

УПРАВЛІННЯ ЦИФРОВИМИ ДАНИМИ В ПАТОЛОГІЇ

Л. Ю. Бабінцева

Національний університет охорони здоров'я України імені П. Л. Шупика

В усіх сферах людської діяльності активно відбуваються процеси цифровізації. Проаналізовано управління цифровими даними в сучасній патології, як одного з інформаційних середовищ, заснованих на цифрових зображеннях препаратів. Показано, що великі обсяги даних патології, які генеруються в клінічній практиці та в ході наукових досліджень, роблять актуальним завдання підвищення якості управління ними. Визначено, що управління сучасними цифровими даними в патології являється технологією, яка спрямована на надання персоналізованої та цільової медичної допомоги в даний час і найближчому майбутньому. За результатами дослідження зроблено висновки про тенденції управління цифровими даними в патології, що пов'язані з розвитком програмного та апаратного забезпечення цифровізації, зокрема інструментів аналізу зображень, емуляцією діагностичних процедур, управлінням великими об'ємами зображень високої роздільної здатності, а також впровадженням штучного інтелекту.

Ключові слова: біомедична інформатика, цифрова патологія, управління даними, аналіз зображень, великі дані, біомедична візуалізація.

DIGITAL DATA MANAGEMENT IN PATHOLOGY

L. Yu. Babintseva

Shupyk National University of Health Care of Ukraine

Background. Digitalization processes are actively taking place in all spheres of human activity, associated with the saturation of the physical world with electronic and digital devices, means, systems and the establishment of electronic and communication interaction between them with the help of digital technologies. One of the information environments based on digital images of drugs is digital pathology. An overview of digital data management trends in modern pathology was made. The purpose of the study: to provide insight and summarize information about digital data management in pathology.

Materials and methods. With the help of databases: Medline, Embase, PubMed, Web of Science, Cochrane Library, Cinahl etc., a theoretical analysis and generalization of information about modern digital data management in pathology, prospects for future research were carried out.

Results. Large amounts of pathology data generated in clinical practice and in the course of scientific research make the task of improving the quality of their management urgent. Modern digital data management in pathology represents a technology aimed at providing personalized and targeted healthcare now and in the near future. Advances in medical information technologies are turning large volumes of multidimensional pathology data into useful information to drive the development and implementation of new approaches to diagnosis, treatment, and prevention of complex diseases.

Conclusions. Trends in digital data management in pathology are related to the development of digitalization software and hardware, in particular image analysis tools, emulation of diagnostic procedures, management of large volumes of high-resolution images, as well as the implementation artificial intelligence.

Keywords: biomedical informatics, digital pathology, data management, image analysis, Big Date, biomedical visualization.

Вступ. Чергова хвиля інформаційної революції створила технологічну основу для подолання будь-яких відстаней при передаванні інформації та кардинального змінення способів її оброблення. В усіх сферах людської діяльності активно відбуваються процеси цифровізації, пов'язані з насиченням фізичного світу електронно-цифровими пристроями, засобами, системами та налагодженням електронно-комунікаційної взаємодії між ними за допомогою цифрових технологій. Відповідно до аналітичних звітів Давоського економічного форуму до цифрових технологій відносяться: Інтернет речей, роботизація та кіберсистеми, штучний інтелект, великі дані, безпаперові технології, адитивні технології (3D-друк), хмарні та туманні обчислення, безпілотні та мобільні технології, біометричні технології, квантові технології, технології ідентифікації, блокчейн тощо [24, 42]. Інтеграція цифрових технологій своєю чергою призводить до принципового змінення в досягненні цілей швидше, дешевше та з новою якістю.

Одним із інформаційних середовищ, заснованих на цифрових зображеннях препаратів, являється цифрова патологія [2, 3, 5]. Вона розглядається як частина віртуальної мікроскопії, що в результаті користується високоякісними цифровими копіями препаратів, які в подальшому можуть застосовуватись для проведення телемедичного консультування, архівування, аналізу, навчання тощо [1, 15, 28, 44]. Зрозумілі й переваги цифрової патології: ефективніше отримання зображень, підтримка патологів у клініці, наукових дослідженнях, освітньому процесі, а також відсутність ризику втрати чи пошкодження зразків.

За даними Асоціації цифрової патології, цифрова патологія описує створення, перегляд, управління, спільне використання, аналіз та інтерпретацію цифрових зображень предметного скла і включає особливості робочого процесу, унікальні для середовища цифрових зображень. Процес цифрового оброблення зображень складається з чотирьох пов'язаних етапів: отримання образу; зберігання зображень та управління ними; оброблення та редагування зображень; перегляд, передавання та їх спільне використання [16].

Ринок технологій цифрової патології невпинно зростає, але є ще проблеми, які необхідно подолати, перш ніж цифрова патологія стане повсюдною. Так, залишаються невирішеними або вирішеними частково питання гармонізованих стандартів; точних стандартів візуалізації; кваліфікації персоналу лабораторій; єдиних критеріїв валідації для клінічного застосування; недоліків узагальнення алгоритму штучного інтелекту тощо [20, 41]. До поточних труднощів також відносимо управління цифровими даними, що викликані головним чином їх різноманітністю та обсягами, які стрімко зростають. Це створює потребу в ефективних інструментах управління.

Мета дослідження: проаналізувати та узагальнити процеси управління цифровими даними в сучасній патології.

Матеріал і методи дослідження. За допомогою баз даних: MEDLINE, Embase, PubMed, Web of Science, Кокрейнівська бібліотека, CINAHL тощо проведено теоретичний аналіз та узагальнення відомостей про сучасне управління цифровими даними в патології, перспективи майбутніх досліджень.

Результати та їх обговорення. Розвиток інформаційних технологій (ІТ) пропонує значні можливості в діагностичних і дослідницьких застосуваннях на основі зображень. З ІТ пов'язані питання переходу на цифрові технології, включаючи швидкість мережі, безпеку пацієнтів, розмір сховища тощо. Хоча досягнення супроводжуються певними проблемами в управлінні та зберіганні даних, вони також відкривають нові можливості для покращення догляду за пацієнтами шляхом оптимізації та стандартизації діагностичних підходів і розкриття механізмів захворювання [9, 12, 13, 15]. Управління та аналіз великих обсягів даних (Big Data) у патології – зразків тканин, клітин і біологічних рідин – відіграють вирішальне значення в реалізації можливостей персоналізованої медицини [32, 36]. Отже, підтримка візуалізації та інформатика патології стають важливими для медичних досліджень, діагностики, визначення лікувальної стратегії.

Нагадаємо, що управління даними включає процеси організації (збирання, зберігання, використання) та доступу до них для підвищення продуктивності, ефективності та прийняття рішень. Відповідно діяльність з управління даними спрямована на створення різноманітних даних; їх зберігання в локальній системі та різних хмарах; забезпечення оперативного доступу (в тому числі спільного) та відновлення при можливих збоях системи; використання даних у додатках і алгоритмах; забезпечення конфіденційності та безпеки даних; архівацію та знищення даних відповідно до графіків зберігання і нормативних вимог. Реалізується управління даними через інфраструктуру технологічних ресурсів і керуючу структуру, що визначає адміністративні процеси, які використовуються протягом життєвого циклу даних [18, 45]. Зауважимо важливість конструкції інфраструктури при використанні електронних медичних записів, похідних аналітичних результатів зображень тощо.

Найбільше впровадження цифрової патології помітне у трьох основних напрямках: гістологічна лабораторія, діагностика та дослідження (комп'ютерна патологія) [4, 8-10, 22, 27, 33]. Підкреслимо, що візуалізація всього предметного скла має відмінні від інших медичних зображень характеристики (наприклад, ніж у радіології). Зазвичай розрізняють чотири складові процесу візуалізації: 1) створення зображення; 2) визначення характеристик зображення; 3) діагностика зображення; 4) можливості (функції), отримані із зображення. Зображення генерується з предметного скла тканини, як правило, хірургічної резекції або біопсії (що нарізають, фарбують і фіксують на склі відповідно до стандартизованого протоколу). Останнім часом багато лабораторій почали відстежувати підготовку предметних стекол як додатковий спосіб нагляду за якістю зображень [17, 23, 29]. Збір даних може швидко збільшуватися, оскільки в стандартній цифровій патологічній лабораторії виробництво слайдів може перевищувати 500/день, що призводить до щоденного необхідного зберігання сотень гігабайт зображень, відповідно необхідне їх правильне збереження в системі для подальшого архівування та інтелектуального пошуку [6, 28, 40].

Окрім об'ємів цифрових даних у патології проблемними являються питання швидкості їх збирання, масштабу згенерованих даних і різноманітності форматів зображень. З урахуванням цих особливостей упроваджуються численні протоколи для управління та обміном медичною інформацією/даними, включно з комунікацією цифрових зображень в охороні здоров'я (DICOM, HL7, [14, 35, 37, 39]); методи встановлення *lingua franca* для термінології в обміні даними, включаючи імена та коди ідентифікаторів логічного спостереження (LOINC [26]) та Уніфікована мова медичних систем (UMLS). Зауважимо, що патологічна візуалізація висунула вимоги, пов'язані з управлінням і обміном великими зображеннями та виконанням складних запитів до колекцій зображень і похідних даних. Тому розроблення стандартів для візуалізації предметних стекол, хоча й відносно новий напрям, але швидко розвивається. Наприклад, у проєкті Open Microscopy Environment розроблено модель даних і систему управління, що можна використовувати для представлення, обміну та управління даними мікроскопічних зображень і метаданими [43]. Робоча група DICOM із патології нещодавно розробила додаток швидкого пошуку та перегляду для визначення мозаїчного зображення з багаторазовою роздільною здатністю. Зображення на основі DICOM пропонує переваги універсального стандарту, що також сумісний із існуючими системами архівації зображень і зв'язку (PACS) [14].

Отже, значна частина сучасних досліджень біомедичної інформатики в області патології спрямована на процеси пошуку зображень на основі їх вмісту, метаданих і методів машинного навчання; на техніку пошуку зображень, засновану на автоматично вилучених характеристиках візуального зображення. Відповідно медичні інформаційні системи з такими функціями будуть корисними для діагностики, освіти та досліджень.

Одним із вирішальних чинників підвищення ефективності та якості візуалізації усього предметного скла в патології являється розуміння потреб інфраструктури у різних аспектах цифрового робочого процесу, тому визначимо основні складові процесу управління цифровими даними:

1. Забезпечення безпеки даних. Безпека даних складається з двох основних частин: захисту від витоку даних і захисту під час оброблення персональних даних пацієнтів (конфіденційність). У більшості країн світу питання, пов'язані з персональними даними, врегульовано національним законодавством. Зокрема, Загальний регламент про захист даних 2016/679 Європейського Парламенту та Ради Європейського Союзу (GDPR, прийнятий 14 квітня 2016 р., <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/679/2016-05-04>) регламентує такі ключові принципи управління та оброблення персональних даних: законність, справедливість, прозорість; обмеженість метою оброблення; мінімізація даних; точність; обмеження зберігання даних; цілісність та конфіденційність/безпека; підзвітність. Отже, володільцю даних слід переконатися, що система/платформа для зберігання даних використовує їх надійне шифрування. Також слід переконатися про наявні рівні/привілеї доступу до даних для користувачів.

2. Збереження та спільне використання (доступ) даних. Візуалізація всього предметного скла дає зображення тканин із надзвичайно високою роздільною здатністю, що корисно для анутовання та аналізу, але створює проблеми для зберігання даних. Сканери цілих слайдів можуть виробляти терабайти та/або петабайти даних протягом року [7]. Безумовно, існує кілька різних варіантів для оброблення та зберігання цих даних. Найпростіший спосіб – використання жорстких дисків або знімних дисків, що також пов'язано із забезпеченням безпеки даних. Проте, вони можуть бути ненадійними й ускладнювати їх спільне використання чи обмін даними. Ще один спосіб – створення в локальній мережі закладу репозиторію, що дозволить швидко отримувати доступ до даних і легко обмінюватись ними з членами мережі. За допомогою нових технологій репозиторії управління даними можна використовувати спільно, що стирає різницю між ними. Загальний шар запитів, що охоплює різноманітні системи зберігання, дає можливість звертатися до даних незалежно від того, де вони розміщуються. Проте репозиторій значно утруднює використання даних за межами

мережі та потребуватиме збільшення простору на сервері.

Наступною можливістю являється використання хмарного сховища, що має необмежений простір. Найбільшою перевагою хмарного сховища вважається простота обміну даними по всьому світу. Хоча слід пам'ятати про об'єми зображень та відповідно можливу повільність роботи з хмарним сховищем.

Кращим способом є гібридна хмара, що включає завантаження даних безпосередньо в одне мережеве сховище корпоративного рівня, резервне копіювання якого потім виконується у хмарі. Гібридна хмарна система забезпечує нескінченне сховище та можливості спільної роботи, а також високу швидкість локального доступу, що пропонує локальна мережа.

3. Обмін даними та співпраця. Зрозуміло, що пандемія COVID-19 значно збільшила потребу в інструментах віддаленої співпраці. Також значного розповсюдження отримала телепатологія – використання телекомунікацій для передавання зображень даних патології між лабораторіями та іншими установами для діагностичних, дослідницьких і освітніх цілей [28, 40]. З точки зору лабораторних робочих процесів телепатологія забезпечує практичну перевагу, оскільки не потребує фізичного транспортування та зберігання предметного скла між місцями.

Для реалізації кращого обміну даними та співпраці закладів система управління даними повинна мати функцію розширення доступу користувачів за необхідності. Однак, працюючи з кількома користувачами обов'язково слід пам'ятати про цілісність цих даних. Тобто система повинна реєструвати взаємодії користувача протягом життєвого циклу цифрового слайда (файлу) для запобігання можливій фальсифікації даних.

В останні роки запропоновано достатньо підходів до структури комп'ютерних систем кількісного аналізу для оцінювання тканин, візуальної підтримки робочого процесу патологів, ядерної морфології тощо. Проте для вирішення завдань у цифровій патології обрана система/платформа має забезпечувати такі функції: аналіз спеціально

для зображень; можливість інтеграції системи з робочими процесами в лабораторії та підключення сканеру до масштабованого безпечного сховища в хмарі; безпечне управління цифровими даними; можливість синхронізації даних тощо. Слід також урахувати особливості управління великими даними (якими є зображення в патології), а саме: робота з даними різних типів та їх перетворення для подальшого використання (інтеграція великих даних); ефективно, надійне та безпечне зберігання даних у сховищі чи озері даних, а також їх оброблення з використанням об'єктної системи зберігання (безпосереднє управління великими даними); отримання корисної інформації за допомогою інструментів аналітики, а також створення моделей за допомогою технологій машинного навчання та візуалізації на основі штучного інтелекту, що дає можливість забезпечити кількісну об'єктивну підтримку, покращуючи клінічні робочі процеси та збагачуючи діагностичні можливості (аналіз великих даних).

Зазначені функції дозволять патологу зосередитися на завданнях, пов'язаних із управлінням отриманою інформацією/даними, та аналізі профілю пацієнта разом із іншими джерелами даних (наприклад, електронними медичними записами, геномними даними, радіологічними звітами, молекулярним профілюванням).

Отже, визначимо основні переваги цифрової патології, пов'язані з реалізацією процесів управління даними та з урахуванням напрямів діяльності патолога:

1. Ефективність і вдосконалення діяльності (робочого процесу): характеризується гнучкістю та швидкістю передавання/отримання даних. Цифрові технології дозволяють вчасно перерозподіляти робоче навантаження і таким чином ефективно використовувати наявні ресурси. Зменшити час на пошук, архівування, відстеження зображень і діагностичної інформації, а також обмін даними та їх оброблення.

2. Врахування особливостей роботи патологів: збільшення привабливості професії. Робота з цифровими даними сприяє урізноманітненню умов праці та графіку робочого часу, пристосовуванню

та знаходженню балансу робочого навантаження, відповідно підвищуючи продуктивність праці.

3. Якість надання послуг і покращення безпеки пацієнтів: більш швидкий доступ до діагностики та скорочення часу виконання процедури; співпраця спеціалістів і покращений обмін інформацією; підвищення достовірності діагностики та вчасне призначення необхідного лікування. Безпаперове (на яке не впливають фізичні фактори та крихкість транспортування скляних препаратів) передавання цифрових даних зменшує ймовірність помилки спеціаліста.

4. Розвиток технологій, перш за все пов'язаний із штучним інтелектом: зменшення часу оброблення даних; індивідуалізований робочий процес для патолога; зменшення додаткового навантаження на персонал; покращена кількісна оцінка та краща стандартизація процесів/критеріїв, що потенційно пов'язано з якістю послуг і кращим результатом для пацієнта; за рахунок машинного навчання зрозуміліші інтерпретації даних/інформації, продуктивність праці; оптимізація взаємодії/співпраці спеціалістів.

5. Цифрова освіта патологів [11, 25, 30, 31, 34]: становлення та розвиток нового наукового і навчального напрямку/дисципліни «комп'ютерна патологія» або «патологічна інформатика». У системі освіти запропоноване сучасне програмне забезпечення дозволяє реалізувати трансдисциплінарний підхід і вирішити ряд завдань, пов'язаних із навчанням і атестацією спеціалістів-патологів. Слід також звернути увагу на низку освітніх додатків [6], що дозволяють навчатися на більш широкому спектрі тематичних досліджень.

Не зважаючи на наявність певних труднощів, зазначені переваги, дозволяють заглянути в майбутнє цифрової патології [16, 19, 20, 27, 28, 32]. Тенденції управління цифровими даними в патології пов'язані з розвитком програмного та апаратного забезпечення цифровізації, зокрема інструментів аналізу зображень (збільшення пропускну здатності та зменшення варіативності), емуляції діагностичної процедури, управління значними об'ємами зображень високої роздільної здатності, взаємопов'язаними конвеєрами аналізу

та запитів до безлічі мікроскопічних об'єктів і їхніх характеристик. Інтеграція реєстрів пацієнтів, інформаційних систем закладів охорони здоров'я та цифрових репозиторіїв патології забезпечить пул, у якому можна працювати із зображеннями та молекулярними даними, що дозволить клініцистам і вченим вивчати біологічні характеристики різних когорт суб'єктів для кращої персоналізації діагностики та лікування.

Висновки. 1. Великі обсяги даних патології, що генеруються в клінічній практиці та в ході наукових досліджень, роблять актуальним завдання підвищення якості управління ними, адже сьогодні ключовою стає не проблема збору, оброблення та зберігання, а забезпечення ефективного пошуку, аналізу та повторного використання даних.

Література.

1. A pathologist's odyssey / Karnovsky M. J. // *Annu Rev Pathol.* – 2006. – Vol. 1. – P. 1–22.
2. A systematic analysis of discordant diagnoses in digital pathology compared with light microscopy / Williams B. J., DaCosta P., Goacher E., Treanor D. // *Archives of Pathology & Laboratory Medicine.* – 2017. – Vol. 141, № 12. – P. 1712–1718.
3. Advanced algorithmic approaches to medical image segmentation / Comaniciu D., Meer P. / In: *State of The Art Applications in Cardiology, Neurology, Mammography and Pathology.* – New York : Springer-Verlag, 2002. – 663 p. (P. 541–558).
4. An integrative approach for in silico glioma research / Cooper L. A., Kong J., Gutman D. A., Wang F. et al. // *IEEE Trans Biomed Eng.* – 2010. – Vol. 57 (10). – P. 2617–2621.
5. Can digital pathology result in cost savings? A financial projection for digital pathology implementation of a large integrated health care organization / Ahlers H. J., Stratman C. et al. // *J Pathol Inform.* – 2014. – Vol. 5. – P. 33.
6. CAP – transforming pathologists. – 2011. [Online]. – Режим доступу: <http://www.cap.org/apps/docs/membership/transformation/new/index.html>.
2. Управління сучасними цифровими даними в патології представляє технологію, спрямовану на надання персоналізованої та цільової медичної допомоги в даний час і найближчому майбутньому.
3. Прогрес у медичних інформаційних технологіях перетворює великі обсяги багатовимірних даних патології у корисну інформацію для стимулювання розроблення та впровадження нових підходів до діагностики, лікування та запобігання складних захворювань.
4. Тенденції управління цифровими даними в патології пов'язані з розвитком програмного та апаратного забезпечення цифровізації, зокрема інструментів аналізу зображень, емуляції діагностичної процедури, управлінням тисячами зображень високої роздільної здатності, а також впровадженням штучного інтелекту.
7. Charité Universitätsmedizin Berlin. European Scanner Contest. – 2011. [Online]. – Режим доступу: <http://scanner-contest.charite.de>.
8. Clinical-grade computational pathology using weakly supervised deep learning on whole slide images / Campanella G. et al. // *Nature medicine.* – 2019. – Vol. 25 (8). – P. 1301–1309.
9. Computer-aided prognosis: predicting patient and disease outcome via quantitative fusion of multi-scale, multi-modal data / Madabhushi A., Agner S., Basavanahally A., Doyle S., Lee G. // *Comput Med Imaging Graphics.* – 2011. – Vol. 35 (7–8). – P. 506–514.
10. Computerized pathological image analysis for neuroblastoma prognosis / Gurcan M. N., Kong J., Sertel O. et al. // *Proc AMIA Annu Symp.* – 2007. – P. 304–308. – Режим доступу: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2655895/>.
11. Core content for the subspecialty of clinical informatics / Gardner R. M., Overhage J. M., Steen E. B. et al. // *J Amer Med Inf Assoc.* – 2009. – Vol. 16 (2). – P. 153–157.

12. Critical comparison of 31 commercially available digital slide systems in pathology / Rojo M. G., Garcia G. B., Mateos C. P., Garcia J. G., Vicente M. C. // *Int J Surg Pathol.* – 2006. – Vol. 14 (4). – P. 285–305.
13. Current state of the regulatory trajectory for whole slide imaging devices in the USA / Abels E., Pantanowitz L. // *Journal of pathology informatics.* – 2017. – Vol. 8. – P. 23.
14. DICOM. Digital imaging and communications in medicine. – 2011. [Online]. – Режим доступу: <http://medical.nema.org/>.
15. Digital pathology: data-intensive frontier in medical imaging: health-information sharing, specifically of digital pathology, is the subject of this paper which discusses how sharing the rich images in pathology can stretch the capabilities of all otherwise well-practiced disciplines / Cooper L. A., Carter A. B., Farris A. B., Wang F. // *Proc IEEE Inst Electr Electron Eng.* – 2012. – Vol. 100 (4). – P. 991–1003.
16. Digital pathology: current status and future perspectives / Al-Jana B. S., Huisman A., Van Diest P. J. // *Histopathology.* – 2012. – Vol. 61 (1). – P. 1–9.
17. Evaluating the benefits of digital pathology implementation: time savings in laboratory logistics / Baidoshvili A., Bucur A., Van Leeuwen J. et al. // *Histopathology.* – 2018. – Vol. 73 (5). – P. 784–794.
18. Існуючі стратегії, тенденції та значення форм представлення даних для узагальнення наукових досліджень, управління проектами та оформлення документації по грантам: монографія / О. П. Мінцер, Л. Ю. Бабінцева. – К.: ТОВ «НВП «Інтерсервіс», 2022. – 54 с. – ISBN 978-966-999-308-3.
19. Externalities of lean implementation in medical laboratories. Process optimization vs. adaptation and flexibility for the future / Apostu S. A., Vasile V., Veres C. // *Int J Environ Res Public Health.* – 2021. – Vol. 18 (23). – P. 12309.
20. Future-proofing pathology part 2: building a business case for digital pathology / Williams B. J., Bottoms D., Clark D. et al. // *Journal of Clinical Pathology.* – 2019. – Vol. 72 (3). – P. 198–205.
21. Health workforce. – World Health Organization, 2019. [Online]. – Режим доступу: https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_1.
22. Histopathological image analysis: a review / Gurcan M. N., Boucheron L. E., Can A. et al. // *IEEE Rev Biomed Eng.* – 2009. – Vol. 2. – P. 147–171.
23. ImageMiner: a software system for comparative analysis of tissue microarrays using content-based image retrieval, high-performance computing, and grid technology / Foran D. J., Yang L., Chen W., Hu J. et al. // *J Amer Med Inf Assoc.* – 2011. – Vol. 18 (4). – P. 403–415.
24. Industry 4.0 Digitalisation for productivity and growth. European Parliamentary Research Service / R. Davies. – European Union, 2015. – Режим доступу: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568337/EPRS_BRI\(2015\)568337_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568337/EPRS_BRI(2015)568337_EN.pdf).
25. Informatics training in pathology residency programs: proposed learning objectives and skill sets for the new millennium / Henricks W. H., Boyer P. J., Harrison J. H. et al. // *Arch Pathol Lab Med.* – 2003. – Vol. 127 (8). – P. 1009–1018.
26. LOINC, a universal standard for identifying laboratory observations: A 5-year update / McDonald C. J., Huff S. M., Suico J. G., Hill G. et al. // *Clin Chem.* – 2003. – Vol. 49 (4). – P. 624–633.
27. New trends of emerging technologies in digital pathology / Bueno G., Fernández-Carrobles M. M., Deniz O., García-Rojo M. // *Pathobiology.* – 2016. – Vol. 83 (2–3). – P. 61–69.
28. Overview of telepathology, virtual microscopy, and whole slide imaging: Prospects for the future / Weinstein R. S., Graham A. R., Richter L. C., Barker G. P. et al. // *Human Pathol.* – 2009. – Vol. 40 (8). – P. 1057–1069.
29. Pathology analytic imaging standards / Wang F. – Wiki. – 2011. [Online]. – Режим доступу: <https://web.cci.emory.edu/confluence/display/PAIS/>.
30. Pathology informatics education during the COVID-19 pandemic at memorial sloan kettering Cancer center / Kim D., Hanna M. G., Vanderbilt C., Sirintrapun S. J. // *Acta Med Acad.* – 2021. – Vol. 50 (1). – P. 136–142.

31. Pathology informatics questions and answers from the University of Pittsburgh pathology residency informatics rotation / Harrison J. H., Jr. // *Arch Pathol Lab Med.* – 2004. – Vol. 128 (1). – P. 71–83.

32. Practicing pathology in the era of big data and personalized medicine / Gu J., Taylor C. R. // *Appl Immunohistochem Mol Morphol.* – 2014. – Vol. 22 (1). – P. 1–9.

33. Primary histologic diagnosis using automated whole slide imaging: A validation study / Gilbertson J. R., Ho J., Anthony L. et al. // *BMC Clin Pathol.* – 2006. – Vol. 6. – P. 4.

34. Program requirements for fellowship education in the subspecialty of clinical informatics / Safran C., Shabot M. M., Munger B. S. et al. // *J Amer Med Inf Assoc.* – 2009. – Vol. 16 (2). – P. 158–616.

35. Recent advances in standards for collaborative digital anatomic pathology / Daniel C., Macary F., García Rojo M., Klossa J. et al. // *Diagn Pathol.* – 2011. – Vol. 6 (Suppl 1). – P. S17.

36. Royal College of Pathologists. Best practice recommendations for digital pathology. – 2018. – Режим доступу: <https://www.rcpath.org/static/f465d1b3-797b-4297-b7fedc00b4d77e51/Best-practice-recommendations-for-implementing-digital-pathology.pdf>.

37. Segregation of an intravenously injected protein by droplets of the cells of rat kidneys / Straus W. // *J Biophys Biochem Cytol.* – 1957. – Vol. 3 (6). – P. 1037–1040.

38. Simple quantification of multiplexed quantum dot staining in clinical tissue samples / Caldwell M. L., Moffitt R. A., Liu J. et al. // *Proc IEEE Conf Eng Med Biol Soc.* – 2008. – P. 1907–1910.

References.

1. Karnovsky, M. J. (2006). A pathologist's odyssey. *Annu Rev Pathol.*, 1, 1–22.

2. Williams, B. J., DaCosta, P., Goacher, E., Treanor, D. (2017). A Systematic Analysis of Discordant Diagnoses in Digital Pathology Compared with Light Microscopy. *Archives of Pathology & Laboratory Medicine*, 141, 12, 1712–1718.

3. Comaniciu, D., Meer, P. (2002). Advanced Algorithmic Approaches to Medical Image Segmentation. In: *State of The Art Applications in*

39. Standardizing the use of whole slide images in digital pathology / Daniel C., Rojo M. G., Klossa J., Della Mea V. et al. // *Comput Med Imaging Graphics.* – 2011. – Vol. 35 (7–8). – P. 496–505.

40. Telepathology for patient care: What am I getting myself into? / Williams S., Henricks W. H., Becich M. J., Toscano M., Carter A. B. // *Adv Anatom Pathol.* – 2010. – Vol. 17 (2). – P. 130–149.

41. The diagnostic concordance of whole slide imaging and light microscopy: a systematic review / Goacher E., Randell R., Williams B. J., Treanor D. // *Archives of Pathology & Laboratory Medicine.* – 2017. – Vol. 141, № 1. – P. 151–161.

42. The Fourth Industrial Revolution. What it means and how to respond / Schwab K. // *Foreign Affairs.* – 2015. – Режим доступу: <https://www.foreignaffairs.com/world/fourth-industrial-revolution>.

43. The Open Microscopy Environment (OME) data model and XML file: Open tools for informatics and quantitative analysis in biological imaging / Goldberg I. G., Allan C., Burel J. M., Creager D. et al. // *Genome Biol.* – 2005. – Vol. 6 (5). – P. R47.

44. Whole-slide imaging digital pathology as a platform for teleconsultation: A pilot study using paired subspecialist correlations / Wilbur D. C., Madi K., Colvin R. B. et al. // *Arch Pathol Lab Med.* – 2009. – Vol. 133 (12). – P. 1949–1953.

45. Нові тенденції розвитку систем представлення та управління даними. аналітичний погляд / Мінцер О. П., Бабінцева Л. Ю. // *Медична інформатика та інженерія.* – 2022. – № 1-2 (57-58). – С. 5–13.

Cardiology, Neurology, Mammography and Pathology. New York : Springer-Verlag, 541–558.

4. Cooper, L. A., Kong, J., Gutman, D. A., Wang, F. et al. (2010). An integrative approach for in silico glioma research. *IEEE Trans Biomed Eng.*, 57 (10), 2617–2621.

5. Ahlers, H. J., Stratman, C. et al. (2014). Can digital pathology result in cost savings? A financial projection for digital pathology implementation of

a large integrated health care organization. *J Pathol Inform.*, 5, 33.

6. CAP – Transforming Pathologists (2011). Available from: <http://www.cap.org/apps/docs/membership/transformation/new/index.html>.

7. Charité Universitätsmedizin Berlin. European Scanner Contest (2011). Available from: <http://scanner-contest.charite.de>.

8. Campanella, G. et al. (2019). Clinical-grade computational pathology using weakly supervised deep learning on whole slide images. *Nature medicine*, 25 (8), 1301-1309.

9. Madabhushi, A., Agner, S., Basavanthally, A., Doyle, S., Lee, G. (2011). Computer-aided prognosis: Predicting patient and disease outcome via quantitative fusion of multi-scale, multi-modal data. *Comput Med Imaging Graphics*, 35 (7–8), 506–514.

10. Gurcan, M. N., Kong, J., Sertel, O. et al. (2007). Computerized pathological image analysis for neuroblastoma prognosis. *Proc AMIA Annu Symp.*, 304–308. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2655895/>.

11. Gardner, R. M., Overhage, J. M., Steen, E. B. et al. (2009). Core content for the subspecialty of clinical informatics. *J Amer Med Inf Assoc.*, 16 (2), 153–157.

12. Rojo, M. G., Garcia, G. B., Mateos, C. P., Garcia, J. G., Vicente, M. C. (2006). Critical comparison of 31 commercially available digital slide systems in pathology. *Int J Surg Pathol.*, 14 (4), 285–305.

13. Abels, E., Pantanowitz, L. (2017). Current State of the Regulatory Trajectory for Whole Slide Imaging Devices in the USA. *Journal of pathology informatics*, 8, 23.

14. DICOM. Digital imaging and communications in medicine (2011). Available from: <http://medical.nema.org/>.

15. Cooper, L. A., Carter, A. B., Farris, A. B., Wang, F. (2012). Digital Pathology: Data-Intensive Frontier in Medical Imaging: Health-information sharing, specifically of digital pathology, is the subject of this paper which discusses how sharing the rich images in pathology can stretch the capabilities of all otherwise well-practiced disciplines. *Proc IEEE Inst Electr Electron Eng.*, 100 (4), 991–1003. doi: 10.1109/JPROC.2011.2182074.

16. Al-Jana, B. S., Huisman, A., Van Diest, P. J. (2012). Digital pathology: current status and future perspectives. *Histopathology*, 61 (1), 1–9.

17. Baidoshvili, A., Bucur, A., Van Leeuwen, J. et al. (2018). Evaluating the benefits of digital pathology implementation: time savings in laboratory logistics. *Histopathology*, 73 (5), 784–794.

18. Mintser, O. P., Babintseva, L. Yu. (2022). Existing strategies, trends and significance of data presentation forms for the generalization of scientific research, project management and grant documentation design. K.: LLC «NVP «Interservice»». ISBN 978-966-999-308-3. [In Ukrainian].

19. Apostu, S. A., Vasile, V., Veres, C. (2021). Externalities of Lean Implementation in Medical Laboratories. Process Optimization vs. Adaptation and Flexibility for the Future. *Int J Environ Res Public Health*, 18 (23), 12309.

20. Williams, B. J., Bottoms, D., Clark, D. et al. (2019). Future-proofing pathology part 2: building a business case for digital pathology. *Journal of Clinical Pathology*, 72 (3), 198–205.

21. Health workforce (2019). World Health Organization. Available from: https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_1.

22. Gurcan, M. N., Boucheron, L. E., Can, A. et al. (2009). Histopathological Image Analysis: A Review. *IEEE Rev Biomed Eng.*, 2, 147–171.

23. Foran, D. J., Yang, L., Chen, W., Hu, J. et al. (2011). ImageMiner: A software system for comparative analysis of tissue microarrays using content-based image retrieval, high-performance computing, and grid technology. *J Amer Med Inf Assoc.*, 18 (4), 403–415.

24. Davies, R. (2015). Industry 4.0 Digitalisation for productivity and growth. European Parliamentary Research Service. European Union. Available from: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568337/EPRS_BRI\(2015\)568337_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568337/EPRS_BRI(2015)568337_EN.pdf).

25. Henricks, W. H., Boyer, P. J., Harrison, J. H. et al. (2003). Informatics training in pathology residency programs: Proposed learning objectives and skill sets for the new millennium. *Arch Pathol Lab Med.*, 127 (8), 1009–1018.

26. McDonald, C. J., Huff, S. M., Suico, J. G., Hill, G. et al. (2003). LOINC, a universal standard for identifying laboratory observations: A 5-year update. *Clin Chem.*, 49 (4), 624–633.
27. Bueno, G., Fernández-Carrobles, M. M., Deniz, O., García-Rojo, M. (2016). New Trends of Emerging Technologies in Digital Pathology. *Pathobiology*, 83 (2–3), 61–69.
28. Weinstein, R. S., Graham, A. R., Richter, L. C., Barker, G. P. et al. (2009). Overview of telepathology, virtual microscopy, and whole slide imaging: Prospects for the future. *Human Pathol.*, 40 (8), 1057–1069.
29. Wang, F. (2011). Pathology Analytic Imaging Standards. Available from: <https://web.cci.emory.edu/confluence/display/PAIS/>.
30. Kim, D., Hanna, M. G., Vanderbilt, C., Sirintrapun, S. J. (2021). Pathology informatics education during the COVID-19 Pandemic at Memorial Sloan Kettering Cancer Center. *Acta Med Acad.*, 50 (1), 136–142.
31. Harrison, J. H., Jr. (2004). Pathology informatics questions and answers from the University of Pittsburgh pathology residency informatics rotation. *Arch Pathol Lab Med.*, 128 (1), 71–83.
32. Gu, J., Taylor, C. R. (2014). Practicing pathology in the era of big data and personalized medicine. *Appl Immunohistochem Mol Morphol.*, 22 (1), 1–9.
33. Gilbertson, J. R., Ho, J., Anthony, L. et al. (2006). Primary histologic diagnosis using automated whole slide imaging: A validation study. *BMC Clin Pathol.*, 6, 4.
34. Safran, C., Shabot, M. M., Munger, B. S. et al. (2009). Program requirements for fellowship education in the subspecialty of clinical informatics. *J Amer Med Inf Assoc.*, 16 (2), 158–616.
35. Daniel, C., Macary, F., García Rojo, M., Klossa, J. et al. (2011). Recent advances in standards for collaborative digital anatomic pathology. *Diagn Pathol.*, 6 (1), S17.
36. Royal College of Pathologists. Best practice recommendations for digital pathology (2018). Available from: <https://www.rcpath.org/static/f465d1b3-797b-4297-b7fedc00b4d77e51/Best-practice-recommendations-for-implementing-digital-pathology.pdf>.
37. Straus, W. (1957). Segregation of an intravenously injected protein by droplets of the cells of rat kidneys. *J Biophys Biochem Cytol.*, 3 (6), 1037–1040.
38. Caldwell, M. L., Moffitt, R. A., Liu, J. et al. (2008). Simple quantification of multiplexed quantum dot staining in clinical tissue samples. *Proc IEEE Conf Eng Med Biol Soc.*, 1907–1910.
39. Daniel, C., Rojo, M. G., Klossa, J., Della Mea, V. et al. (2011). Standardizing the use of whole slide images in digital pathology. *Comput Med Imaging Graphics*, 35 (7–8), 496–505.
40. Williams, S., Henricks, W. H., Becich, M. J., Toscano, M., Carter, A. B. (2010). Telepathology for patient care: What am I getting myself into? *Adv Anatom Pathol.*, 17 (2), 130–149.
41. Goacher, E., Randell, R., Williams, B. J., Treanor, D. (2017). The Diagnostic Concordance of Whole Slide Imaging and Light Microscopy: A Systematic Review. *Archives of Pathology & Laboratory Medicine*, 141 (1), 151-161.
42. Schwab, K. (2015). The Fourth Industrial Revolution. What It Means and How to Respond. *Foreign Affairs*. Available from: <https://www.foreignaffairs.com/world/fourth-industrial-revolution>.
43. Goldberg, I. G., Allan, C., Burel, J. M., Creager, D. et al. (2005). The Open Microscopy Environment (OME) data model and XML file: Open tools for informatics and quantitative analysis in biological imaging. *Genome Biol.*, 6 (5), R47.
44. Wilbur, D. C., Madi, K., Colvin, R. B. et al. (2009). Whole-slide imaging digital pathology as a platform for teleconsultation: A pilot study using paired subspecialist correlations. *Arch Pathol Lab M---*ed., 133 (12), 1949–1953.
45. Mintser, O. P., Babintseva, L. Yu. (2022). New trends in the development of data presentation and management systems. *Analytical view. Medical informatics and engineering*, 1-2 (57-58), 5–13. [In Ukrainian].

ORCID:

Larysa Yu. Babintseva: 0000-0003-2753-5489