



## ON THE ISSUE OF INTRODUCING VIRTUAL MICROSCOPY TECHNOLOGY INTO THE EDUCATIONAL PROCESS OF MORPHOLOGICAL DISCIPLINES

O.V. Byrka, M.M. Kushch, L.M. Lyakhovych, A.V. Zakhar'iev

*State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine*

*E-mail: [histology@ukr.net](mailto:histology@ukr.net)*

**Annotation.** Light microscopy, which inaugurated the era of histological research in the XIX century, remains a classic method for determining the structure of cells, tissues and organs of animals in the teaching of a series of morphological disciplines. The study of histological specimens under the light microscope always involves aspects related to the student's ability to identify, correctly diagnose and interpret a microscopic image. The teaching of “Cytology, Histology, Embryology” follows a classical approach: during practical training in the lecture hall of the department, histological preparations are visualised using individual light microscopes. During the training, students analyse the images at the light-optical level under the supervision of the teachers. In order to facilitate the students' learning of educational material, the department has developed educational resources in the form of collections of microphotographs of histological specimens, which are arranged in atlases, methodological instructions, electronograms, thematic diagrams, multimedia presentations, models of early stages of embryonic development and wet specimens. These activities help students to acquire skills in working with a microscope, differentiating histological specimens, understanding the microscopic structure of cells, tissues and organs and determining their physiological purpose, but require considerable amount of teacher's time spent on individual work with students and solving technical problems of microscopy.

Meanwhile, quarantine measures during the COVID-19 pandemic and the prolonged martial law in Ukraine have led to an urgent need to change the classroom-based training to distance or blended learning, to find and use appropriate online platforms. The remote virtual technology created and applied by introducing the method of digital visualisation of histological specimens into the educational process corresponds to the current level of technical possibilities, contributes to the improvement of the quality of the educational process, and is therefore relevant and promising.

**Key words:** *educational process, histological specimens, light microscope, distance learning, digital visualization.*

## ДО ПИТАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВІРТУАЛЬНОЇ МІКРОСКОПІЇ В НАВЧАЛЬНИЙ ПРОЦЕС МОРФОЛОГІЧНИХ ДИСЦИПЛІН

О.В. Бирка, М.М. Куш, Л.М. Ляхович, А.В. Захар'єв

Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна

E-mail: [histology@ukr.net](mailto:histology@ukr.net)

**Анотація.** Світлова мікроскопія, відкривши епоху гістологічних досліджень у ХІХ столітті, лишається і сьогодні класичним методом встановлення структури клітин, тканин та органів тварин при викладанні комплексу морфологічних дисциплін. Вивчення гістологічних препаратів за використання світлового мікроскопу завжди містить особливості, які пов'язані зі здатністю студента визначити, правильно його діагностувати та інтерпретувати мікроскопічне зображення. При викладанні «Цитології, гістології, ембріології» застосовується класичний підхід: на практичних заняттях в аудиторії кафедри відбувається візуалізація гістологічних препаратів з використанням індивідуальних світлових мікроскопів. В ході занять студенти аналізують зображення на світлооптичному рівні під контролем викладачів. Для кращого засвоєння студентами навчального матеріалу, на кафедрі сформовані освітні ресурси у вигляді колекцій мікрофотографій гістологічних препаратів, які оформлені в атласи, методичних вказівок, електоніграм, тематичних схем-стендів, мультимедійних презентацій, муляжів ранніх етапів ембріонального розвитку та вологих препаратів. Ці заходи сприяють набуттю студентами умінь та навичок роботи з мікроскопом, диференціації гістопрепаратів, розумінню мікроскопічної будови клітин, тканин і органів з визначенням їх фізіологічного призначення, але потребують значних витрат часу викладачів на індивідуальну роботу зі студентом та на вирішення технічних проблем мікроскопії.

Між тим, карантинні заходи за пандемії COVID-19 та тривалий воєнний стан в Україні обумовили нагальну потребу у зміні аудиторної форми навчання на дистанційне чи змішане, на пошук і використання відповідних онлайн платформ. Дистанційна віртуальна технологія, створена і застосована впровадженням методики цифрової візуалізації гістологічних препаратів в навчальний процес, відповідає сучасному рівню технічних можливостей реалізації, сприяє підвищенню якості освітнього процесу, а тому є актуальною і перспективною.

**Ключові слова:** навчальний процес, гістологічні препарати, світловий мікроскоп, дистанційне навчання, цифрова візуалізація.

**Вступ.** Із 1980-х років почала активно розвиватися візуалізація гістологічних препаратів завдяки впровадженню відеомікроскопії та технології оцифрування зображень. Цей підхід отримав назву Whole Slide Imaging (WSI), а процес перегляду гістологічних зрізів у цифровому форматі на комп'ютері став відомий як віртуальна мікроскопія. Широкий доступ до Інтернету сприяв упровадженню дистанційних освітніх технологій, які дозволяють охоплювати велику кількість студентів незалежно від їх місцезнаходження.

Можливість використання роботизованих сканерів гістологічних препаратів, розвиток мережових технологій, доступ до високошвидкісного Інтернету, зростання обчислювальних потужностей комп'ютерів і покращення якості зображення дисплеїв створили умови для інтеграції віртуальної мікроскопії в освітній процес як ефективною альтернативи традиційній світловій мікроскопії (Krippendorf & Lough, 2005; Farah & Maubury, 2009; Fonseca et al., 2015).

На початку 2000-х років першими освітніми закладами, які впровадили віртуальну мікроскопію у викладання гістології, стали медичні факультети низки університетів США (Cotter, 2001; Blake et al., 2003; Bloodgood & Ogilvie, 2006; Vainer et al., 2017; Hortsch et al.,

2023). Однак поширення цієї технології на початковому етапі стримували низка технічних обмежень: недостатня продуктивність персональних комп'ютерів, обмежені обсяги серверної пам'яті, відсутність уніфікованих стандартів для створення зображень і програмного забезпечення для їх перегляду, а також проблеми з пропускнуою здатністю мережі (Kumar et al., 2004; Higgins, 2015).

Упродовж останнього десятиліття сформувався сучасний стандарт використання технології (WSI) у викладанні морфологічних дисциплін. Він передбачає: створення колекцій високоякісних цифрових зображень гістологічних препаратів за допомогою спеціалізованих сканерів; їхнє зберігання, обробку, перегляд і передачу для спільного користування. Такий підхід забезпечує здобувачам доступ до віртуальних мікроскопічних зображень як під час навчальних занять у кампусі, так і в дистанційному режимі через мережу Інтернет (Brisbourne et al., 2002; Kumar et al., 2006; Fonseca et al., 2015; Lysachenko et al., 2023).

Паралельно з удосконаленням технологій Whole Slide Imaging (WSI) накопичувався і практичний досвід інтеграції цього підходу до наявних освітніх алгоритмів. F.P. Paulsen запропонував концепцію триетапного розвитку цифрового освітнього контенту, яка передбачає:

- створення цифрових колекцій статичних зображень гістологічних препаратів;
- впровадження віртуальної мікроскопії з використанням усіх її функціональних можливостей;

- формування інтегрованих освітніх ресурсів, що поєднують мікроскопічні зображення у режимі online з анатомічними, рентгенологічними та клінічними матеріалами (Kumar et al., 2006; Paulsen et al., 2010; Pavlina & Ross, 2021).

Завданням даної роботи є узагальнення досвіду роботи кафедр «Цитології, гістології, ембріології» медичних вищих навчальних закладів з впровадження віртуальної мікроскопії в навчальний процес, як альтернативи світловому мікроскопу та об'єктивна оцінка актуальності і перспектив створення сучасних стандартів WSI технологій при викладанні морфологічних дисциплін з метою покращення якості знань, умінь та навичок студентів на факультеті ветеринарної медицини Державного біотехнологічного університету.

**Методи досліджень.** Аналіз та узагальнення відомостей наукової літератури.

**Результати досліджень та їх обговорення.** Віртуальна мікроскопія поєднує традиційну світлову мікроскопію з сучасними цифровими технологіями. Гістологічні препарати скануються за допомогою високоякісних сканерів, що забезпечують високу роздільну здатність і чіткість зображення. Отримані зображення окремих полів зору автоматично об'єднуються у єдиний віртуальний препарат, який зберігається у вигляді цифрового файлу на сервері віртуальної мікроскопії. Колекції таких препаратів можуть формуватися як на базі кафедральних, так і міжкафедральних лабораторій цифрової мікроскопії. Спеціалізоване програмне забезпечення дозволяє переглядати, вивчати та аналізувати віртуальні препарати у межах локальної мережі з будь-якого типу комп'ютерної техніки, а також забезпечує зовнішній доступ до ресурсів через освітні платформи, що підтримують основні формати сканування (Kumar et al., 2006; Weaker & Herbert, 2009; Pavlina & Ross, 2021; Syrtsov et al., 2021).

Технологія віртуальної мікроскопії у викладанні морфологічних дисциплін має низку переваг порівняно з традиційною світловою мікроскопією. Вона відкриває нові можливості для підвищення наочності навчання, забезпечує доступ до зображень високої якості та дозволяє віддалене вивчення гістологічних препаратів. При роботі з віртуальними препаратами можливе плавне масштабування поля зору, зручне перемикання між ділянками препарату без необхідності його фізичного переміщення, перегляд оглядових зображень у мініатюрному режимі, а також виконання таких функцій, як перетягування, обертання, вимірювання, корекція кольору, порівняння тканинних зображень (або одного й того ж зразка, забарвленого різними методами), і перегляд багатофокусних площин

(Hightower et al., 1999; Harris et al., 2001; Krippendorf & Lough, 2005; Kim et al., 2008; Alotaibi & ALQahtani, 2016).

Однією з ключових переваг є можливість колективного перегляду гістологічних препаратів, зокрема рідкісних, у комп'ютерному класі. Особливою функцією, недоступною при використанні традиційного мікроскопа, є створення індивідуальних анотацій до препаратів. Користувачі можуть додавати стрілки, ручні позначки, текстові коментарі, які зберігаються у вигляді окремих файлів і можуть бути використані під час повторного перегляду. Файли віртуальної мікроскопії легко інтегруються в навчальні програми, презентації та освітні матеріали (Kumar et al., 2004; Saco et al., 2016; Zarella et al., 2019). Якісні цифрові препарати зберігаються протягом тривалого часу, не псуються, не потребують ремонту, на відміну від фізичних зразків. Це дозволяє уникнути витрат на придбання та обслуговування світлових мікроскопів і оновлення колекцій препаратів (Weaker & Herbert, 2009; Paulsen et al., 2010; Syrtsov et al., 2021).

Таким чином, віртуальна мікроскопія відповідає сучасному рівню візуалізаційних технологій, підвищує якість викладання морфологічних дисциплін і є економічно доцільним рішенням за умов обмежених ресурсів освітнього закладу. Актуальні тенденції розвитку телепатології також виступають вагомим аргументом на користь впровадження віртуальної мікроскопії у процес навчання патоморфології.

В університетах Європи, США та інших країн створено потужні веб-ресурси у вигляді анотованих бібліотек віртуальних гістологічних препаратів (зокрема, Histology Guide, Iowa Virtual Slidebox, Mainz Histo Maps, The Virtual Microscopy Database тощо). У навчальній практиці апробовано як часткову інтеграцію віртуальної мікроскопії, так і повну заміну традиційних світлових мікроскопів цифровими технологіями (Cotter, 2001; Blake et al., 2003; Bloodgood & Ogilvie, 2006; Vainer et al., 2017; Syrtsov et al., 2021).

У низці університетів, які впровадили технологію WSI, проведено порівняльні дослідження ефективності навчання студентів за допомогою віртуальної та світлової мікроскопії. Результати свідчать про те, що використання WSI сприяє формуванню стійких навичок розпізнавання гістологічних структур і забезпечує необхідний рівень засвоєння матеріалу, а в деяких випадках навіть перевищує результати традиційного навчання. До ключових переваг віртуальної мікроскопії належать: доступ до зображень високої якості, зручна навігація, полегшене сприйняття складного матеріалу, підвищення ефективності навчання, розвиток навичок групової роботи, а також можливість самостійної роботи зі слайдами у будь-який час і з будь-якого місця.

За даними досліджень, проведених у провідних навчальних закладах світу, 85–93 % студентів, мотивованих до навчання, надають перевагу віртуальній мікроскопії (Harris et al., 2001; Brisbane et al., 2002; Krippendorf & Lough, 2005; Weaker & Herbert, 2009; Hamilton et al., 2012; Alotaibi & ALQahtani, 2016; Hortsch et al., 2023). Переважна більшість викладачів також позитивно оцінює впровадження цієї технології, що дозволяє їм ефективніше організовувати заняття завдяки зменшенню непродуктивних витрат часу на вирішення технічних проблем, пов'язаних із використанням світлових мікроскопів. Це сприяє підвищенню наочності викладання та збільшує час для змістовного обговорення матеріалу зі студентами.

Одним із дискусійних питань щодо ефективності віртуальної мікроскопії залишається занепокоєння, що вона не формує достатніх навичок роботи зі звичайним світловим мікроскопом. Однак, ця проблема є другорядною, оскільки більшість випускників медичних факультетів у подальшій професійній діяльності майже не використовують світлову мікроскопію. Натомість для лікаря будь-якого профілю набагато важливішим є знання мікроскопічної будови нормальних і патологічно змінених органів, а саме віртуальна мікроскопія є ефективним інструментом для розвитку цих знань (Hamilton et al., 2012; Higgins, 2015; Hortsch et al., 2023).

Карантинні обмеження, викликані пандемією COVID-19, та тривалий воєнний стан в Україні обумовили необхідність переходу від традиційного аудиторного навчання до

дистанційної або змішаної форми, що вимагало пошуку ефективних онлайн-платформ. Науково-педагогічні працівники кафедри нормальної та патологічної морфології ДБТУ оперативно адаптувалися до нових умов, впровадивши технологію дистанційного навчання. Заняття реалізовувалися у форматі аудіо- та відеолекцій і лабораторних занять, які розміщувалися на персональних веб-сторінках викладачів і освітній платформі Moodle. Було розроблено та реалізовано концепцію трьохетапного впровадження цифрового освітнього контенту: створення цифрових колекцій зображень гістологічних препаратів (атласів, методичних вказівок, мультимедійних презентацій), які демонструвалися під час лекцій та лабораторних занять з акцентом на особливості структурної організації клітин, тканин і органів; забезпечення доступу до цифрових колекцій через платформу Moodle для самостійного, поглибленого вивчення структури органів навіть за мінімальних технічних засобів; інтеграція мікроскопічних зображень із контентом з електронної мікроскопії, анатомії, фізіології, біохімії та клінічної медицини у межах єдиної освітньої платформи Moodle для формування комплексних компетентностей у студентів.

Реалізація цієї концепції сприяла глибшому засвоєнню мікроструктури клітин, тканин і органів, полегшила ідентифікацію методів забарвлення гістологічних препаратів, а також стимулювала студентів до замальовування препаратів у власні альбоми-практикуми, що сприяло кращому візуальному сприйняттю і деталізації вивченого матеріалу. Усе це доповнювалося контролем і зворотним зв'язком з боку викладача.

В умовах воєнного стану технології віртуальної мікроскопії відкривають додаткові можливості для самостійної роботи студентів із гістологічними препаратами. Влучно підкреслює значущість візуального сприйняття навчального матеріалу відома цитата: «Краще один раз побачити, ніж тисячу раз почути» (Оксфордський словник цитат, Елізабет Ноулс, 2004).

Для успішної інтеграції технологій WSI у навчальний процес надзвичайно важливими є як матеріально-технічні, так і організаційні передумови. До першочергових потреб належать: придбання сканера гістологічних препаратів, створення серверної інфраструктури, забезпечення відповідного програмного забезпечення, модернізація навчальних аудиторій інтерактивними дошками, комп'ютерами, веб-камерами з мікрофонами та високошвидкісним інтернетом. Придбання гістологічного сканера – це довгострокова інвестиція на рівні закладу вищої освіти, що дозволяє сформувати «єдиний цифровий простір» для дисциплін, пов'язаних із мікроскопією. Вартість технічного оновлення навчального середовища загалом співставна з вартістю сучасних світлових мікроскопів (Hightower et al., 1999; Brisbane et al., 2002; Kumar et al., 2004; Farah & Maybury, 2009). Проєкт впровадження WSI повинен координувати фахівець-морфолог, який володіє знаннями в галузі інформаційних технологій і здатен аргументовано обґрунтувати необхідність його реалізації перед адміністративним керівництвом. У процесі впровадження важливо налагодити ефективну взаємодію між викладачами, технічним і адміністративним персоналом та IT-фахівцями. Критичним чинником успіху є також наявність у колективі співробітників, які не лише володіють цифровими навичками, а й активно розробляють та впроваджують нові інформаційні технології у викладанні. Залежно від обсягу доступних ресурсів, рівня технічної та організаційної готовності, а також специфіки навчальних програм, повний перехід до віртуальної мікроскопії зазвичай триває від трьох до п'яти років (Weaker & Herbert, 2009; Vainer et al., 2017; Pavlina & Ross, 2021; Lysachenko et al., 2023).

## Висновки.

Світовий досвід застосування віртуальної мікроскопії у медичній освіті, а також наявність сучасних програмно-апаратних рішень створюють реальні передумови для успішного впровадження WSI-технологій у навчальний процес морфологічних дисциплін. Такий підхід сприяє як покращенню якості навчання, так і ефективному використанню ресурсів у сучасних викликах освітнього середовища

## References

1. Alotaibi, O. & ALQahtani, D. (2016). Measuring dental students' preference: A comparison of light microscopy and virtual microscopy as teaching tools in oral histology and pathology. *The Saudi Dental Journal*, 28(4), 169-173. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sdentj.2015.11.002>
2. Blake, C.A., Lavoie, H.A., & Millette, C.F. (2003). Teaching medical histology at the University of South Carolina school of medicine: transition to virtual slides and virtual microscopes. *The Anatomical Record Part B: The New Anatomist*, 275, 196-206. <https://doi.org/10.1002/ar.25168>
3. Bloodgood, R.A., & Ogilvie, R.W. (2006). Trends in histology laboratory teaching in United States medical schools. *The Anatomical Record Part B: The New Anatomist*, 289, 169-175. <https://doi.org/10.1002/ar.b.20111>
4. Brisbourne, M.A.S., Chin, S.S.-L., Melnyk, E., & Begg D.A. (2002). Using web-based animations to teach histology. *The Anatomical Record*, 269, 11-19. <https://doi.org/10.1002/ar.10054>
5. Cotter, R. (2001). Laboratory instruction in histology at the University at Buffalo: recent replacement of microscope exercises with computer applications. *The Anatomical Record*, 265, 212-221. <https://doi.org/10.1002/ar.10010>
6. Farah, C., & Maybury, T. (2009). The e-evolution of microscopy in dental education. *Journal of Dental Education*, 73, 942-949. <https://doi.org/10.1002/j.0022-0337.2009.73.8.tb04783.x>
7. Fonseca, F.P., Santos, R., Lopes, M.A., Almeida, O.P. & Vargas, P.A. (2015). Transition from glass to digital slide microscopy in the teaching of oral pathology in a Brazilian dental school. *Medicina Oral, Patologia Oral, Cirurgia Buca*, 20(1), 17-22. <https://doi.org/10.4317/medoral.19863>
8. Hamilton, P.W., Wang, Y., & cCullough, S.J. (2012). Virtual microscopy and digital pathology in training and education. *Journal of Pathology, Microbiology and Immunology*, 120(4), 305-315. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0463.2011.02869.x>
9. Harris, T., Leaven, T., Heidger, P., ... & Dick, F. (2001). Comparison of a virtual microscope laboratory to a regular microscope laboratory for teaching histology. *Anatomical Record (New Anat)*, 265, 10-14. <https://doi.org/10.1002/ar.1036>
10. Higgins, C. (2015). Applications and challenges of digital pathology and whole slide imaging. *Biotechnic & Histochemistry*, 90(5), 341-347. <http://dx.doi.org/10.3109/10520295.2015.1044566>
11. Hightower, A., Boockfor, F.R., Blake, C.A., & Millette, C.F. (1999). The standard medical microscopic anatomy course: histology circa 1998. *The Anatomical Record*, 257, 96-101. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0185\(19990615\)257:3%3C96::AID-AR6%3E3.0.CO;2-%23](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0185(19990615)257:3%3C96::AID-AR6%3E3.0.CO;2-%23)
12. Hortsch, M., Koney, N.K., Oommen, A.M., Yohannan, D.G, Li, Y., de Melo Leite A.C.R., Girão-Carmona V.C.C. (2023). Virtual Microscopy Goes Global: The Images Are Virtual and the Problems Are Real. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 1421, 79-124. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-30379-1\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-031-30379-1_5)
13. Kim, M.H., Park, Y., Seo, D.,... & Kim, W.H. (2008). Virtual microscopy as a practical alternative to conventional microscopy in pathology education. *Basic and Applied Pathology*, 1, 46-48. <https://doi.org/10.1111/j.1755-9294.2008.00006.x>
14. Krippendorff, B.B., & Lough, J. (2005). Complete and rapid switch from light microscopy to virtual microscopy for teaching medical histology. *Anatomical Record (New Anat)*, 285, 19-25. <https://doi.org/10.1002/ar.b.20066>
15. Kumar, R.K., Freeman, B., Velan, G.M., & De Permentier, P.J. (2006). Integrating histology and histopathology teaching in practical classes using virtual slides. *Anatomical Record (New Anat)*, 289, 128-133. <https://doi.org/10.1002/ar.b.20105>
16. Kumar, R.K., Velan, G.M., Korell, S.O., Kandara, M., Dee, F.R., & Wakefield, D. (2004). Virtual microscopy for learning and assessment in pathology. *The Journal of Pathology*, 204 (2004), 613-618. <https://doi.org/10.1002/path.1658>
17. Lysachenko, O.D., Shepitko, V.I., Boruta, N.V., Pelypenko, L.B., Vilkhova, O.V., & Voloshyna, O.V. (2023). Vizualizatsiia histolohichnykh preparativ ta zavdan yak sposib pokrashchennia znan, umin ta navychok studentiv-medykiv. *Aktualni problemy suchasnoi medytsyny : Visnyk Ukrainskoi medychnoi stomatolohichnoi akademii*, 23(2.2), 85-87. (in Ukr.). [http://dx.doi.org/10.31718/2077-1096.23.2.2.85\\_1](http://dx.doi.org/10.31718/2077-1096.23.2.2.85_1)
18. Paulsen, F.P., Eichhorn, M., & Bräuer, L. (2010). Virtual microscopy-The future of teaching histology in the medical curriculum? *Annals of Anatomy publish peer reviewed original articles*, 192(2010), 378-382. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2010.09.008>

19. Pavlina, V., & Ross, M.H. (2021). *Histologhiia: pidruchnyk i atlas. Z osnovamy klitynnoi ta molekuliarnoi biolohii* (8-e vyd.). Kyiv: VSV «Medytsyna». (in Ukr.).
20. Saco, A., Bombi J. A., Garcia, A., Ramírez, J., & Ordi, J. (2016). Current Status of Whole-Slide Imaging in Education. *Pathobiology*, 83(2-3), 79-88. <http://dx.doi.org/10.1159/000442391>
21. Syrtsov, V.K., Yevtushenko, V.M., Popko, S.S., Zidrashko, H.A., Aliieva, O.H., Pototska, O.I., & Tavroh, M.L. (2021). Dosvid zastosuvannia suchasnykh novitnikh metodyk navchannia pry vyvchenni dystsypliny «Histologhiia, tsytologhiia, embriologhiia» u Zaporizkomu derzhavnomu medychnomu universyteti. *Materialy navchalno-metodychnoi videokonferentsii Tsentralnoi metodychnoi rady «Dosvid vprovadzhennia zmishanoi formy navchannia u ZDMU, traiektoriia rozvytku ta mistse v systemi vyshchoi medychnoi osvity»*, 17–19. (in Ukr.).
22. Vainer, B., Mortensen, N.W., Poulsen, S.S., ... & Johansen, F.F. (2017). Turning Microscopy in the Medical Curriculum Digital: Experiences from The Faculty of Health and Medical Sciences at University of Copenhagen. *The Journal of Pathology Informatics*, 8, 11. <https://doi.org/10.4103/2153-3539.201919>
23. Weaker, F.J., & Herbert, D.C. (2009). Transition of a dental histology course from light to virtual Microscopy. *Journal of Dental Education*, 73(10), 1213-1221. <https://doi.org/10.1002/j.0022-0337.2009.73.10.tb04813.x>
24. Zarella, M.D., Bowman, D., Aeffner, F., ... & Hartman, D.J. (2019). A Practical Guide to Whole Slide Imaging: A White Paper From the Digital Pathology Association. *The Archives of Pathology & Laboratory Medicine*, 143(2), 222-234. <https://doi.org/10.5858/arpa.2018-0343-ra>