Oncology: A Potential Model for Long-Term Utilization. *Adv. Radiat. Oncol.* 2020; 5(4): 780–2. <https://doi.org/10.1016/j.adro.2020.04.018>
11. Zhang B., Chen S., D'Souza W.D., Yi B. A systematic quality assurance framework for the upgrade of radiation oncology information systems. *Phys. Med.* 2020; 69: 28–35. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2019.11.024>

12. Clunie D., Hosseinzadeh D., Wintell M., De Mena D., Lajara N., Garcia-Rojo M., et al. Digital imaging and communications in medicine whole slide imaging connectathon at Digital Pathology Association Pathology Visions 2017. *J. Pathol. Inform.* 2018; 9: 6. https://doi.org/10.4103/jpi.jpi_1_18
13. Teng D., Kong J., Wang F. Scalable and flexible management of medical image big data. *Distrib. Parallel Databases*. 2019; 37(2): 235–50. <https://doi.org/10.1007/s10619-018-7230-8>
14. Nikiema J.N., Jouhet V., Mouglin F. Integrating cancer diagnosis terminologies based on logical definitions of SNOMED CT concepts. *J. Biomed. Inform.* 2017; 74: 46–58. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2017.08.013>
15. McNutt T.R., Moore K.L., Wu B., Wright J.L. Use of Big Data for Quality Assurance in Radiation Therapy. *Semin. Radiat. Oncol.* 2019; 29(4): 326–32. <https://doi.org/10.1016/j.semradonc.2019.05.006>
16. Киселев К.В., Ноева Е.А., Выборов О.Н., Зорин А.В., Потехина А.В., Осяева М.К. и др. Разработка алгоритма работы логического решателя интеллектуальной системы поддержки принятия врачебных решений для инструментальной диагностики стенокардии. *Медицинские технологии. Оценка и выбор*. 2019; 1(35): 32–42. <https://doi.org/10.31556/2219-0678.2019.35.1.032-042>
17. Метельская А.В., Камынина Н.Н. Развитие концепции “бережливой поликлиники”. *Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины*. 2020; 28(S): 785–90. <https://doi.org/10.32687/0869-866X-2020-28-s1-785-790>
18. Cai B., Altman M.B., Reynoso F., Garcia-Ramirez J., He A., Edward S.S., et al. Standardization and automation of quality assurance for high-dose-rate brachytherapy planning with application programming interface. *Brachytherapy*. 2019; 18(1): 108–114.e1. <https://doi.org/10.1016/j.brachy.2018.09.004>
19. Stervik L., Pettersson N., Scherman J., Behrens C.F., Ceberg C., Engelholm S., et al. Analysis of early respiratory-related mortality after radiation therapy of non-small-cell lung cancer: feasibility of automatic data extraction for dose-response studies. *Acta Oncol.* 2020; 59(6): 628–35. <https://doi.org/10.1080/0284186X.2020.1739331>
20. Vogelius I.R., Petersen J., Bentzen S.M. Harnessing data science to advance radiation oncology. *Mol. Oncol.* 2020; 14(7): 1514–28. <https://doi.org/10.1002/1878-0261.12685>
21. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: convolutional networks for biomedical image segmentation. In: Navab N., Hornegger J., Wells W., Frangi A., eds. *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015*. Cham: Springer International Publishing; 2015: 234–41. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4_28

REFERENCES

1. Minakov S.N., Levina Yu.V., Prostop M.Yu. Population-based cancer register. functionality, challenges, and existing problems. *Zlokachestvennye opukholi*. 2019; 9(1): 6–9. <https://doi.org/10.18027/2224-5057-2019-9-1-6-9> (in Russian)
2. Pogonin A.V., Tyazhel'nikov A.A., Yumukyan A.V. United Medical Information and Analytical System of Moscow (UMIAS) is a tool for effective management of medical institutions. *Zdravookhranenie*. 2015; (4): 52–7. (in Russian)
3. Meyer P., Noblet V., Mazzara C., Lallement A. Survey on deep learning for radiotherapy. *Comput. Biol. Med.* 2018; 98: 126–46. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2018.05.018>
4. Matuszak M.M., Fuller C.D., Yock T.I., Hess C.B., McNutt T., Jolly S., et al. Performance/outcomes data and physician process challenges for practical big data efforts in radiation oncology. *Med. Phys.* 2018; 45(10): e811–e9. <https://doi.org/10.1002/mp.13136>
5. Andreev D.A., Khachanova N.V., Stepanova V.N., Bashlakova E.E., Evdoshenko E.P., Davydovskaya M.V. Standardized modeling of the chronic disease progression (review). *Problemy standartizatsii v zdravookhranении*. 2017; (9-10): 12–24. <https://doi.org/10.26347/1607-2502201709-10012-024> (in Russian)

6. Chiesa S., Tolu B., Longo S., Nardiello B., Capocchiano N.D., Rea F., et al. A new standardized data collection system for brain stereotactic external radiotherapy: the PRE.M.I.S.E project. *Future Sci. O.A.* 2020; 6(7): FSO596. <https://doi.org/10.2144/fsoa-2020-0015>
7. Andreev D.A., Khachanova N.V., Kokushkin K.A., Davydovskaya M.V. Multiple sclerosis registries as a vital element in the transition to the value-based healthcare. *Problemy standartizatsii v zdravookhraneniі.* 2018; (3-4): 35–45. <https://doi.org/10.26347/1607-2502201803-04035-045> (in Russian)
8. McNutt T.R., Bowers M., Cheng Z., Han P., Hui X., Moore J., et al. Practical data collection and extraction for big data applications in radiotherapy. *Med. Phys.* 2018; 45(10): e863-e9. <https://doi.org/10.1002/mp.12817>
9. Hauth F., Bizu V., App R., Lautenbacher H., Tenev A., Bitzer M., et al. Electronic Patient-Reported Outcome Measures in Radiation Oncology: Initial Experience After Workflow Implementation. *JMIR mHealth uHealth.* 2019; 7(7): e12345. <https://doi.org/10.2196/12345>
10. Lewis G.D., Hatch S.S., Wiederhold L.R., Swanson T.A. Long-Term Institutional Experience With Telemedicine Services for Radiation Oncology: A Potential Model for Long-Term Utilization. *Adv. Radiat. Oncol.* 2020; 5(4): 780–2. <https://doi.org/10.1016/j.adro.2020.04.018>
11. Zhang B., Chen S., D'Souza W.D., Yi B. A systematic quality assurance framework for the upgrade of radiation oncology information systems. *Phys. Med.* 2020; 69: 28–35. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2019.11.024>
12. Clunie D., Hosseinzadeh D., Wintell M., De Mena D., Lajara N., Garcia-Rojo M., et al. Digital imaging and communications in medicine whole slide imaging connectathon at Digital Pathology Association Pathology Visions 2017. *J. Pathol. Inform.* 2018; 9: 6. https://doi.org/10.4103/jpi.jpi_1_18
13. Teng D., Kong J., Wang F. Scalable and flexible management of medical image big data. *Distrib. Parallel Databases.* 2019; 37(2): 235–50. <https://doi.org/10.1007/s10619-018-7230-8>
14. Nikiema J.N., Jouhet V., Mougín F. Integrating cancer diagnosis terminologies based on logical definitions of SNOMED CT concepts. *J. Biomed. Inform.* 2017; 74: 46–58. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2017.08.013>
15. McNutt T.R., Moore K.L., Wu B., Wright J.L. Use of Big Data for Quality Assurance in Radiation Therapy. *Semin. Radiat. Oncol.* 2019; 29(4): 326–32. <https://doi.org/10.1016/j.semradonc.2019.05.006>
16. Kiselev K.V., Noeva E.A., Vyborov O.N., Zorin A.V., Potekhina A.V., Osiyeva M.K., et al. Development of a reasoning solver algorithm for instrumental diagnostics of angina pectoris in intelligent clinical decision support system. *Meditinskiiye tekhnologii. Otsenka i vybor.* 2019; 1(35): 32–42. <https://doi.org/10.31556/2219-0678.2019.35.1.032-042> (in Russian)
17. Metel'skaya A.V., Kamynina N.N. Development of the concept of «lean polyclinics». *Problemy sotsial'noy gigieny, zdravookhraneniya i istorii meditsiny.* 2020; 28(S): 785–90. <https://doi.org/10.32687/0869-866X-2020-28-s1-785-790> (in Russian)
18. Cai B., Altman M.B., Reynoso F., Garcia-Ramirez J., He A., Edward S.S., et al. Standardization and automation of quality assurance for high-dose-rate brachytherapy planning with application programming interface. *Brachytherapy.* 2019; 18(1): 108–114.e1. <https://doi.org/10.1016/j.brachy.2018.09.004>
19. Stervik L., Pettersson N., Scherman J., Behrens C.F., Ceberg C., Engelholm S., et al. Analysis of early respiratory-related mortality after radiation therapy of non-small-cell lung cancer: feasibility of automatic data extraction for dose-response studies. *Acta Oncol.* 2020; 59(6): 628–35. <https://doi.org/10.1080/0284186X.2020.1739331>
20. Vogelius I.R., Petersen J., Bentzen S.M. Harnessing data science to advance radiation oncology. *Mol. Oncol.* 2020; 14(7): 1514–28. <https://doi.org/10.1002/1878-0261.12685>
21. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: convolutional networks for biomedical image segmentation. In: Navab N., Hornegger J., Wells W., Frangi A., eds. *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015*. Cham: Springer International Publishing; 2015: 234–41. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4_28