

УДК 378.61.004.8

DOI <https://doi.org/10.32782/eddiscourses/2024-4-12>

ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОГО НАВЧАННЯ, ДОПОВНЕНОЇ (AR) ТА ВІРТУАЛЬНОЇ (VR) РЕАЛЬНОСТЕЙ У ДОКЛІНІЧНІЙ СТОМАТОЛОГІЧНІЙ ОСВІТІ

Матвієнко Микола Миколайович,

аспірант кафедри медичної і біологічної фізики та інформатики,
Національний медичний університет імені О.О. Богомольця
ORCID: 0009-0004-5888-2584

Прохоренко Ігор Артемович,

аспірант кафедри медичної і біологічної фізики та інформатики,
Національний медичний університет імені О.О. Богомольця
ORCID: 0009-0003-6792-8428

У статті проаналізовано проблему використання технологій комп'ютеризованого навчання (C-AL), доповненої (AR) та віртуальної (VR) реальностей у доклінічній стоматологічній освіті. Визначено важливість інтеграції цих технологій у навчальні програми стоматологічних факультетів, що відповідає сучасним тенденціям діджиталізації освіти. Показано, що C-AL, AR та VR дозволяють студентам отримувати постійний зворотний зв'язок і моделювати клінічні ситуації, що підвищує їхню мотивацію та залученість у навчальний процес. Виокремлено ключові компоненти C-AL, які включають інтерактивні навчальні модулі та цифрові симуляції. Зазначено, що мультимедійний контент у вигляді текстів, відео та анімацій надає студентам можливість самостійно вивчати стоматологічну анатомію. Досліджено переваги цифрових симуляцій у 2D та 3D форматах. Оцінено вплив цифрових технологій на рівень сприйняття студентами тематичного матеріалу. З'ясовано, що інтерактивні елементи значно підвищують залученість студентів у процес навчання. Виокремлено основні компоненти AR і VR, які мають бути гармонійно інтегровані в освітній процес: технічна сумісність, практична користь, педагогічна ефективність та можливість надання зворотного зв'язку. У статті виокремлено переваги використання цифрових симуляцій, які дозволяють візуалізувати презентовану інформацію, а також сприяють розвитку практичних навичок студентів.

Зроблено висновок, що постійне оновлення програмного та апаратного забезпечення для цифрового навчання стоматології, а також створення повноцінних цифрових навчальних класів та інтерактивних лабораторій симуляційного навчання стоматології дозволить зв'язати навчання з клінічними тенденціями у цифровій стоматології, а також сприятиме створенню нових вибіркового курсів.

Досліджено, що використання інноваційних цифрових моделей навчання сприятиме створенню ефективного цифрового навчального середовища, в якому студенти зможуть набути необхідних базових клінічних компетентностей, що, у свою чергу, полегшить їхню інтеграцію в професійне середовище.

Обґрунтовано необхідність подальших досліджень, щоб максимально ефективно використовувати цифрові технології в освіті стоматологів.

Ключові слова: доповнена реальність, віртуальна реальність, комп'ютеризоване навчання, цифрова стоматологія, цифрові симуляції, медична освіта, цифрова компетентність, педагогічна ефективність, мультимедійний контент, SWOT-аналіз, дистанційне навчання

Matviienko Mykola, Prokhorenko Ihor. The use of computer-based learning, augmented (AR) and virtual (VR) reality in preclinical dental education

The article analyzes the problem of using technologies of computerized learning (C-AL), augmented (AR) and virtual (VR) realities in preclinical dental education. The importance of integrating these technologies into the curricula of dental faculties is determined, which corresponds to the modern trends of digitization of education. It is shown that C-AL, AR and VR allow students to receive constant feedback and simulate clinical situations, which increases their motivation and involvement in the educational process. The key components of C-AL, which include interactive training modules and digital simulations, are highlighted. It is noted that multimedia content in the form of texts, videos and animations gives students the opportunity to independently study dental anatomy. The advantages of digital simulations in 2D and 3D formats are studied. The influence of digital technologies on the level of students' perception of thematic material was evaluated. It was found that interactive elements significantly increase student involvement in the learning process. The main components of AR and VR, which should be harmoniously integrated into the educational process, are highlighted: technical compatibility, practical benefit, pedagogical effectiveness and the possibility of providing feedback. The article highlights the advantages of using digital simulations, which allow you to visualize the presented information, as well as contribute to the development of students' practical skills.

It was concluded that the constant updating of software and hardware for digital dentistry training, as well as the creation of full-fledged digital training classes and interactive dental simulation training laboratories will allow to connect training with clinical trends in digital dentistry, and will also contribute to the creation of new elective courses.

It has been investigated that the use of innovative digital learning models will contribute to the creation of an effective digital learning environment in which students will be able to acquire the necessary basic clinical competencies, which, in turn, will facilitate their integration into the professional environment.

The need for further research is substantiated in order to use digital technologies in the education of dentists as effectively as possible.

Key words: augmented reality, virtual reality, computer-assisted learning, digital dentistry, digital simulations, medical education, digital competence, pedagogical efficiency, multimedia content, SWOT-analysis, distant learning.

Обґрунтування актуальності проблеми.

Стоматологічна освіта швидко модернізується, переходячи на цифрові технології, що змінюють традиційні методи підготовки майбутніх фахівців. Для підвищення якості навчання та практичних навичок студентів існує потреба у впровадженні нових цифрових інструментів [1].

Цифровізація стоматологічної освіти відповідає сучасним вимогам до цифрових навичок, які визначені у європейській Рамці цифрових компетентностей (DigComp) [2]. Ця рамка слугує дорожказом, визначаючи ключові цифрові навички, які мають опанувати майбутні фахівці. У сфері стоматології цифрові компетентності включають не лише базові навички роботи з інформаційними технологіями, а й вміння використовувати спеціалізовані програми для симуляцій, тривимірного моделювання, аналізу даних пацієнтів тощо.

Використання комп'ютеризованого навчання (C-AL), доповненої реальності (AR) та віртуальної реальності (VR) має значний потенціал для підвищення ефективності навчання, оскільки дозволяє студентам отримувати постійний зворотний зв'язок і моделювати клінічні ситуації. Це, у свою чергу, підвищує мотивацію та залученість студентів до навчального процесу, що є критично важливим для їхньої професійної підготовки.

Особливо важливою є оцінка впливу вищезазначених технологій на розвиток практичних навичок у майбутніх стоматологів. Інтерактивні навчальні модулі, цифрові симуляції та доступ до цифрових бібліотек сприяють більш глибокому засвоєнню навчального матеріалу. Дослідження в цій галузі є актуальними для визначення найбільш ефективних стратегій впровадження цифрових технологій у стоматологічну освіту.

Оцінка компонентів, які сприяють успішній інтеграції цифрових технологій, таких як технічна сумісність, педагогічна ефективність і можливість надання зворотного зв'язку, є необхідною для забезпечення якісного навчального процесу [3].

Існує необхідність дослідити вплив запровадження цифрових технологій, таких як AR і VR,

на формування цифрових компетентностей майбутніх стоматологів згідно з рамкою DigComp.

У зв'язку з цим подальші дослідження в цій сфері можуть стати основою для розробки нових навчальних моделей, що відповідатимуть потребам часу та сучасним вимогам галузі, а також допоможуть створити цифрове освітнє середовище [4].

Метою даної роботи є дослідження можливостей розширення арсеналу використання цифрових технологій у навчанні майбутніх магістрів стоматології задля підвищення ефективності освітнього процесу.

Методи дослідження: *теоретичні:* вивчення та аналіз інформаційних джерел; класифікація, систематизація та узагальнення отриманої інформації щодо можливостей застосування цифрових технологій у професійній діяльності майбутнього стоматолога; *емпіричні:* спостереження за навчальним процесом, спілкування у фокус-групах, оцінювання одержаних висновків.

Виклад основного матеріалу дослідження. Останні дослідження показали, як технологічні застосунки дозволяють візуалізувати медичну інформацію та надавати чіткий зворотний зв'язок під час навчання, підвищуючи ефективність навчального процесу. Ці дослідження також засвідчили важливість інтеграції цифрових симуляційних систем у процес навчання студентів стоматології [5].

Навчання за допомогою цифрових технологій можна класифікувати як комп'ютеризоване (C-AL), навчання з використанням доповненої реальності (AR-assisted learning) та віртуальної реальності (VR-assisted learning) [6].

Комп'ютеризоване навчання (C-AL) – це метод навчання, який використовує комп'ютери та інформаційні технології для передачі знань, розвитку навичок і контролю результатів. Воно може включати різноманітні цифрові засоби, такі як навчальні програми, симуляції, віртуальні середовища, інтерактивні підручники та онлайн-платформи для дистанційного навчання.

Основні риси комп'ютеризованого навчання:

1. **Інтерактивність** – студенти можуть активно взаємодіяти з матеріалами, виконувати завдання, отримувати зворотний зв'язок в реальному часі.

2. **Індивідуалізація** – комп'ютеризоване навчання дозволяє адаптувати навчальні матеріали під рівень і потреби кожного студента.

3. **Дистанційний доступ** – доступ до навчальних матеріалів можна отримати з будь-якого місця, де є інтернет, що дозволяє навчатися дистанційно.

4. **Аналіз і контроль** – за допомогою спеціальних програм можна відстежувати успішність, прогрес і проблемні моменти у навчанні кожного студента.

5. **Мультисенсорний підхід** – навчання через текст, зображення, аудіо, відео і навіть віртуальну реальність, що сприяє кращому засвоєнню інформації.

Цей підхід широко застосовується у вищій освіті, особливо в таких спеціальностях, як медицина, де використовуються симуляції для розвитку практичних навичок, які було б складно або небезпечно відпрацьовувати на реальних пацієнтах.

C-AL передбачає використання спеціально розроблених комп'ютерних програм для викладання конкретних предметів або тем. Ці програми можуть включати інтерактивні уроки, тести, симуляції та інші мультимедійні матеріали, які допомагають студентам засвоювати знання. Вони сприяють кращому розумінню навчального матеріалу через індивідуальні заняття або інтерактивні вправи.

Технологія AR бере реальний світ, який ми бачимо навколо, і додає до нього цифрові елементи, створені комп'ютером. Це можуть бути зображення, текст, звуки або інтерактивні об'єкти, які накладаються на реальне середовище. Завдяки цьому люди можуть бачити реальність, збагачену додатковою інформацією, та взаємодіяти з цими елементами в режимі реального часу. Наприклад, у навчанні це може бути віртуальна модель зуба, накладена на справжній об'єкт для детального вивчення.

При цьому технологія VR створює повністю штучне середовище, з яким користувач може взаємодіяти. На відміну від доповненої реальності (AR), яка накладає цифрові елементи на реальний світ, VR повністю занурює користувача в комп'ютерно створений світ. У цьому віртуальному середовищі користувач може бачити, чути і навіть впливати на об'єкти та сценарії, що не існують

у реальності. Наприклад, у стоматологічній освіті VR може відтворювати симуляцію стоматологічної операції, дозволяючи студенту тренуватися в штучному, але реалістичному середовищі.

Завдяки використанню цих технологій, студенти-стоматологи мають можливість бачити препарування з різних ракурсів та з різним масштабуванням. Більше того, зворотний зв'язок у режимі реального часу, що надається студенту, дозволяє здійснювати постійну та стандартизовану оцінку його діям [7].

Компоненти доповненої (AR) та віртуальної реальності (VR) повинні бути добре інтегровані, щоб досягти бажаного ефекту для студентів. До цих компонентів належать реальні та віртуальні джерела даних, технології трекінгу та процеси візуалізації та механізми зворотного зв'язку [5].

У контексті навчання в медичних вишах «добре інтегровані» означає, що технології доповненої (AR) та віртуальної реальності (VR) повинні бути правильно й гармонійно включені в освітній процес в такий спосіб, щоб сприяти ефективному навчанню. Це передбачає:

Технічну сумісність: AR/VR системи повинні працювати безперебійно з іншими навчальними технологіями та інструментами (симуляторами, навчальним програмним забезпеченням тощо).

Практичну користь: технології мають відповідати реальним потребам навчання, допомагати студентам краще зрозуміти матеріал, візуалізувати анатомічні структури, симулювати медичні процедури та тренувати практичні навички.

Педагогічну ефективність: Вони повинні бути інтегровані в освітню програму так, щоб доповнювати традиційні методи навчання, робити їх більш цікавими й зрозумілими, підвищуючи засвоєння матеріалу.

Зворотний зв'язок: AR/VR платформи повинні надавати студентам миттєвий та детальний зворотний зв'язок щодо їхніх дій та рішень, щоб вони могли вчитися на помилках і покращувати свої навички.

Щоб визначити перспективи використання AR і VR в процесі підготовки здобувачів другого (магістерського) рівня галузі знань 22 «Охорона здоров'я» за спеціальністю 221 «Стоматологія», ми сконструювали дві фокус-групи з викладачів (5) та студентів (40) на базі НМУ ім. О.О. Богомольця. Це дозволило нам окреслити сильні і слабкі сторони застосування цих технологій в освітньому процесі, переваги та загрози в рамках підходів SWOT-аналізу (табл. 1).

До сильних сторін методики (S) ми відносимо можливість формування практичних навичок

Таблиця 1

SWOT-аналіз застосування доповненої та віртуальної реальності в освітньому процесі майбутніх стоматологів

Сильні сторони	Слабкі сторони
Формування практичних навичок	Вимушене спрощення ситуації
Багаторазове повторення процедур	Потреба оновлення програмного забезпечення
3D-візуалізація анатомічних структур	Висока вартість обладнання
Підвищення мотивації студентів	
Можливості	Загрози
Швидке засвоєння великого обсягу матеріалу	Використання для розваг
Стойка мотивація до навчання	Домінування цифрових навичок над практичними
Формування професійної компетентності	Втрата комунікативних навичок
Навички роботи з симуляційним обладнанням	

в умовах дистанційного та змішаного форматів організації навчального процесу, можливість багаторазового повторення процедур без загрози для пацієнта, 3-d візуалізація анатомічних структур, мобілізацію інтелектуальних резервів студентів, емоційність, зацікавленість, що підвищує мотивацію до навчання.

До слабких сторін (*W*) відносяться вимушене спрощення ситуації, яка вивчається, потреба постійного оновлення програмного та апаратного забезпечення, висока вартість обладнання

До переваг та перспектив (*A*) ми відносимо можливість засвоєння студентами великого обсягу матеріалу за короткий час, збереження у студентів стійкої мотивації і інтересу до навчання, формування практичної складової професійної компетентності майбутніх магістрів стоматології, формування навичок роботи з симуляційним обладнанням.

Ризиками та загрозами (*T*) є: небезпека використання пристроїв заради розважальних цілей, домінування потреби у формуванні цифрових навичок при роботі з обладнанням на практичними навичками лікаря-стоматолога, втрата та звуження можливостей для формування комунікативних навичок, уміння працювати в команді, об'єктивна обмеженість дидактичного застосування при вивченні великої кількості тем, втрата інтересу у студентів у разі відсутності вміння працювати з цифровими додатками, можливість випадкового позитивного сценарію при недостатньому відпрацюванні медичної маніпуляції, поверхове засвоєння матеріалу через надмірне захоплення візуальними ефектами.

У 2023 році група дослідників провела систематичний огляд літератури для журналу «Dental and Medical Problems», у якому опублікувала синтезовані результати 45 досліджень, присвячених С-AL, VR та АG. За винятком одного дослідження, всі інші підтвердили, що викорис-

тання С-AL покращує освітній процес і підвищує рівень задоволеності студентів (9%). Близько 33% досліджень виявили, що освіта на основі VR-AL є настільки ж ефективною, як і традиційні методи навчання. Водночас кілька досліджень (9%) показали, що навчання за допомогою VR потребує подальшого вдосконалення, оскільки поточний рівень ефективності є недостатнім. Одне з досліджень зазначило, що виключно VR-навчання не є достатньо ефективним для студентів бакалаврату. Деякі дослідження також вивчали системи AR-AL і переважно повідомляли про їхню ефективність у додипломній освіті (24%), проте одне з досліджень не виявило значної різниці в успішності між традиційною освітою та освітою з використанням AR-AL. Результати огляду засвідчили про позитивний вплив технологій С-AL та AR-AL на освітній процес, проте зазначили й певні обмеження та потребу у вдосконаленні VR-AL для більш ефективного навчання [5].

Багато досліджень оцінювали С-AL у стоматології, особливо під час бакалаврату. Ці дослідження показали, що з використанням С-AL підвищується рівень задоволеності студентів навчанням [8, 9–13].

С-AL модулі забезпечують мультимедійний контент, що включає тексти, зображення, відео та анімації, які охоплюють стоматологічну анатомію, патології та різні процедури. Завдяки цьому студенти можуть навчатися у власному темпі, використовуючи інтерактивні уроки, що дозволяє їм повторювати матеріал для його глибшого засвоєння. Інтегровані тести надають можливість перевіряти свої знання в реальному часі, забезпечуючи миттєвий зворотний зв'язок, що є критично важливим для ефективного навчання. Окрім того, цифрові симуляції у 2D та 3D форматах значно збагачують навчальний процес. Студенти можуть моделювати стоматологічні процедури, такі як реставрації або пломбування,

в середовищах, що допомагає їм детально зрозуміти різні етапи лікування. Використання 3D моделей анатомії зубів дозволяє студентам інтерактивно досліджувати зубні структури без необхідності фізичних моделей, що підвищує їхню зацікавленість і ефективність навчання. Платформи C-AL пропонують низку віртуальних сценаріїв пацієнтів, які дозволяють студентам симулювати діагностику пацієнта, планування лікування та прийняття клінічних рішень. Цей підхід дозволяє студентам отримати свій перший «клінічний досвід».

Ще однією перевагою C-AL для студентів-стоматологів є гнучке навчання, доступ до матеріалів у будь-який час і з будь-якого місця, а також безпечну практику, оскільки помилки у віртуальному середовищі не зашкодять пацієнтам. Використання мультимедійних матеріалів покращує розуміння складних стоматологічних концепцій, а інтерактивні інструменти більше стимулюють залучення студентів у процес навчання порівняно з традиційними методами.

Також важливо відзначити, що завдяки симульованій клінічній практиці студенти набувають цифрової компетентності, що є необхідною для їхньої подальшої професійної діяльності.

Включення інтерактивних завдань до навчальної програми також може запобігти демотивації здобувачів освіти [14].

Отже, використання C-AL може бути ефективним способом покращити навчання, особливо під час повторюваних завдань [15].

Миттєвий зворотний зв'язок є однією з основних переваг цифрових систем. Багато з них використовують дані про час виконання завдання, цільові показники, відстеження рухів та прикладеної сили при виконанні клінічної процедури. Цифрові симулятори можуть надавати інформацію про розмір препарування, кількість видаленого матеріалу, спостерігати за величиною руху інструмента та швидкістю виконання, що дозволяє викладачеві контролювати якість виконання завдання студентом [16].

За даними журналу «Journal of dental education» додаткові 8 годин комп'ютерного моделювання можуть покращити ефективність навчання [17].

Подібне дослідження також показало, що збільшення інструкції з комп'ютерного моделювання з 6 до 8 годин покращило оцінки практичних іспитів серед студентів-стоматологів другого курсу [18].

Результати також продемонстрували, що навичкам видалення карієсу можна навчити за допомогою комп'ютерних тренажерів, таких як,

наприклад, тривимірний імерсивний тактильний симулятор [19].

За допомогою комбінації C-AL та VR/AR можна моделювати різні сценарії та надавати відгуки про успішність студентів. Зокрема, тактильні пристрої, що використовуються у VR, забезпечують результати, які можна порівняти з реальним середовищем [20].

Доведено, що використання симуляції віртуальної реальності може підвищити рівень залучення студентів у навчальний процес та покращити досвід навчання в педіатричній стоматології, та може використовуватися як додатковий засіб навчання місцевій анестезії [21].

Не можемо оминати таку важливу складову освітнього процесу, як дистанційне навчання. Напрацювання науковців у період COVID-19 [22–24, 25, 26] дало змогу використовувати ці результати і в контексті війни в Україні. Оскільки студенти часто змушені виходити на заняття в онлайн форматі, такі AR інструменти як HoloLens, Google Glass та інші їм подібні можуть бути альтернативним інструментом для дистанційного навчання. Це зумовлено тим, що деякі програми використовуються саме з AR окулярами в освітньому контексті, зокрема HoloHuman. Згідно з «European journal of dental education» 68% студентів-стоматологів вважають, що навчальний план зі стоматології повинен включати HoloHuman як додатковий інструмент під час лекцій [27].

Також варта уваги портативна платформа для навчання DenTeach, що складається зі смарт-сенсорів, передової робототехніки, обробки великих даних, 3D-друку та хмарних обчислень. Така платформа застосовує AR окуляри для дистанційного навчання у доклінічній освіті [28].

Утім використання цифрових інтерфейсів у стоматологічній освіті має деякі обмеження. Постійний зворотний зв'язок може спричинити надмірну залежність студента від комп'ютерної системи, а припинення зворотного зв'язку може згодом знизити його продуктивність [29]. Хоча зворотний зв'язок є важливим, зменшення його частоти сприяє розвитку моторних і когнітивних навичок [30]. Оскільки теорія когнітивного навантаження передбачає, що навчання змінюється залежно від зворотного зв'язку, збільшення такого зв'язку може спричинити перевантаження інформацією. Тому інтеграція цифрових технологій у процес навчання майбутніх стоматологів повинна координуватися педагогом для збалансованого засвоєння складних цифрових концепцій.

Очевидно, що постійне оновлення програмного та апаратного забезпечення для цифрового

навчання стоматології, а також створення повноцінних цифрових навчальних класів та інтерактивних лабораторій симуляційного навчання стоматології дозволить зв'язати навчання з клінічними тенденціями у цифровій стоматології, а також сприятиме створенню нових вибіркового курсів.

Обладнання для навчання з використанням симуляцій на основі доповненої реальності (AR), яке може використовуватися для експериментів, інтерактивних вправ на курсах, а також для самостійних занять після уроків, забезпечить оцінювання студента в реальному часі завдяки неперервному фідбеку.

Забезпечення студентів-стоматологів обладнанням для навчання з використанням VR допоможе їм проводити симуляційні тренування. Підтримка цифрового навчання стоматологічних курсів є важливою для підготовки студентів-стоматологів. Використання інноваційних цифрових моделей навчання сприятиме створенню ефективного цифрового навчального середовища, в якому студенти зможуть набути необхідних базових клінічних компетентностей. Це, у свою чергу, полегшить їхню інтеграцію в професійне середовище.

Висновки. У даному дослідженні проаналізовано застосування комп'ютеризованого навчання (C-AL), а також технологій доповненої (AR) та віртуальної реальності (VR) у стоматологічній освіті. Встановлено, що ключовою перевагою систем AR і VR є їх здатність сприяти розвитку практичних навичок та надавати миттєвий зворотний зв'язок.

Дослідження продемонструвало, що AR допомагає студентам відчувати реалістичність навчального середовища, надаючи актуальну інформацію та вказівки під час виконання стоматологічних процедур. При цьому важливо зазначити, що

застосування C-AL, AR і VR не може повністю замінити традиційне навчання. Хоча дистанційна освіта не є оптимальною, вона демонструє значний потенціал у сучасному освітньому процесі, оскільки може ефективно підтримувати навчання студентів у складних умовах (таких як пандемія чи війна), використовуючи AR технології.

Серед напрямків розвитку цифрового навчання можна виділити короткострокові та середньострокові ініціативи, що включатимуть впровадження систем клінічної симуляції та програмного забезпечення, які дозволяють студентам практикуватися в реалістичних умовах. Довгострокові стратегії матимуть на меті постійний розвиток цифрових навчальних моделей, що інтегрують традиційні підходи з новими технологіями.

Використання систем клінічної симуляції може суттєво підвищити ефективність самостійного навчання та підготувати студентів до практичних завдань, що виникають у клінічній практиці.

Отже, стоматологічна освіта поступово переходить на цифрові технології, що відповідає глобальним процесам діджиталізації. Застосування цифрових систем у стоматологічній освіті, особливо на етапі підготовки бакалаврів, є надзвичайно важливим.

Цифрове навчання у стоматології демонструє високий потенціал у сприянні як аудиторному, так і дистанційному навчанню. Зокрема, додатки, що базуються на тривимірній візуалізації та друку, комп'ютерному проектуванні та виробництві, а також технологіях доповненої реальності (AR) і віртуальної реальності (VR), все частіше використовуються в багатьох галузях, включаючи стоматологічну [31, 32] впровадження цифрового навчання у стоматології сприяє формуванню більш гнучкої та адаптивної системи освіти.

Список літератури:

1. Kuchyn I., Reva T., Stuchynska N., Kucherenko I., Mykytenko P., Chkhalo O. Digital competence as a necessary component of the professional competence of pharmaceutical industry employees. *Archives of Pharmacy Practice*. 2022. № 13(1). P. 82–87.
2. Carretero S., Vuorikari R., Punie, Y. DigComp 2.1: The Digital Competence Framework for Citizens with eight proficiency levels and examples of use. EUR 28558 EN. 2017. P. 48. DOI: 10.2760/38842).
3. Стучинська Н., Матвієнко М. Роль вибіркового дисциплін у формуванні цифрової компетентності майбутніх лікарів. *Педагогіка формування творчої особистості у вищій та загальноосвітній школах*. Вип. 88, 2023. С. 138–146, DOI <https://doi.org/10.32840/1992-5786.2023.88.25>.
4. Stuchynska N. V., Belous I. V., Mykytenko P. V. Use of modern cloud services in radiological diagnostics training. *Wiadomości Lekarskie*. Vol. LXXIV, 2021. № 3(2). P. 589–595.
5. Erdilek D., Gümüştaş B., Güray Efes B. Digitalization era of dental education: A systematic review. *Dental and medical problems*, 2023. 60(3), 513–525. <https://doi.org/10.17219/dmp/156804>
6. Feiner S. K. Augmented reality: a new way of seeing. *Scientific American*, 2002. 286(4), 48–55. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0402-48>
7. Nassar H. M., Tekian A. Computer simulation and virtual reality in undergraduate operative and restorative dental education: A critical review. *Journal of dental education*, 2020. 84(7), 812–829. <https://doi.org/10.1002/jdd.12138>

8. Moazami F., Bahrapour E., Azar M. R., Jahedi F., Moattari M. Comparing two methods of education (virtual versus traditional) on learning of Iranian dental students: a post-test only design study. *BMC medical education*, 2014. 14, 45. <https://doi.org/10.1186/1472-6920-14-45>
9. Yip H. K., Smales R. J., Chu F. C., Newsome P. R., Chow T. W. Computer-assisted learning (CAL) in undergraduate clinical dentistry: a review. *SADJ : journal of the South African Dental Association = tydskrif van die Suid-Afrikaanse Tandheelkundige Vereniging*, 2001. 56(10), 476–480.
10. Al-Jewair T. S., Qutub A. F., Malkhassian G., Dempster L. J. A systematic review of computer-assisted learning in endodontics education. *Journal of dental education*, 2010. 74(6), 601–611.
11. Mileman P. A., Van Den Hou W. B., Sanderink G. C. H. Randomized controlled trial of a computer-assisted learning program to improve caries detection from bitewing radiographs. *Dentomaxillofacial Radiology*, 2003. 32(2), 116–123.
12. Wenzel A., Matzen L. H., Spin-Neto R., Schropp L. Effect of computer-assisted-learning and simulation clinics on dental students' cognitive and performance skills: Panoramic image errors related to patient's head position. *Dentomaxillofacial Radiology*, 2020. 49(7), 20200154.
13. Jokstad A. Computer-assisted technologies used in oral rehabilitation and the clinical documentation of alleged advantages—a systematic review. *Journal of oral rehabilitation*, 2017. 44(4), 261–290.
14. Woelber J. P., Hilbert T. S., Ratka-Krüger P. Can easy-to-use software deliver effective e-learning in dental education? A randomised controlled study. *European journal of dental education: official journal of the Association for Dental Education in Europe*, 2012. 16(3), 187–192. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0579.2012.00741.x>
15. Ludwig B., Bister D., Schott T. C., Lisson J. A., & Hourfar J. Assessment of two e-learning methods teaching undergraduate students cephalometry in orthodontics. *European journal of dental education: official journal of the Association for Dental Education in Europe*, 2016. 20(1), 20–25. <https://doi.org/10.1111/eje.12135>
16. Towers, A., Field, J., Stokes, C., Maddock, S., & Martin, N. (2019). A scoping review of the use and application of virtual reality in pre-clinical dental education. *British dental journal*, 226(5), 358–366. <https://doi.org/10.1038/s41415-019-0041-0>
17. Urbankova A. Impact of computerized dental simulation training on preclinical operative dentistry examination scores. *Journal of dental education*, 2010. 74(4), 402–409.
18. LeBlanc V. R., Urbankova A., Hadavi F., Lichtenhal R. M. A preliminary study in using virtual reality to train dental students. *Journal of dental education*, 2004. 68(3), 378–383.
19. Eve E. J., Koo S., Alshihri A. A., Cormier, J., Kozhenikov M., Donoff R. B., Karimbux N. Y. Performance of dental students versus prosthodontics residents on a 3D immersive haptic simulator. *Journal of dental education*, 2014. 78(4), 630–637.
20. Soares P. V., de Almeida Milito G., Pereira F. A., Reis B. R., Soares C. J., de Sousa Menezes M., de Freitas Santos-Filho P. C. Rapid prototyping and 3D-virtual models for operative dentistry education in Brazil. *Journal of dental education*, 2013. 77(3), 358–363.
21. Zafar S., Siddiqi A., Yasir M., Zachar J. J. Pedagogical development in local anaesthetic training in paediatric dentistry using virtual reality simulator. *European archives of paediatric dentistry: official journal of the European Academy of Paediatric Dentistry*, 2021. 22(4), 667–674. <https://doi.org/10.1007/s40368-021-00604-7>
22. Ahmady S., Kallestrup P., Sadoughi M. M., Katibeh M., Kalantarion M., Amini M., Khajeali N. Distance learning strategies in medical education during COVID-19: A systematic review. *Journal of education and health promotion*, 2021. 10, 421. https://doi.org/10.4103/jehp.jehp_318_21
23. Akhras A., ElSaban M., Tamil Selvan V., Alzaabi S. Z., Senok A., Zary N., Ho S. B. An Inquiry-Based Distance Learning Tool for Medical Students Under Lockdown (“COVID-19 Rounds”): Cross-Sectional Study. *JMIR medical education*, 2023. 9, e40264. <https://doi.org/10.2196/40264>
24. Altaf R., Kling M., Hough A., Baig J., Ball A., Goldstein J., Brunworth J., Chau C., Dybas M., Jacobs R. J., Costin J. The Association Between Distance Learning, Stress Level, and Perceived Quality of Education in Medical Students After Transitioning to a Fully Online Platform. *Cureus*, 2022. 14(4), e24071. <https://doi.org/10.7759/cureus.24071>
25. Кучин Ю. Л., Канюра О. А., Мельник В. С., Стучинська Н. В., Микитенко П. В. Симуляційні технології у системі підготовки майбутніх лікарів в умовах Covid-19. *Науковий часопис НПУ імені М.П. Драгоманова. Серія 5. Педагогічні науки: реалії та перспективи: Збірник наукових праць*. Київ: Видавничий дім «Гельветика». 2022. Вип. 86. С. 132–142.
26. Kuchyn I. L., Vlasenko O. M., Melnyk V. S., Stuchynska N. V., Mykytenko P. V., Kucherenko I. I. Simulation training and virtual patients as a component of classroom training of future doctors under Covid-19 conditions. *Wiadomości lekarskie*. Vol. LXXV, 2022. № 5(1), P. 1117–1122.
27. Zafar S., Zachar J. J. Evaluation of HoloHuman augmented reality application as a novel educational tool in dentistry. *European journal of dental education: official journal of the Association for Dental Education in Europe*, 2020. 24(2), 259–265. <https://doi.org/10.1111/eje.12492>
28. Cheng L., Kalvandi M., McKinsty S., Maddahi A., Chaudhary A., Maddahi Y., Tavakoli M. Application of DenTeach in Remote Dentistry Teaching and Learning During the COVID-19 Pandemic: A Case Study. *Frontiers in robotics and AI*, 2021. 7, 611424. <https://doi.org/10.3389/frobt.2020.611424>
29. Hatala R., Cook D. A., Zendejas B., Hamstra S. J., Brydges R. Feedback for simulation-based procedural skills training: a meta-analysis and critical narrative synthesis. *Advances in health sciences education: theory and practice*, 2014. 19(2), 251–272. <https://doi.org/10.1007/s10459-013-9462-8>

30. Sigrist R., Rauter G., Riener R., Wolf P. Augmented visual, auditory, haptic, and multimodal feedback in motor learning: a review. *Psychonomic bulletin & review*, 2013. 20(1), 21–53. <https://doi.org/10.3758/s13423-012-0333-8>
31. Zimmermann M., Mörmann W., Mehl A., Hickel R. Teaching dental undergraduate students restorative CAD/CAM technology: evaluation of a new concept. *International journal of computerized dentistry*, 2019. 22(3), 263–271.
32. Poblete P., McAleer S., Mason A. G. 3D Technology Development and Dental Education: What Topics Are Best Suited for 3D Learning Resources?. *Dentistry journal*, 2020. 8(3), 95. <https://doi.org/10.3390/dj8030095>

References:

1. Kuchyn, I., Reva, T., Stuchynska, N., Kucherenko, I., Mykytenko, P., Chkhalo, O. (2022). Digital competence as a necessary component of the professional competence of pharmaceutical industry employees. *Archives of Pharmacy Practice*. № 13(1). P. 82–87.
2. Carretero, S., Vuorikari, R., Punie, Y. (2017). DigComp 2.1: The Digital Competence Framework for Citizens with eight proficiency levels and examples of use. EUR 28558 EN. P. 48. DOI: 10.2760/38842).
3. Stuchynska, N., Matviienko, M. (2023). Rol vybirkovykh dystsyplin u formuvanni tsyfrovoy kompetentnosti maibutnikh likariv [The role of elective disciplines in the formation of digital competence of future doctors]. *Pedahohika formuvannia tvorchoi osobystosti u vyshchii ta zahalnoosvitnii shkolakh – Pedagogy of creative personality formation in higher and secondary schools*, Vol. 88, P. 138–146. <https://doi.org/10.32840/1992-5786.2023.88.25>. [in Ukrainian]
4. Stuchynska, N. V., Belous, I. V., Mykytenko, P. V. (2021). Use of modern cloud services in radiological diagnostics training. *Wiadomości Lekarskie*. Vol. LXXIV, № 3(2). P. 589–595.
5. Erdilek, D., Gümüştaş, B., & Güray Efes, B. (2023). Digitalization era of dental education: A systematic review. *Dental and medical problems*, 60(3), 513–525. <https://doi.org/10.17219/dmp/156804>
6. Feiner, S. K. (2002). Augmented reality: a new way of seeing. *Scientific American*, 286(4), 48–55. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0402-48>
7. Nassar, H. M., & Tekian, A. (2020). Computer simulation and virtual reality in undergraduate operative and restorative dental education: A critical review. *Journal of dental education*, 84(7), 812–829. <https://doi.org/10.1002/jdd.12138>
8. Moazami, F., Bahrapour, E., Azar, M. R., Jahedi, F., & Moattari, M. (2014). Comparing two methods of education (virtual versus traditional) on learning of Iranian dental students: a post-test only design study. *BMC medical education*, 14, 45. <https://doi.org/10.1186/1472-6920-14-45>
9. Yip, H. K., Smales, R. J., Chu, F. C., Newsome, P. R., & Chow, T. W. (2001). Computer-assisted learning (CAL) in undergraduate clinical dentistry: a review. *SADJ: journal of the South African Dental Association = tydskrif van die Suid-Afrikaanse Tandheelkundige Vereniging*, 56(10), 476–480.
10. Al-Jewair, T. S., Qutub, A. F., Malkhassian, G., & Dempster, L. J. (2010). A systematic review of computer-assisted learning in endodontics education. *Journal of dental education*, 74(6), 601–611.
11. Mileman, P. A., Van Den Hout, W. B., & Sanderink, G. C. H. (2003). Randomized controlled trial of a computer-assisted learning program to improve caries detection from bitewing radiographs. *Dentomaxillofacial Radiology*, 32(2), 116–123.
12. Wenzel, A., Matzen, L. H., Spin-Neto, R., & Schropp, L. (2020). Effect of computer-assisted-learning and simulation clinics on dental students' cognitive and performance skills: Panoramic image errors related to patient's head position. *Dentomaxillofacial Radiology*, 49(7), 20200154.
13. Jokstad, A. (2017). Computer-assisted technologies used in oral rehabilitation and the clinical documentation of alleged advantages—a systematic review. *Journal of oral rehabilitation*, 44(4), 261–290.
14. Woelber, J. P., Hilbert, T. S., & Ratka-Krüger, P. (2012). Can easy-to-use software deliver effective e-learning in dental education? A randomised controlled study. *European journal of dental education: official journal of the Association for Dental Education in Europe*, 16(3), 187–192. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0579.2012.00741.x>
15. Ludwig, B., Bister, D., Schott, T. C., Lisson, J. A., & Hourfar, J. (2016). Assessment of two e-learning methods teaching undergraduate students cephalometry in orthodontics. *European journal of dental education: official journal of the Association for Dental Education in Europe*, 20(1), 20–25. <https://doi.org/10.1111/eje.12135>
16. Towers, A., Field, J., Stokes, C., Maddock, S., & Martin, N. (2019). A scoping review of the use and application of virtual reality in pre-clinical dental education. *British dental journal*, 226(5), 358–366. <https://doi.org/10.1038/s41415-019-0041-0>
17. Urbankova, A. (2010). Impact of computerized dental simulation training on preclinical operative dentistry examination scores. *Journal of dental education*, 74(4), 402–409.
18. LeBlanc, V. R., Urbankova, A., Hadavi, F., & Lichtenthal, R. M. (2004). A preliminary study in using virtual reality to train dental students. *Journal of dental education*, 68(3), 378–383.
19. Eve, E. J., Koo, S., Alshihri, A. A., Cormier, J., Kozhenikov, M., Donoff, R. B., & Karimbux, N. Y. (2014). Performance of dental students versus prosthodontics residents on a 3D immersive haptic simulator. *Journal of dental education*, 78(4), 630–637.
20. Soares, P. V., de Almeida Milito, G., Pereira, F. A., Reis, B. R., Soares, C. J., de Sousa Menezes, M., & de Freitas Santos-Filho, P. C. (2013). Rapid prototyping and 3D-virtual models for operative dentistry education in Brazil. *Journal of dental education*, 77(3), 358–363.
21. Zafar, S., Siddiqi, A., Yasir, M., & Zachar, J. J. (2021). Pedagogical development in local anaesthetic training in paediatric dentistry using virtual reality simulator. *European archives of paediatric dentistry: official journal of the European Academy of Paediatric Dentistry*, 22(4), 667–674. <https://doi.org/10.1007/s40368-021-00604-7>

22. Ahmady, S., Kallestrup, P., Sadoughi, M. M., Katibeh, M., Kalantarion, M., Amini, M., & Khajehali, N. (2021). Distance learning strategies in medical education during COVID-19: A systematic review. *Journal of education and health promotion*, 10, 421. https://doi.org/10.4103/jehp.jehp_318_21
23. Akhras, A., ElSaban, M., Tamil Selvan, V., Alzaabi, S. Z., Senok, A., Zary, N., & Ho, S. B. (2023). An Inquiry-Based Distance Learning Tool for Medical Students Under Lockdown (“COVID-19 Rounds”): Cross-Sectional Study. *JMIR medical education*, 9, e40264. <https://doi.org/10.2196/40264>
24. Altaf, R., Kling, M., Hough, A., Baig, J., Ball, A., Goldstein, J., Brunworth, J., Chau, C., Dybas, M., Jacobs, R. J., & Costin, J. (2022). The Association Between Distance Learning, Stress Level, and Perceived Quality of Education in Medical Students After Transitioning to a Fully Online Platform. *Cureus*, 14(4), e24071. <https://doi.org/10.7759/cureus.24071>
25. Kuchyn Y. L., Kaniura O. A., Melnyk V. S., Stuchynska N. V., Mykytenko P. V. (2022). Symuliatyini tekhnolohii u systemi pidhotovky maibutnykh likariv v umovakh Covid-19 [Simulation technologies in the system of training future doctors in the conditions of Covid-19]. *Naukovyi chasopys NPU imeni M.P. Drahomanova. Serii 5. Pedagogichni nauky: realii ta perspektyvy: Zbirnyk naukovykh prats. – Scientific journal of the NPU named after M.P. Drahomanova. Series 5. Pedagogical sciences: realities and prospects: Collection of scientific works*. Kyiv: Helvetica Publishing House. Vol. 86. P. 132–142. [in Ukrainian]
26. Kuchyn I. L., Vlasenko O. M., Melnyk V. S., Stuchynska N. V., Mykytenko P. V., Kucherenko I. I. (2022). Simulation training and virtual patients as a component of classroom training of future doctors under Covid-19 conditions. *Wiadomości lekarskie*. Vol. LXXV, № 5(1), P. 1117–1122.
27. Zafar, S., & Zachar, J. J. (2020). Evaluation of HoloHuman augmented reality application as a novel educational tool in dentistry. *European journal of dental education: official journal of the Association for Dental Education in Europe*, 24(2), 259–265. <https://doi.org/10.1111/eje.12492>
28. Cheng, L., Kalvandi, M., McKinstry, S., Maddahi, A., Chaudhary, A., Maddahi, Y., & Tavakoli, M. (2021). Application of DenTeach in Remote Dentistry Teaching and Learning During the COVID-19 Pandemic: A Case Study. *Frontiers in robotics and AI*, 7, 611424. <https://doi.org/10.3389/frobt.2020.611424>
29. Hatala, R., Cook, D. A., Zendejas, B., Hamstra, S. J., & Brydges, R. (2014). Feedback for simulation-based procedural skills training: a meta-analysis and critical narrative synthesis. *Advances in health sciences education: theory and practice*, 19(2), 251–272. <https://doi.org/10.1007/s10459-013-9462-8>
30. Sigrist, R., Rauter, G., Riener, R., & Wolf, P. (2013). Augmented visual, auditory, haptic, and multimodal feedback in motor learning: a review. *Psychonomic bulletin & review*, 20(1), 21–53. <https://doi.org/10.3758/s13423-012-0333-8>
31. Zimmermann, M., Mörmann, W., Mehl, A., & Hickel, R. (2019). Teaching dental undergraduate students restorative CAD/CAM technology: evaluation of a new concept. *International journal of computerized dentistry*, 22(3), 263–271.
32. Poblete, P., McAleer, S., & Mason, A. G. (2020). 3D Technology Development and Dental Education: What Topics Are Best Suited for 3D Learning Resources?. *Dentistry journal*, 8(3), 95. <https://doi.org/10.3390/dj8030095>