

УДК 611:378.147:004.925.84

DOI <https://doi.org/10.32782/health-2026.1.42>

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

ВИКОРИСТАННЯ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ВИКЛАДАННІ НОРМАЛЬНОЇ АНАТОМІЇ ЛЮДИНИ

Кривов'яз Сергій Олександрович,кандидат медичних наук, доцент,
доцент кафедри фізичної терапії, ерготерапії
Хмельницького національного університету
ORCID: 0000-0001-6599-1392**Майструк Микола Іванович,**доктор наук з фізичного виховання і спорту,
професор кафедри фізичної терапії, ерготерапії
Хмельницького національного університету
ORCID: 0000-0002-0579-479X**Шевчук Тетяна Яківна,**кандидат біологічних наук,
професор кафедри фізичної терапії та ерготерапії
Волинського національного університету імені Лесі Українки
ORCID: 0000-0002-0598-8391

У статті розглянуто застосування адитивних технологій, зокрема FDM (Fused Deposition Modeling) 3D-друку, для виготовлення навчальних макетів кісток людського скелета у контексті викладання нормальної анатомії. Проаналізовано можливості використання друкованих моделей для теоретичної підготовки та практичного навчання студентів медичних і фізіотерапевтичних спеціальностей. Визначено переваги застосування 3D-друкованих кісток для організації навчального процесу, практичних занять та екзаменаційного оцінювання. Особливо виділено перспективний напрям застосування таких макетів для підготовки пошукових груп, які здійснюють пошук та ідентифікацію загиблих воїнів. Обґрунтовано, що навчання таких груп із використанням реалістичних анатомічних моделей є критично важливим гуманітарним завданням, що сприяє збереженню людської гідності та національної пам'яті. Представлено конкретні приклади реалізованих навчальних комплектів та перспективи впровадження технології у вітчизняну освіту й гуманітарну діяльність.

Ключові слова: адитивні технології, 3D-друк, FDM, нормальна анатомія, навчальні моделі кісток, підготовка здобувачів вищої освіти, пошукові групи, ідентифікація загиблих.

Serhii Kryvoviaz, Mykola Maistruk, Tetiana Shevchuk. Application of additive technologies in teaching normal human anatomy

The article examines the application of additive technologies, particularly FDM (Fused Deposition Modeling) 3D printing, for the production of educational models of human skeleton bones in the context of teaching normal human anatomy. The possibilities of using printed models for theoretical preparation and practical training of students in medical and physiotherapy specialties are analyzed. The advantages of 3D-printed bone models for organizing the educational process, practical classes, and examination assessment are identified. A promising direction for using such models to train search groups engaged in the search and identification of fallen soldiers is separately highlighted. It is substantiated that training such groups using realistic anatomical models is a critically important humanitarian task that contributes to preserving human dignity and national memory. Specific examples of implemented educational sets and prospects for implementing the technology in domestic education and humanitarian activities are presented.

Key words: additive technologies, 3D printing, FDM, normal anatomy, bone educational models, student training, search groups, identification of the dead.

Вступ. Вивчення нормальної анатомії людини є фундаментом медичної освіти. Якість засвоєння анатомічних знань студентами безпосередньо впливає на їхню подальшу клінічну компетентність, здатність до діагностики та планування лікування. Традиційно основними засобами

навчання анатомії слугують трупний матеріал, заводські пластикові муляжі та атласи. Проте кожен із цих підходів має суттєві обмеження: трупний матеріал потребує особливих умов зберігання, дорогий у підготовці та доступний не у всіх закладах; стандартні пластикові муляжі від-

творюють типову анатомію і не дозволяють маніпулювати окремими кістками; паперові атласи не дають тривимірного досвіду.

Адитивні технології, зокрема FDM 3D-друк (моделювання методом наплавлення), відкривають принципово нові можливості для вирішення цих проблем. Технологія FDM дозволяє відтворити будь-яку анатомічну форму з достатньою точністю за відносно невисокою вартістю, використовуючи загальнодоступні матеріали. Файли 3D-моделей людських кісток у форматах STL або OBJ доступні на відкритих платформах (Thingiverse, Printables, NIH 3D Print Exchange), або можуть бути отримані шляхом сегментації КТ-знімків реальних пацієнтів.

Особливої актуальності ця тема набуває в контексті триваючої збройної агресії проти України. З одного боку, зростає потреба в ефективній підготовці медичних фахівців в умовах обмеженого доступу до традиційних ресурсів. З іншого боку – перед державою та суспільством постало завдання гідного пошуку, ідентифікації та поховання загиблих воїнів. Пошукові групи, які займаються цим найпочеснішим і водночас найважчим гуманітарним завданням, потребують спеціальної підготовки з основ остеології та правильного поводження з кістковими рештками. Саме тут 3D-друковані анатомічні моделі можуть відігравати незамінну роль.

Теоретичні аспекти використання 3D-технологій у медичній освіті розглядалися у роботах багатьох зарубіжних дослідників. Wu та співавтори [1] аргументовано стверджують, що застосування 3D-моделей у навчанні анатомії підвищує просторове мислення студентів та покращує результати засвоєння матеріалу. McMenamin P.G. та ін. [2] продемонстрували, що якість навчання при використанні 3D-моделей є порівнянною з навчанням на трупному матеріалі. Дослідження Lim K.H.A. та колег [3] показало, що студенти надають перевагу 3D-моделям перед традиційними муляжами через їх тактильність та можливість маніпулювання. Однак питання системного впровадження FDM-друку для навчання анатомії в Україні, а тим більше для потреб пошукових груп, залишається практично нерозробленим.

Метою даної роботи є обґрунтування доцільності та демонстрація практичного досвіду використання FDM 3D-друку для виготовлення навчальних моделей кісток людського скелета в контексті викладання нормальної анатомії, підготовки студентів до практичних занять та іспи-

тів, а також для навчання пошукових груп, що займаються пошуком загиблих воїнів.

FDM (Fused Deposition Modeling) – найпоширеніший метод адитивного виробництва, що ґрунтується на пошаровому нанесенні розплавленого термопластичного матеріалу. Принтери цього класу є найбільш доступними за вартістю (від 10 000 грн. за базові моделі) та прості в експлуатації, що робить їх оптимальним вибором для навчальних закладів з обмеженим бюджетом [4].

Для виготовлення анатомічних моделей кісток найбільш підходящими матеріалами є:

– PLA (полілактид) – найзручніший матеріал для навчальних моделей: легко друкується, має достатню твердість для відтворення кортикальної кістки, безпечний, відносно недорогий (350-600 грн./кг). Колір – білий або кістково-жовтий – добре передає зовнішній вигляд реальних кісток;

– PETG (поліетилентерефталат-гліколь) – більш міцний та вологостійкий матеріал, що підходить для моделей, які перебуватимуть у постійному використанні та потребують тривалої служби;

– TPU (термополіуретан) – гнучкий матеріал, що може використовуватись для відтворення хрящової тканини, міжхребцевих дисків та інших пружних структур.

Точність відтворення анатомічних деталей при FDM-друці залежить від висоти шару (0,1–0,3 мм) та діаметра сопла (0,4–0,8 мм). При виборі висоти шару 0,16 мм і менше моделі демонструють достатній рівень деталізації для ідентифікації основних анатомічних орієнтирів, горбистостей, ямок та суглобових поверхонь [5].

Для друку анатомічних моделей кісток можуть використовуватись такі джерела 3D-файлів:

1. Відкриті репозиторії (NIH 3D Print Exchange, Thingiverse, Printables) – містять готові STL-файли кісток, перевірені науковою спільнотою та рекомендовані для навчальних цілей;

2. Сегментація медичних зображень – перетворення КТ або МРТ-сканів у 3D-моделі за допомогою програмного забезпечення (3D Slicer, Materialise Mimics, OsiriX). Цей підхід дозволяє отримати патологічно змінені або варіантні форми кісток;

3. CAD-моделювання – ручне або напівавтоматичне створення моделей у програмах Blender, ZBrush, Fusion 360 на основі анатомічних атласів;

4. Комерційні бібліотеки анатомічних моделей – спеціалізовані медичні платформи (AnatomyWarehouse, 3D Organon) пропонують

верифіковані моделі з точною анатомічною деталізацією.

Досвід виготовлення навчального комплексу кісток людського скелета дозволяє сформулювати ряд практичних рекомендацій. Для більшості кісток оптимальними параметрами є висота шару 0,2 мм, заповнення 15-25% (тип «гіроїд» або «соти»), товщина стінки 2–3 периметри (0,8–1,2 мм). Тривалість друку однієї кістки варіює від 1 години (фаланги, дрібні кістки стопи) до 8–12 годин (стегнова кістка, кістки

тазу). Загальний комплект кісток скелета (більше 200 елементів, включаючи хребці, ребра, кістки черепа, верхніх і нижніх кінцівок, дрібні кістки) вимагає близько 200–300 годин друку та 3 кг філаменту [6].

Після друку моделі проходять постобробку: видалення підтримок, шліфування суглобових поверхонь, за необхідності – покриття акриловим лаком для підвищення стійкості до зносу. Готові моделі сортуються та зберігаються в маркованих контейнерах або пакетах по анатомічних групах:



Застосування 3D-друкованих моделей у навчанні анатомії людини

Теоретична підготовка та практичні заняття

Тривимірні фізичні моделі кісток мають суттєві переваги перед двовимірними зображеннями та комп'ютерними симуляторами у формуванні просторового розуміння анатомії. Студент може тримати кістку в руках, відчувати її масу, форму, орієнтувати відносно власного тіла – що є критично важливим для засвоєння понять про осі руху в суглобах, прикріплення м'язів, топографічні орієнтири [7]. Це особливо важливо для дисциплін, що передують клінічній практиці: нормальна анатомія, травматологія та ортопедія, неврологія, фізична реабілітація.

Конкретні форми використання 3D-моделей у навчальному процесі можуть включати:

- аудиторне вивчення окремих кісток: студенти ідентифікують анатомічні утворення, описують суглобові поверхні, демонструють правильну орієнтацію кістки;

- складання скелета: робота в групах по 2–3 студенти зі збирання повного скелета або його окремих відділів (пояс верхньої кінцівки, хребетний стовп, кістки черепа) формує системне розуміння взаємовідносин між кістками;

- порівняльний аналіз симетричних сегментів: наявність парних кісток обох сторін дозволяє проводити порівняльний аналіз та відпрацю-

вати навички відрізнення правосторонніх і лівосторонніх елементів;

- тематичні станції: розкладання тематичних наборів (наприклад, усі хребці за відділами; кістки кисті та стопи) з описом відмінностей між ними;

- моделювання переломів та варіантів розвитку: за допомогою цілеспрямованого проектування можна надрукувати кістки з типовими лініями переломів, симфізами, анатомічними варіантами для опрацювання складних клінічних ситуацій.

Екзаменаційне оцінювання

Однією з найцінніших переваг 3D-друкованих моделей є їх використання для практичного іспиту з анатомії. Формат «кістковий іспит» (Bone practical exam), який широко використовується у провідних медичних школах світу, передбачає демонстрацію студентом знань безпосередньо на анатомічному матеріалі, а не на паперовому тесті [8]. Наявність комплексу 3D-друкованих кісток дозволяє:

1. Організувати станційний (OSCE-подібний) формат оцінювання, де студент переходить від кістки до кістки і відповідає на запитання викладача або виконує завдання на картці;

2. Проводити «сліпе» визначення кістки, коли студент має ідентифікувати кістку, вказати її назву, відділ, правосторонню чи лівосторонню приналежність, назвати анатомічні утворення;

3. Формувати варіативні екзаменаційні завдання завдяки тому, що комплект містить кілька десятків різних кісток, що унеможливує «вивчення» правильних відповідей задалегідь;

4. Забезпечити об'єктивність оцінювання: чіткі критерії ідентифікації анатомічних утворень і правильної орієнтації кістки піддаються однозначній перевірці.

Суттєвою перевагою є можливість одночасного проведення іспиту у великій академічній групі: на відміну від трупного матеріалу, де кількість робочих місць обмежена, 3D-друковані комплекти можна тиражувати в необхідній кількості. Один комплект, виготовлений за 2–3 місяці одним FDM-принтером, може використовуватись роками.

Застосування для підготовки пошукових груп

Контекст та гуманітарне значення

Із початком повномасштабного вторгнення росії в Україну перед суспільством постало завдання, що не має аналогів у новітній вітчизняній історії за своїм масштабом – повернення тіл загиблих воїнів з полів бойових дій, їх ідентифікація та гідне поховання. Цей процес здійснюється спеціалізованими пошуковими та ексгумаційними групами, до складу яких входять як військовослужбовці, так і цивільні волонтери та фахівці [9].

Робота пошукових груп є одночасно фізично важкою, психологічно виснажливою та технічно складною. Одним із ключових завдань є правильне виявлення, фіксація та збір кісткових решток – особливо у випадках, коли тіла знаходяться у стані значного розкладання або скелетизації, перебувають у важкодоступних місцях, пошкоджені внаслідок вибухів або тривалого впливу навколишнього середовища. Фундаментальна проблема полягає в тому, що більшість членів пошукових груп не мають базової анатомічної підготовки і не можуть впевнено ідентифікувати окремі кістки, визначити їх приналежність до конкретної особи або відрізнити людські кістки від тваринних [10].

Наслідки недостатньої підготовки є трагічними: кістки можуть бути пропущені на місці, перемішані, неправильно атрибутовані або втрачені. Це унеможливує ДНК-ідентифікацію, позбавляє родини можливості отримати рідних для поховання, а Україну – можливості повернути кожного бійця з ім'ям. Саме тому навчання пошукових груп – це не просто освітнє чи технічне завдання, це питання людської гідності та національної пам'яті.

Аналогічний підхід використовується в рамках судово-медичної антропології та гуманітарного розмінування у різних країнах світу. Досвід Міжнародної комісії з питань зниклих безвісти (ICMP) та Міжнародного комітету Червоного Хреста (ICRC) свідчить, що підготовка польового персоналу з остеології є обов'язковою умовою ефективного проведення ексгумацій [11].

Навчальна програма для пошукових груп

На основі потреб пошукових груп та власного досвіду викладання анатомії можна сформувані адаптовану навчальну програму з основ остеології для немедичного персоналу. Ключові теми такої програми включають:

– Загальна будова скелета людини: відділи, кількість кісток, анатомічні терміни напрямків і положень (проксимальний, дистальний, медіальний, латеральний тощо);

– Ідентифікація великих трубчастих кісток кінцівок: стегнова, великогомілкова, малогомілкова, плечова, кістки передпліччя – за формою, розміром, характерними анатомічними орієнтирами;

– Кістки тазу та хребетний стовп: ідентифікація хребців за відділами (шийний, грудний, поперековий, крижовий), форма тазових кісток;

– Кістки черепа: ідентифікація основних кісток мозкового і лицевого черепа, нижня щелепа; ознаки, що дозволяють встановити стать та приблизний вік;

– Дрібні кістки: ребра (числення від 1 до 12, правосторонні/лівосторонні), грудина, ключиця, лопатка, кістки кисті та стопи, хребетний стовп;

– Відмінність людських кісток від тваринних: порівняльна морфологія, типові помилки на полі;

– Правила роботи на місці: фіксація розташування решток до їх переміщення, маркування, пакування, документування.

Переваги 3D-моделей для підготовки пошукових груп

Використання 3D-друкованих моделей кісток для навчання пошукових груп має низку суттєвих переваг порівняно з альтернативними підходами (Табл. 1).

Ключовою педагогічною перевагою є те, що 3D-моделі можна спеціально виготовити у «польовому» варіанті: роздруковані фрагментами, з позначеннями, що імітують типові пошкодження, у масштабі 1:1 відносно реального скелета. Це дозволяє тренувати практичні навички у максимально наближених до реальних умовах без психологічної травматизації учасників на початковому етапі навчання [12].

Таблиця 1

Критерій	3D-друковані моделі	Альтернативи
Доступність	Можуть бути виготовлені будь-де, де є FDM-принтер	Реальний остеологічний матеріал: обмежений доступ, юридичні обмеження
Безпека	Абсолютно безпечні, не потребують ЗІЗ	Реальні кістки: ризик інфекцій, нерегульовані правові питання
Тиражованість	Можна надрукувати необхідну кількість комплектів	Реальний матеріал: одиничний, не тиражується
Психологічний аспект	Моделі не викликають психологічної напруги, дозволяють спокійно вчитися	Реальні кістки: сильний емоційний вплив, не підходить для початкового навчання
Варіативність	Можна друкувати кістки різного масштабу, пошкоджені форми, фрагменти	Пластикові муляжі: фіксована форма, неможливість варіації
Вартість	Комплект скелета: 2000-3000 грн. собівартості матеріалів	Комерційний муляж скелета: 12 000–80 000 грн.

Методика проведення навчань

На основі запропонованого підходу може бути розроблена дводенна навчальна програма для пошукових груп:

– День 1 (теоретичний з початковою практикою ідентифікації): вивчення загальної будови скелета, робота з комплектом великих кісток – ідентифікація, орієнтація, назви основних анатомічних орієнтирів;

– День 2 (практичні сценарії): відпрацювання в командах – збирання повного скелета, ідентифікація «розсипаних» кісток на площині, робота з «фрагментованими» кістками (спеціально надрукованими фрагментами), документування знахідок.

Після завершення базового курсу рекомендовано провести практичні заняття зі кваліфікованим судово-медичним експертом або досвідченим патологоанатомом для відпрацювання навичок у роботі з реальним матеріалом у контрольованих умовах. 3D-моделі в цьому контексті виконують роль підготовчого інструменту – знижують поріг входу, формують впевненість і базові знання.

Економічний аналіз та організаційні аспекти

Виготовлення навчального комплексу кісток людського скелета методом FDM є економічно обґрунтованим рішенням для вітчизняних навчальних закладів. Розрахунок собівартості повного комплексу (200+ кісток та фрагментів) наведено в Таблиці 2.

Для порівняння: вартість одного фабричного пластикового муляжу скелета становить від 12 000 до 80 000 грн., при цьому він є одиничним і не дозволяє маніпулювати окремими кістками. Отже, 3D-друк забезпечує економію від 85 до 97% витрат при одночасному підвищенні педагогічної цінності. Один FDM-принтер середнього класу вартістю 12 000–38 000 грн. здатен виготовити не менше 12 повних навчальних комплектів на рік, що окупає вкладення протягом першого ж навчального циклу [13].

Організаційно впровадження може здійснюватися у кількох форматах: придбання принтера кафедрою та самостійне виготовлення комплектів; залучення факультету технологій або фізики університету з наявними принтерами; грантове фінансування через міжнародні освітні програми або фонди підтримки медичної освіти в Україні.

Обмеження та напрями вдосконалення

Попри значні переваги, FDM 3D-друк має ряд обмежень для застосування в анатомічній освіті. По-перше, роздільна здатність методу є нижчою порівняно з SLA або SLS, що обмежує деталізацію дуже дрібних анатомічних структур (наприклад, дрібних горбиків і ямок шийних хребців, кісточок середнього вуха). По-друге, моделі з PLA не відтворюють механічні властивості реальних кісток – вони є значно крихкішими і можуть розколюватись при падінні. По-третє, монохромні моделі не передають кольорових відмінностей між кортикальною та губчастою

Таблиці 2

Стаття витрат	Вартість (грн.)	Примітки
Матеріали (філамент PLA або PETG, 3,0 кг)	1500–2000	за ринковими цінами 2026 року
Електроенергія (200–300 год. друку)	400–650	при споживанні 0,35 кВт на годину
Знос принтера (амортизація)	300–500	розрахунково
Постобробка (матеріали)	100–200	шліфпапір, лак
РАЗОМ	2300–3350	

кісткою, хрящовими поверхнями, судинними отворами [14].

Перспективними напрямками вдосконалення є: перехід до SLA-друку для моделей із підвищеними вимогами до деталізації (кістки черепа, хребці); використання мультиматеріального друку для відтворення хрящів і зв'язок; впровадження кольорового друку або фарбування моделей для виділення клінічно значущих зон; розробка цифрових бібліотек верифікованих STL-файлів для кожного навчального модуля анатомії.

Висновки.

– Проведений аналіз та практичний досвід використання FDM 3D-друку для виготовлення навчальних комплектів кісток людського скелета дозволяють зробити такі висновки:

– FDM 3D-друк є технологічно доступним, економічно обґрунтованим і педагогічно ефективним методом виготовлення навчальних анатомічних моделей. Собівартість повного комплекту кісток скелета складає близько 2300-3350 грн., що у 6–30 разів дешевше аналогічних фабричних виробів.

– 3D-друковані моделі кісток суттєво розширюють можливості навчання нормальної анатомії: забезпечують тактильний досвід, дозволяють маніпулювати окремими кістками, формують

просторове мислення, можуть використовуватись для тиражування на весь курс студентів одночасно.

– Формат практичного «кісткового іспиту» з 3D-моделями є ефективним інструментом об'єктивного оцінювання знань студентів з анатомії, дозволяє стандартизувати екзаменаційні завдання та проводити оцінювання у великих групах.

– Впровадження FDM 3D-друку у навчальний процес кафедр потребує мінімальної інфраструктури (один принтер, запас філаменту, відкриті STL-файли) та може бути реалізоване у більшості університетів України вже сьогодні. Пріоритетним завданням є розробка верифікованих методичних матеріалів та стандартів якості для навчальних анатомічних моделей.

Застосування 3D-друкованих моделей кісток для підготовки пошукових груп є перспективним і соціально значущим напрямом. Базові знання з остеології, підкріплені практичними навичками роботи з анатомічними моделями, підвищують ефективність пошукових операцій та зменшують ризик втрати чи пошкодження кісткових решток загиблих воїнів. Це є внеском не лише в освіту, а й у збереження людської гідності та національної пам'яті України.

ЛІТЕРАТУРА

1. Wu A.M., Wang K., Wang J.S., Chen C.H., Yang X.D., Ni W.F., Hu Y.Z. The addition of 3D printed models to enhance the teaching and learning of bone spatial anatomy and fractures for undergraduate students: a randomized controlled study. *Annals of Translational Medicine*. 2018. Vol. 6(20). P. 403.
2. McMenamin P.G., Quayle M.R., McHenry C.R., Adams J.W. The production of anatomical teaching resources using three-dimensional (3D) printing technology. *Anatomical Sciences Education*. 2014. Vol. 7(6). P. 479–486.
3. Lim K.H.A., Loo Z.Y., Goldie S.J., Adams J.W., McMenamin P.G. Use of 3D printed models in medical education: a randomized control trial comparing 3D prints versus cadaveric materials for learning external cardiac anatomy. *Anatomical Sciences Education*. 2016. Vol. 9(3). P. 213–221.
4. Ганєєв Т. Р., Прибитько І. О., Руденко М. М., Петренко І. О. Адитивні технології: навч. посіб. Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка», 2023. 105 с.
5. Tack P., Victor J., Gemmel P., Annemans L. 3D-printing techniques in a medical setting: a systematic literature review. *BioMedical Engineering OnLine*. 2016. Vol. 15. P. 115.
6. Chen S., Pan Z., Wu Y., et al. The role of three-dimensional printed models of skull in anatomy education: a randomized controlled trial. *Scientific Reports*. 2017. Vol. 7(1). Article number: 575.
7. Yamine K., Violato C. A meta-analysis of the educational effectiveness of three-dimensional visualization technologies in teaching anatomy. *Anatomical Sciences Education*. 2015. Vol. 8(6). P. 525–538.
8. Smith C.F., Tollemache N., Covill D., Johnston M. Take away body parts! An investigation into the use of 3D-printed anatomical models in undergraduate anatomy education. *Anatomical Sciences Education*. 2018. Vol. 11(1). P. 44–53.
9. Міжнародний комітет Червоного Хреста (ICRC). Missing Persons and Their Families: International Legal Framework. Женева: ICRC, 2023. 11 с. URL: https://www.icrc.org/sites/default/files/document/file_list/missing_persons_and_their_families.pdf
10. Tidball-Binz M. Managing the dead in catastrophes: guiding principles and practical recommendations for first responders. *International Review of the Red Cross*. 2007. Vol. 89. P. 421–442.
11. International Commission on Missing Persons (ICMP). Standards and Guidelines for Forensic Investigation of Missing Persons. Гаара: ICMP, 2019. URL: <https://www.icmp.int/>
12. Ebert L.C., Thali M.J., Ross S. Getting in touch – 3D printing in forensic imaging. *Forensic Science International*. 2011. Vol. 211(1–3). P. e1–e6.

13. Ballard D.H., Mills P., Duszak R. Jr., et al. Medical 3D printing cost-savings in orthopedic and maxillofacial surgery: cost analysis of operating room time saved with 3D printed anatomic models and surgical guides. *Academic Radiology*. 2020. Vol. 27(8). P. 1103–1113.

14. Pugliese L., Marconi S., Negrello E., et al. The clinical use of 3D printing in surgery. *Updates in Surgery*. 2018. Vol. 70(3). P. 381–388.

REFERENCES

1. Wu A.M., Wang K., Wang J.S., Chen C.H., Yang X.D., Ni W.F., Hu Y.Z. The addition of 3D printed models to enhance the teaching and learning of bone spatial anatomy and fractures for undergraduate students: a randomized controlled study. *Annals of Translational Medicine*. 2018. Vol. 6(20). P. 403.

2. McMenemy P.G., Quayle M.R., McHenry C.R., Adams J.W. The production of anatomical teaching resources using three-dimensional (3D) printing technology. *Anatomical Sciences Education*. 2014. Vol. 7(6). P. 479–486.

3. Lim K.H.A., Loo Z.Y., Goldie S.J., Adams J.W., McMenemy P.G. Use of 3D printed models in medical education: a randomized control trial comparing 3D prints versus cadaveric materials for learning external cardiac anatomy. *Anatomical Sciences Education*. 2016. Vol. 9(3). P. 213–221.

4. Ganeev T. R. et al. (2023) Addytyvni tehnologii: navchalnyi posibnyk [Additive technologies: teaching guide]. Chernihiv: National University "Chernihiv Polytechnic", 2023. 105 p. [in Ukrainian]

5. Tack P., Victor J., Gemmel P., Annemans L. 3D-printing techniques in a medical setting: a systematic literature review. *BioMedical Engineering OnLine*. 2016. Vol. 15. P. 115.

6. Chen S., Pan Z., Wu Y., et al. The role of three-dimensional printed models of skull in anatomy education: a randomized controlled trial. *Scientific Reports*. 2017. Vol. 7(1). Article number: 575.

7. Yammine K., Violato C. A meta-analysis of the educational effectiveness of three-dimensional visualization technologies in teaching anatomy. *Anatomical Sciences Education*. 2015. Vol. 8(6). P. 525–538.

8. Smith C.F., Tollemache N., Covill D., Johnston M. Take away body parts! An investigation into the use of 3D-printed anatomical models in undergraduate anatomy education. *Anatomical Sciences Education*. 2018. Vol. 11(1). P. 44–53.

9. International Committee of the Red Cross (ICRC). Missing Persons and Their Families: International Legal Framework. Geneva: ICRC, 2020. 11 p. URL: https://www.icrc.org/sites/default/files/document/file_list/missing_persons_and_their_families.pdf

10. Tidball-Binz M. Managing the dead in catastrophes: guiding principles and practical recommendations for first responders. *International Review of the Red Cross*. 2007. Vol. 89. P. 421–442.

11. International Commission on Missing Persons (ICMP). Standards and Guidelines for Forensic Investigation of Missing Persons. The Hague: ICMP, 2019. URL: <https://www.icmp.int/>

12. Ebert L.C., Thali M.J., Ross S. Getting in touch – 3D printing in forensic imaging. *Forensic Science International*. 2011. Vol. 211(1–3). P. e1–e6.

13. Ballard D.H., Mills P., Duszak R. Jr., et al. Medical 3D printing cost-savings in orthopedic and maxillofacial surgery: cost analysis of operating room time saved with 3D printed anatomic models and surgical guides. *Academic Radiology*. 2020. Vol. 27(8). P. 1103–1113.

14. Pugliese L., Marconi S., Negrello E., et al. The clinical use of 3D printing in surgery. *Updates in Surgery*. 2018. Vol. 70(3). P. 381–388.

Дата першого надходження статті до видання: 27.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026