

**Гончарук-Хомин Мирослав Юрійович,**  
доктор філософії,  
завідувач кафедри терапевтичної стоматології,  
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»  
ORCID ID: 0000-0002-7482-3881  
м. Ужгород, Україна

**Брехлічук Павло Павлович,**  
кандидат медичних наук,  
доцент кафедри хірургічної стоматології та клінічних дисциплін,  
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»  
ORCID ID: 0000-0001-6754-5142  
м. Ужгород, Україна

**Мошак Юліанна Валеріївна,**  
PhD-здобувач кафедри стоматології післядипломної освіти,  
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»  
ORCID ID: 0000-0002-8547-5624  
м. Ужгород, Україна

## Віртопсія (віртуальна аутопсія) в судовій стоматології: особливості та перспективи

**Вступ.** Віртопсія або ж віртуальна аутопсія представляє собою науково-практичний підхід, котрий базується на використанні цифрових методів візуалізації з метою ідентифікації та об'єктивізації змін в структурі тіла людини, чи окремої його ділянки, без проведення інвазійних втручань, або ж з мінімізацією обсягу таких до критично-необхідних. **Мета дослідження.** Проаналізувати можливості методу віртопсії як сучасного підходу до об'єктивізації змін стоматологічного статусу на основі цифрового аналізу даних в практиці судової стоматології. **Матеріали та методи.** Акумуляція даних щодо попередніх результатів застосування методу віртопсії у судово-стоматологічній практиці проводилася шляхом пошуку цільових публікацій у системі Google Scholar (<https://scholar.google.com/>) на основі наступних ключових слів «virtopsy», «forensic», «dentistry», «forensic odontology» з використанням функцій розширеного пошуку без застосування жодних фільтрів щодо глибини пошуку та дизайну досліджень, які відбирались для подальшого контент-аналізу. **Результати досліджень та їх обговорення.** Реалізація методу віртопсії в сучасній судово-стоматологічній практиці передбачає накопичення набору цифрових даних про особу через наступні джерела інформації: цифрова медична/стоматологічна документація (дані цифрового реєстру пацієнта, дані цифрової стоматологічної карти пацієнта, дані цифрової пародонтологічної карти), цифрова фотографія (дані цифрового протоколу реєстрації змін стоматологічного статусу в ході лікування та отримані під час проведення судово-стоматологічних досліджень), цифрові інтраоральні скани або ж цифрові скани гіпсових моделей, цифрові реєстрати прикусу, цифрові скани слідів укусу, цифрові дентальні рентгенограми, цифрові томограми (результати конусно-променевої комп'ютерної томографії та магнітно-резонансної томографії), дані трьохмірного сканування/фотографування поверхонь методом фотограмметрії, цифрові зовнішньолицеві 3D скани обличчя. Попри переваги застосування методу віртопсії у стоматологічній практиці існують і певні недоліки, які обмежують його широке провадження, та включають: дороговартісність технології, відсутність уніфікованих стандартів роботи з технологією, обмеженість візуалізації до мінімальних технологічних характеристик використовуваних приладів, неможливість оцінки характеристик запаху та кольору, залежність якості сканування від характеристик досліджуваного поверхонь, ризик втрати окремих даних при суміщенні результатів різних методів візуалізації, не усі патологічні стани можуть бути верифіковані чи диференційовані з використанням методу віртопсії, дефіцит необхідного обсягу доказів та таких високої якості щодо ефективності технології, проблема диференціації артефактів пов'язаних із станом тіла та його змінами до та після смерті. **Висновки.** Переваги застосування методу віртопсії у судово-стоматологічній практиці полягають у швидкості виконання даної процедури, зважаючи на можливості роботи із даними у цифровому середовищі, мінімізації потреби у інвазійних втручаннях та ризиків із ними пов'язаними, перспективі роботи та аналізу даних/доказів у трьохмірному просторі, оптимізації умов для зберігання даних, їх безпечної передачі та доступу до таких із залученням одразу декількох спеціалістів, зменшення впливу ефекту суб'єктивної інтерпретації доказів з полегшенням можливості до перевірки таких через віддалений доступ.

**Ключові слова:** судова стоматологія, віртопсія, віртуальна аутопсія, щелепно-лицева ділянка, конусно-променева комп'ютерна томографія.

**Goncharuk-Khomyn Myroslav Yuriyovich**, PhD, Head of Department of Restorative Dentistry, SHEI "Uzhhorod National University", ORCID ID: 0000-0002-7482-3881, Uzhhorod, Ukraine

**Brekhluchuk Pavlo Pavlovych**, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor at the Department of Surgical Dentistry and Clinical Disciplines, SHEI "Uzhhorod National University", ORCID ID: 0000-0001-6754-5142, Uzhhorod, Ukraine

**Moshak Yulianna Valeriyivna**, PhD-student at the Department of Postgraduate Dental Education, SHEI "Uzhhorod National University", ORCID ID: 0000-0002-8547-5624, Uzhhorod, Ukraine

## Virtopsy (virtual autopsy) in forensic dentistry: features and perspectives

**Introduction.** Virtopsy or virtual autopsy is a scientific and practical approach, which is based on the use of digital imaging methods for the purpose of identifying and objectifying changes within the structure of the human body, or its separate parts, without invasive interventions, or with the minimization of such interventions to a critically minimal necessary extent. **Objective of the research.** To analyze the possibilities of the virtopsy method as a modern approach to the objectification of dental status changes based on the digital analysis of data within the practice of forensic dentistry. **Materials and methods.** Accumulation of data regarding previous results of the virtopsy method application within the forensic dental practice was carried out on the basis of a search for targeted publications in the Google Scholar system (<https://scholar.google.com/>) using the following keywords «virtopsy», «forensic», «dentistry», «forensic odontology» and realizing advanced search functions without applying any filters regarding the depth of the search and the design of the studies that were selected for further content analysis. **Results and discussions.** The implementation of virtopsy in modern forensic dental practice involves the use of a number of methods as sources to obtain digital data about a person: digital medical/dental documentation (data from the patient's digital register, data from the patient's digital dental card, data from the digital periodontal chart), digital photography (data from the digital registration protocol of changes within dental status during treatment and obtained during forensic dental examinations), digital intraoral scans or digital scans of stone casts, digital bite registers, digital scans of bite marks, digital dental radiographs, digital tomograms (cone-beam computed tomography results and magnetic resonance imaging results), data of three-dimensional scanning/photographing of surfaces provided by the photogrammetry method, digital external 3D scans of the face. Despite the advantages of using the virtopsy method in dental practice, there are certain disadvantages that limit its wide implementation, which include following: high cost of the technology, lack of unified standards for working with the technology, limitation of visualization to the minimum technological characteristics of the devices used, impossibility of assessing the characteristics of smell and color, scanning quality dependence on the characteristics of the investigated surfaces, the risk of losing individual data when combining the results of different imaging methods, not all pathological conditions can be verified or differentiated using the virtopsy method, the lack of the necessary amount of evidences and such of high quality regarding the effectiveness of the technology, the problem of differentiating artifacts related to the state of the body and its changes before and after death. **Conclusions.** The advantages of using the virtopsy method in forensic dental practice are the quick manner of providing such procedure, possibility of working with data within a digital environment, minimization of the need for invasive interventions and the risks associated with them, the perspective of processing and analysis of data/evidences within three-dimensional space, optimization of conditions for data storage, safe transfer and access to such data with the possibility of involvement several specialists at once, reduction of the evidence subjective interpretation effect, facilitating the possibility of checking evidences through remote access.

**Key words:** forensic dentistry, virtopsy, virtual autopsy, maxillo-facial region, cone beam computed tomography.

**Вступ.** Попри доступність низки підходів до проведення стоматологічної аутопсії (аутопсії щелепно-лицевої ділянки), усі вони характеризуються високим рівнем інвазивності та обсягом втручань, що передбачає розтин та часткову чи повну екзартикуляцію структур для реєстрації фактичного стану стоматологічного статусу [15]. Віртопсія або ж віртуальна аутопсія представляє собою науково-практичний підхід, котрий базується на використанні цифрових методів візуалізації з метою ідентифікації та об'єктивізації змін в структурі тіла людини, чи окремої його ділянки, без проведення інвазійних втручань, або ж з мінімізацією обсягу таких до критично-необхідних [5, 21, 29, 30, 34]. Первинно підхід віртопсії включав комплексне використання наступних технологій: повного 3D сканування поверхні (CAD фотограмметрія), мультишарової комп'ютерної томографії, магнітно-резонансної томографії та МРТ-спектроскопії [2]. Аналіз 25 випадків використання методу віртопсії перед проведенням класичної аутопсії встановив, що віртопсія характеризується 65% рівнем точності в постановці діагнозу та встановлення причини смерті [33, 36]. Хоча в інших дослідженнях точність віртопсії сягала показників 80-87% [12].

Підхід із специфічним використанням методу віртопсії для дослідження структур суто зубо-щелепового апарату отримав назву «вірдентопсії» [18], хоча така дефініція, насправді, окреслює ділянку інтересу в області зубів та оточуючих альвеолярного відростка/альвеолярної частини щелеп, і не повністю відповідає фактичному обсягу цільових судово-стоматологічних досліджень органів та тканин, які можуть бути проведені в щелепно-лицевій області.

Зростання уваги до методу віртопсії в цілому та в судово-стоматологічній практиці зокрема було відмі-

чено під час пандемії COVID-19 в зв'язку з пошуком нових, адаптованих до відповідних санітарних норм методів, які б забезпечували реалізацію основних цілей клінічної та судово-медичної аутопсії [12, 21].

Крім того в усіх галузях стоматології відмічається загальний тренд до діджиталізації (цифровізації) існуючих підходів із зростанням обсягу первинного пулу цифрових даних про пацієнта, а у випадку судової стоматології – про потерпілу особу [7]. Варто також відмітити зростання ролі телестоматології у сучасній стоматологічній практиці, що дозволяє залучати до процесу обговорення одразу декількох фахівців, таким чином підвищуючи рівень експертного значення їх консенсусного рішення [18]. З іншої сторони можливості телестоматології є специфічним чином обмежені щодо перспективи їх широкого впровадження в судово-стоматологічну практику по причині динамічних змін стоматологічного статусу в розрізі часу, відмінностей використовуваних технологій та варіативних можливостей доступу до таких, та по причині необхідності дотримання відповідних вимог етики та права на анонімність [10].

Зважаючи на тенденцію до цифровізації у різних галузях стоматології доцільним є проведення систематизації даних щодо уже наявного досвіду застосування методу віртопсії (вірдентопсії) у судово-одонтологічній практиці для окреслення потенційних подальших напрямків його вивчення та реалізації у конкретних цілях вітчизняної судово-стоматологічної експертизи, зважаючи на особливості впровадження методу, його фактичні переваги та недоліки. У вітчизняній літературі в принципі відмічається дефіцит даних щодо використання віртопсії у судово-стоматологічній практиці, який повинен бути відповідним чином заповнений, для

окреслення можливостей імплементації даного підходу у роботі відповідних відомств, науково-дослідних центрів та в процесі навчання спеціалістів відповідного профілю.

**Мета.** Проаналізувати можливості методу віртоспії як сучасного підходу до об'єктивізації змін стоматологічного статусу на основі цифрового аналізу даних в практиці судової стоматології.

**Матеріали та методи.** Акумуляція даних щодо попередніх результатів застосування методу віртоспії у судово-стоматологічній практиці проводилася шляхом пошуку цільових публікацій у системі Google Scholar (<https://scholar.google.com/>) на основі наступних ключових слів «virtopsy», «forensic», «dentistry», «forensic odontology» з використанням функцій розширеного пошуку без застосування жодних фільтрів щодо глибини пошуку та дизайну досліджень, які відбирались для подальшого контент-аналізу. До уваги приймалися лише роботи опубліковані англійською мовою. Враховуючи ідентифіковану обмежену кількість публікацій, присвячених конкретно темі віртуальної аутопсії у судово-стоматологічній практиці, для максимізації обсягу первинного пулу наукових робіт, які відповідали поставленій меті даного дослідження, використовували сервіс Connected Papers ([www.connectedpapers.com](http://www.connectedpapers.com)), який дозволяє відслідкувати усі похідні роботи за статусом цитування від оригінальних, а також усі наукові роботи суміжні за тематикою, які передували основним, відібраним у якості таргетних для подальшого контент-аналізу [16, 35] (рис. 1).

Категоріями контент-аналізу відібраних публікацій виступали наступні:

- особливості реалізації методу віртоспії в судово-стоматологічній практиці;
- дані щодо досвіду використання методу віртоспії у судово-стоматологічній практиці;
- конкретні умови та цілі, котрі обумовлюють застосування методу віртоспії у судовій стоматології;

– існуючі недоліки та обмеження щодо широкого застосування методу віртдентоспії у судово-стоматологічній практиці.

Дані, відібрані у після проведеного контент-аналізу по відношенню до кожної із його категорій, були систематизовані у табличному редакторі Microsoft Excel 2019 (Microsoft Office 2019, Microsoft), та представлені нижче у описовій формі.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Оригінальний підхід до віртоспії в судово-медичній практиці передбачає виконання послідовності маніпуляцій, проведення котрих дозволяє максимізувати набір цифрових даних про особу: 3D сканування поверхонь (з використанням стереоскопічних камер та спеціальних фідуціальних маркерів для суміщення результатів сканування із даними томографії), 3D сканування внутрішнього об'єму (з використанням методів томографії), доповнення первинного банку цифрових даних результатами біопсії окремих ділянок (за потреби), які також можуть бути відскановані, а також формування цифрового профілю особи шляхом заповнення цифрової реєстраційної картки [13, 21, 31]. Після отримання усіх даних відбувається суміщення результатів сканування поверхонь та об'ємів, їх блендинг між собою у спеціалізованому програмному забезпеченні та формування цифрової реконструкції [21].

Щодо реалізації методу віртоспії конкретно в сучасній судово-стоматологічній практиці, то такий передбачає накопичення набору цифрових даних про особу через наступні джерела інформації: цифрова медична/стоматологічна документація (дані цифрового реєстру пацієнта, дані цифрової стоматологічної карти пацієнта, дані цифрової пародонтологічної карти), цифрова фотографія (дані цифрового протоколу реєстрації змін стоматологічного статусу в ході лікування та отримані під час проведення судово-стоматологічних досліджень), цифрові інтраоральні скани або ж цифрові скани гіпсових моделей, цифрові реєстрати прикусу,

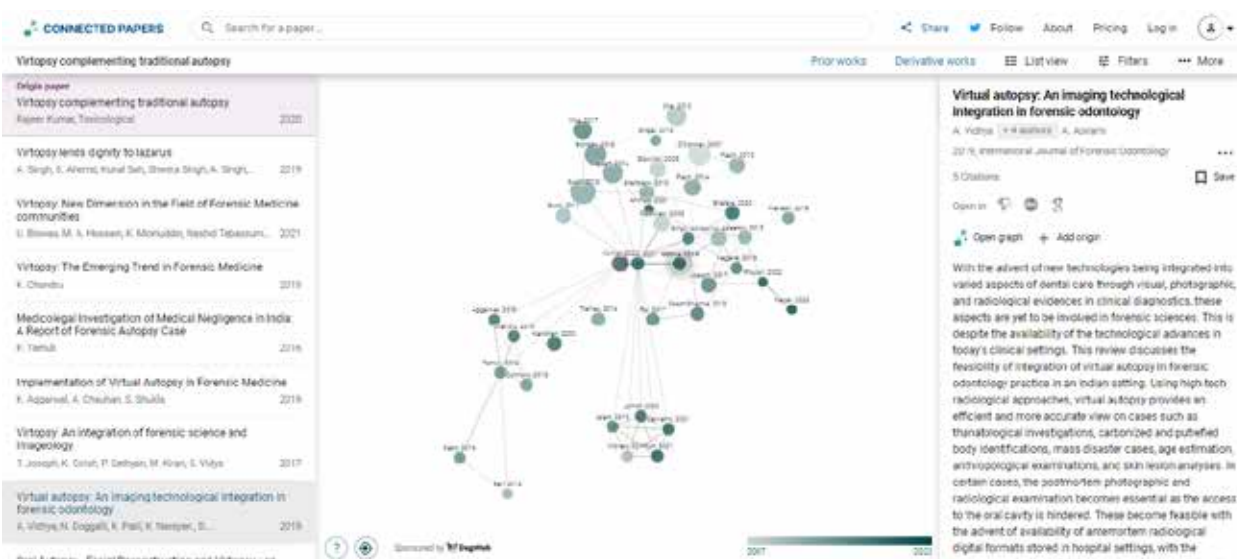


Рис. 1. Інтерфейс сервісу Connected Papers під час пошуку наукових публікацій, асоційованих із застосуванням віртоспії у судово-стоматологічній практиці

цифрові скани слідів укусу, цифрові дентальні рентгенограми, цифрові томограми (результати конусно-променевої компютерної томографії та магнітно-резонансної томографії), дані трьохмірного сканування/фотографування поверхонь методом фотограмметрії, цифрові зовнішньолицеві 3D скани обличчя [11]. Концептуально застосування віртуопсії в судовій стоматології формує умови для: дослідження поверхонь (цифрова фотографія, цифрові скани та дані, отримані методом фотограмметрії) та дослідження об'ємів (КПКТ, МРТ, планіметрична рентгенографія, виконана в різних проєкціях) [11, 18, 21] (рис. 2).

У систематичному огляді Azizah W. та колег було повідомлено про 15 наукових публікацій починаючи з 2011 року, в яких було описано досвід використання різних підходів до візуалізації в стоматології, котрі були використані в процесі судово-стоматологічної віртуопсії: комп'ютерна томографія згадувалась у 6 публікаціях, конусно-променева комп'ютерна томографія – у 5 публікаціях, магнітно-резонансна комп'ютерна томографія – в 2 публікаціях, мультидетекторна комп'ютерна томографія – в 2 публікаціях [3]. У ряді сучасних досліджень було доведено значимість інтраоральних сканерів як важливої складової підходу віртдентопсії, хоча показники різних апаратів відрізнялися параметрами точності та специфічності у випадках імітації ідентифікації за частковими та повними сканами щелеп [4, 11, 14].

Для автоматизованого проведення процедури віртуопсії згідно оригінального алгоритму спеціально була розроблена технологія Virtobot (PROFACTOR GmbH, SteyrGleink, Австрія), яка суміщає в собі одразу декілька підходів до візуалізації поверхонь та об'ємів, проте проблема практичної імплементації такої пов'язана із громіздкістю використовуваного обладнання, що

обмежує можливості її мобільного застосування у регіонах виникнення масових катастроф, чи надзвичайних подій із значною кількістю потерпілих [24, 28]. Для вирішення даної проблеми були запропоновані перенесення кабінети для віртуопсії, оптимізоване обладнання котрих все одно потребує значних фінансових та технологічних затрат [21, 24, 28, 29]. Для покращення візуалізації результатів віртуопсії були запропоновані спеціальні екранні столи, які дозволяють не тільки візуалізувати певну досліджувану ділянку тіла у всіх проєкціях, а й забезпечують можливості Zoom-ефекту та цифрової крос-секції будь-якої зони інтересу [21].

Комерційна технологія Viridentopsy™ дещо відрізняється від оригінального протоколу віртуопсії та включає наступні складові: двомірна або ж трьохмірна відеофіксація зубних дуг та стану ротової порожнини в цілому з використанням інтраоральної камери або ж смартфона, фотодокументація стану структур ротової порожнини, фотограмметрія зубних рядів з використанням інтраорального сканера, 3D сканування щелеп та черепа, інтраоральна рентгенографія, рентгенографія ділянки черепа (ортопантомографія, КПКТ), стрімінг даних з використанням смартфона чи смарт-окулярів [18]. Функціонування сайту для онлайн-віртдентопсії в мережі Інтернет (viridentopsy.it) формує можливості за умови отримання відповідних дозволів для отримання експертної думки декількох спеціалістів щодо різних випадків, дані з яких були зібрані у цифровому форматі [18]. На думку розробників підходу застосування методу віртдентопсії може бути показано у наступних сценаріях розгляду справ в ході судово-стоматологічної експертизи [18]:

– при відсутності судового стоматолога на місці масової катастрофи, або ж на місці проведення судово-медичної експертизи;

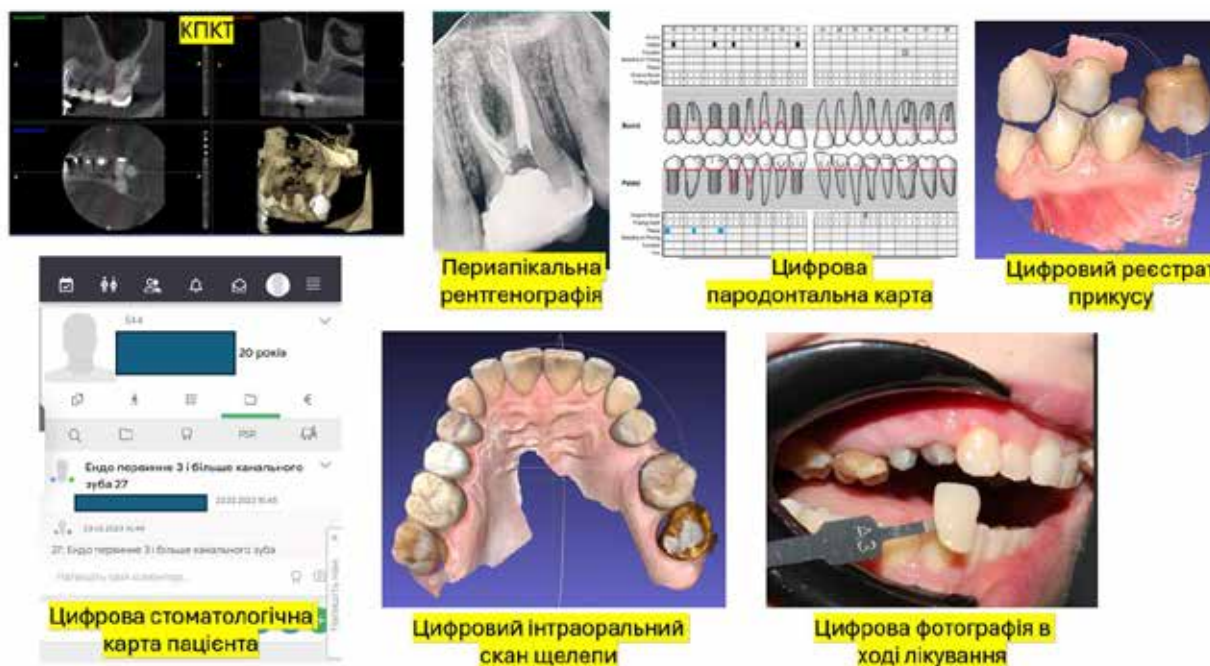


Рис. 2. Цифрові дані пацієнта, які можуть бути зібрані в ході виконання віртуопсії під час проведення судово-стоматологічної експертизи

– при неможливості відповідної служби з фінансової чи інших причин залучити судового стоматолога безпосередньо до конкретної справи;

– при потребі залучення стоматолога того ж громадянства, що і жертва/жертви, з урахуванням особливостей надання стоматологічної допомоги в певній країні;

– для отримання другої експертної думки щодо певних доказів;

– для мінімізації фізичних контактів та ризику інфікування;

– з навчальною метою з використанням технології онлайн-стрімінгу [18].

Наразі описані в літературі факти використання віртопсії у практиці судової стоматології включають випадки об'єктивізації та ідентифікації травм щелепно-лицевої ділянки при дорожньо-транспортних пригодах, діагностики вітальних реакцій за результатами КТ та МРТ, встановлення причини смерті, визначення віку та статі, реконструктивної ідентифікація особи, ідентифікації траєкторії руху кулі, оцінки слідів укусів, застосування результатів цифрової рентгенографії при роботі команд DVI у випадках масових катастроф [21]. Крім того можливості віртопсії можуть бути використані для виконання навігаційно-контрольованої біопсії [28, 29, 31]. Віртопсія також може бути застосована для перевірки результатів класичної аутопсії [28, 29, 31]. Використання віртопсії у судовій стоматології може бути ефективним і у випадках, коли стан зубо-щелепового апарату є критично крихким, і інвазивні методи аналізу можуть спровокувати його незворотною деструкцію без можливості вилучення вагомих доказів [2].

У дослідженні Verhoff M.A. було встановлено, що остеометричні показники черепа верифіковані за результатами методу віртопсії з товщиною зрізу в 1,25 мм аналогічні таким, визначеним аналоговою методом, що підтверджує валідність експериментального підходу [6]. Jensen N. D. та колеги оцінюючи можливість використання принципів віртопсії для заповнення посмертних електронних дентальних карт виявили, що комп'ютерна томографія дозволяє коректно ідентифікувати/підтвердити наступні параметри стоматологічного статусу: наявність або відсутність зубів, результати ендодонтичного лікування, наявність реставрацій різного типу та ортопедичних конструкцій (коронки та мостоподібних конструкцій) [19]. В той же час томографічні методи дослідження виявилися недостатньо точними для оцінки протяжності деяких уражень, диференціації різних матеріалів, з яких були виготовлені протетичні конструкції, та ідентифікації незначних композитних реставрацій [19]. Відтак дослідники не рекомендували використовувати результати томографії як незалежного єдиного методу для заповнення по їх даним стоматологічних посмертних карт, а застосовувати їх в комбінації із об'єктивною клінічною оцінкою [19]. Аналогічні результати також були відмічені Franco A. та колегами, які зазначили, що лише частина кодів Interpol, котрі застосовуються для позначення особливостей стоматологічного статусу, можуть бути коректно екстраговані із результатів томографічних досліджень та перенесені до посмертної стоматологічної карти, характеризуючись при цьому достатнім

рівнем точності та відповідності об'єктивним змінам стоматологічного статусу, зареєстрованим клінічно [8]. Похибки в кодуванні Interpol за даними томографії виникають через ряд специфічних артефактів та дисторсії зображення, а також по причині особливостей графічної реконструкції трьохмірних об'єктів [8]. В той же час дослідники відмітили, що саме можливості просторового аналізу окремих структур зубо-щелепового апарату можуть бути використані як окремі незалежні ідентифікатори в ході судово-стоматологічних досліджень, значущість яких потребує подальшого уточнення [8]. Виходячи з цього доцільним є розробка окремих форм Interpol для заповнення інформації, вилученої в результаті віртопсії, з урахуванням доступних для аналізу трьохмірних характеристик різних структур. Хоча Maley S. відмітив, що обмежені можливості використання даних томографії для заповнення посмертних стоматологічних карт з перспективою їх подальшого використання в ході порівняльної ідентифікації в більшій мірі пов'язані із вихідною якістю прижиттєвих та посмертних стоматологічних даних, і в меншій мірі – з проблематикою інтерпретації доказів, верифікованих із застосуванням віртопсії [17]. Однак, все ж методи томографічної оцінки не рекомендується використовувати як єдиний підхід до збору посмертних стоматологічних даних, особливо у випадках коли прижиттєві стоматологічні дані характеризуються низьким рівнем якості, що в результаті може спровокувати розвиток значної кількості несумісностей.

Villa C. та колеги описуючи 20-річний досвід використання різних методів візуалізації в судово-медичній практиці запропонували наступний алгоритм використання можливостей віртопсії в ході проведення судово-медичних досліджень: після зовнішнього медико-юридичного огляду та встановлення потреби в проведенні аутопсії перед процедурою класичного розтину обов'язково проводять посмертну комп'ютерну томографію всього тіла, окремі результати котрої можуть бути використані з метою вирішення судово-стоматологічних питань, для трьохмірної візуалізації та з метою 3D принтингу; у разі неможливості відповідей на поставленні питання в ході віртуальної аутопсії обов'язково проводиться класичний розтин з додатковими дослідженнями, після чого результати звичайної та віртуальної аутопсії співставляються між собою [9, 26, 27]. Filograna L. та колеги описала практично аналогічний протокол застосування віртопсії, однак підкреслили значущість ефективної взаємодії між судовим радіологом та патологом в ході інтерпретації отриманих результатів [1].

Комплексне використання різних методів візуалізації в структурі підходу віртопсії забезпечує можливість реалізації наступних переваг [29, 31]:

1) отримані дані можуть підлягати аналітичному опрацюванню одразу декількома спеціалістами, дистанційно, а також повторному процесингу у разі розробки нових технологій аналізу;

2) отриманий матеріал для аналізу повністю відповідає об'ємним та розмірним характеристикам досліджуваного об'єкта, а також характеризується збереженням природної орієнтації в просторі;

3) підхід може бути використаний як додатковий при потребі проведенні класичної аутопсії;

4) можливість аналізу фізично важкодоступних ділянок тіла зі збереженням цілісності тканин та органів, які знаходяться на траєкторії доступу до цільової ділянки;

5) можливість використання в умовах коли проведення звичної аутопсії є неможливим з огляду на релігійні переконання чи культурні особливості;

6) ретенція первинного стану досліджуваних ділянок незалежно від тривалості періоду між виконання віртопсії та аналізом даних [29, 31].

Одна з найбільших переваг віртопсії в цілому полягає саме у можливості збереженні цілісності тіла людини та мінімізації обсягу інвазійних втручань до критично необхідних, що в свою чергу підвищує соціальну сприйнятливості віртопсії як методу дослідження після смерті [23].

Важливо відмітити, що формати цифрових даних, які використовуються в ході реалізації віртопсії є загальноприйнятими, на зразок DICOM чи PACS, і відтак характеризуються доступністю для аналізу з використанням поширеного програмного забезпечення [18, 29, 31]. Крім того, можливість конвертації даних дозволяє формувати з них інтерактивні графічні сітки, які в подальшому можуть бути використані для анімації чи динамічної реконструкції з метою імітації причин та/чи механізму виникнення ушкоджень [9, 25, 26, 27, 32]. До того ж процедура віртопсії є умовно-повторюваною, оскільки аналіз первинних даних можна провести повторно, із залученням іншого чи додаткових спеціалістів, а також при доступності нових методологій аналізу, тоді як процедура класичної аутопсії позбавлена даних можливостей, що пов'язано зі змінами досліджуваного матеріалу [37]. Крім того, дані отримані в ході віртопсії можуть бути використані для різних цілей у судово-стоматологічній практиці, а також після анонімізації та отримання відповідного дозволу представляють собою базу даних для навчання майбутніх спеціалістів. Для коректної реєстрації доказів, знайдених в ході віртуальної аутопсії були розроблені навіть специфічні нові плагіни для цифрової анотації даних, їх подальшого опрацювання та зберігання, на зразок FATAL (Forensic AuTopsy Annotation tool) [20]. Можливість отримання значного масиву цифрових даних в ході виконання віртопсії обумовлює можливості для їх подальшого використання під час розробки різних моделей штучного інтелекту, направлених на застосування в судово-стоматологічній практиці [22]. Важливо відмітити, що сучасний значний розвиток віртопсії пов'язаний із цифровим бумом онлайн- та цифрових технологій в цілому, завдяки котрим проведення віртуальної аутопсії стало можливим із одночасним залученням декількох спеціалістів в режимі онлайн-конференції. Перспективи подальшого розвитку віртопсії також полягають у можливості точної оцінки об'ємних параметрів внутрішніх структур, в тому числі дрібних судин, а також у роботизації процесу з квантифікацією значної кількості показників.

Попри переваги застосування методу віртопсії у стоматологічній практиці існують і певні недоліки, які

обмежують його широке провадження, та включають: дороговартісність технології, відсутність уніфікованих стандартів роботи з технологією, обмеженість візуалізації до мінімальних технологічних характеристик використовуваних приладів, неможливість оцінки характеристик запаху та кольору, залежність якості сканування від характеристик досліджуваних поверхонь, ризик втрати окремих даних при суміщенні результатів різних методів візуалізації, не усі патологічні стани можуть бути верифіковані чи диференційовані з використанням методу віртопсії, дефіцит необхідного обсягу доказів та таких високої якості щодо ефективності та валідності технології, проблема диференціації артефактів пов'язаних із станом тіла та його змінами до та після смерті [10].

За даними систематичного огляду Azizah W. та колег зважаючи на специфічні обмеження методу віртопсії він не може бути використаний як повноцінна альтернатива аутопсії у судово-стоматологічній практиці, однак його застосування у якості додаткового методу є рекомендованим в ході проведення ідентифікації особи за стоматологічним статусом [3]. У іншому систематичному огляді було відмічено, що проблема широкого впровадження цифрових технологій в практику судово-стоматологічної експертизи в цілому пов'язана із тим, що можливість залучення таких технологій в процес ідентифікації залежить від їх технічної та фінансової доступності, а також від рівня залученості спеціалістів відповідної кваліфікації [10]. Таким чином, жоден повністю цифровий метод діагностики наразі не був імплементований у практику судової стоматології на загальноприйнятому уніфікованому рівні у всьому світі, а застосування таких відрізняється у різних географічних регіонах [10].

**Висновки.** Метод віртопсії в стоматології передбачає накопичення цифрових даних про особу через наступні джерела інформації: цифрова медична/стоматологічна документація (дані цифрового реєстру пацієнта, дані цифрової стоматологічної карти пацієнта, дані цифрової пародонтологічної карти), цифрова фотографія (дані цифрового протоколу реєстрації змін стоматологічного статусу в ході лікування та отримані під час проведення судово-стоматологічних досліджень), цифрові інтраоральні скани або ж цифрові скани гіпсових моделей, цифрові реєстрації прикусу, цифрові скани слідів укусу, цифрові дентальні рентгенограми, цифрові томограми (результати конусно-променевої комп'ютерної томографії та магнітно-резонансної томографії), дані трьохмірного сканування/фотографування поверхонь методом фотограмметрії, цифрові зовнішньолицеві 3D скани обличчя. Переваги застосування методу віртопсії у судово-стоматологічній практиці полягають у швидкості виконання даної процедури, зважаючи на можливості роботи із даними у цифровому середовищі, мінімізації потреби у інвазійних втручаннях та ризиків із ними пов'язаними, перспективі роботи та аналізу даних/доказів у трьохмірному просторі, оптимізації умов для зберігання даних, їх безпечної передачі та доступу до таких із залученням одразу декількох спеціалістів, зменшення впливу ефекту суб'єктивної інтерпретації доказів з полегшенням можливості до перевірки таких через віддалений доступ.

---

## JITEPATYPA

1. A practical guide to virtual autopsy: why, when and how / L. Filograna, L. Pugliese, M. Muto et al. *Seminars in Ultrasound, CT and MRI*. 2019. Vol. 40(1). P. 56–66.
2. Ahuja P., Ansari N. Virtopsy: A New Era in Forensic Medico-Legal Autopsies. *Autopsy-What Do We Learn from Corpses?* 2022. IntechOpen. Vol. Chapter. P. 1–11.
3. Azizah W. N., Oscandar F., Damayanti M. A. Systematic review: oral and maxillofacial radiology as fundamental methods of virtual autopsy. *Forensic Sciences Research*. 2023. Vol. 8(3). P. 185–197.
4. Bae E. J., Woo E. J. Quantitative and qualitative evaluation on the accuracy of three intraoral scanners for human identification in forensic odontology. *Anatomy & Cell Biology*. 2022. Vol. 55(1). P. 72.
5. Bolliger S. A., Thali M. J. Imaging and virtual autopsy: looking back and forward. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2015. Vol. 370(1674). P. 20140253.
6. Digital forensic osteology—possibilities in cooperation with the Virtopsy® project / M. A. Verhoff, F. Ramsthaler, J. Krähahn et al. *Forensic science international*. 2008. Vol. 174(2-3). P. 152–156.
7. Digitization in forensic odontology: A paradigm shift in forensic investigations / R. Nagi, K. Aravinda, N. Rakesh et al. *Journal of forensic dental sciences*. 2019. Vol. 11(1). P. 5.
8. Feasibility and validation of virtual autopsy for dental identification using the Interpol dental codes / A. Franco, P. Thevissen, W. Coudyzer et al. *Journal of forensic and legal medicine*. 2013. Vol. 20(4). P. 248–254.
9. Forensic Imaging in Denmark, 20-year-experience: status and future directions: A positional statement from the Danish Forensic Imaging Group, of the Danish Association of Forensic Medicine / C. Villa, S. T. Larsen, K. Hansen et al. *Forensic Imaging*. 2024. Vol. 37(8). P. 200583.
10. Forensic odontology with digital technologies: A systematic review / S. Matsuda, H. Yoshida, K. Ebata et al. *Journal of forensic and legal medicine*. 2022. Vol. 74. P. 102004.
11. Goncharuk-Khomyn M. Digital Approaches in Forensic Dentistry Practice: Clustering or Fractal Differentiation?. *Journal of Dentistry*. 2022. Vol. 121. P. 103970.
12. Habiburrahman M., Wardoyo M. P., Yudhistira A. Virtopsy as a breakthrough in non-invasive autopsy: its principles and potential of application in developing countries during the COVID-19 pandemic. *Journal of Health and Translational Medicine (JUMMEC)*. 2023. Vol. 26(2). P. 28–50.
13. Image guided virtual autopsy: An adjunct with radiographic and computed tomography modalities—An important tool in forensic identification / S. Rai, D. Misra, K. Tyagi et al. *Journal of Indian Academy of Oral Medicine and Radiology*. 2017. Vol. 29(4). P. 368–370.
14. Intraoral scanners in personal identification of corpses: Usefulness and reliability of 3D technologies in modern forensic dentistry / A. Putrino, V. Bruti, E. Marinelli et al. *The Open Dentistry Journal*. 2020. Vol. 14(1). P. 255–266.
15. Kadaiah B., Gowda C. Oral autopsy: A simple, faster procedure for total visualization of oral cavity. *Journal of Forensic Dental Sciences*. 2016. Vol. 8(2). P. 103–107.
16. Liu C., Ali N. L. Co-citation and bibliographic coupling based on connected papers: review of public opinion research in a broad sense in the west. *Asian Social Science*. 2022. Vol. 18(7). P. 29.
17. Maley S., Higgins D. Validity of postmortem computed tomography for use in forensic odontology identification casework. *Forensic Science, Medicine and Pathology*. 2023. Vol. 20(1). P. 43–50.
18. Nuzzolese E. Virdentopsy: Virtual dental autopsy and remote forensic odontology evaluation. *Dentistry Journal*. 2021. Vol. 9(9). P. 102.
19. Odontological identification dental charts based upon postmortem computed tomography compared to dental charts based upon postmortem clinical examinations / N. D. Jensen, P. C. Ulloa, S. Arge et al. *Forensic Science, Medicine and Pathology*. 2020. Vol. 16(2). P. 272–280.
20. Petersen M. V., Thomsen A. H., Hansen, K. FATAL: A Forensic AuTopsy Annotation tool for digital recording of autopsy findings. *medRxiv*. 2024. P. 1–23.
21. Phulari R. G., Solanki B., Vasavada D. Virtopsy: a new developing science in forensic odontology. *Stomatology Edu Journal*. 2022. Vol. 9. P. 115–119.
22. Role of Various Stakeholders in Application of Artificial Intelligence to Forensic Odontology—A Potential Perspective / J. Pathak, N. Swain, D. Pathak et al. *Annals of Dental Specialty*. 2021. Vol. 9(1-2021). P. 47–52.
23. Sathyan P. VIRTOPSY: future of autopsy?. *J Ind Dent Assoc Kochi*. 2022. Vol. 4(2). P. 10–9.
24. Semiautomated robotic, CT-guided needle placement for postmortem CSF sampling—a Novel application of the Virtobot / S. Franckenberg, T. Sieberth, T. Frauenfelder et al. *All Life*. 2021. Vol. 14(1). P. 75–79.
25. Surabhi T. M., Bhateja S., Arora G. Virtopsy: an aid in forensic investigation. *IP International Journal of Forensic Medicine and Toxicological Sciences*. 2019. Vol. 4(4). P. 95–98.
26. Villa C., Lynnerup N., Jacobsen C. A virtual, 3D multimodal approach to victim and crime scene reconstruction. *Diagnostics*. 2023. Vol. 13(17). P. 2764.
27. Villa C., Flies M. J., Jacobsen C. Forensic 3D documentation of bodies: Simple and fast procedure for combining CT scanning with external photogrammetry data. *Journal of Forensic Radiology and Imaging*. 2017. Vol. 10. P. 47–51.
28. Virtobot—a multi-functional robotic system for 3D surface scanning and automatic post mortem biopsy / L. C. Ebert, W. Ptacek, S. Naether et al. *The international journal of medical robotics and computer assisted surgery*. 2010. Vol. 6(1). P. 18–27.
29. Virtopsy approach: structured reporting versus free reporting for PMCT findings / W. Schweitzer, C. Bartsch, T. D. Ruder et al. *Journal of Forensic Radiology and Imaging*. 2014. Vol. 2(1). P. 28–33.
30. VIRTOPSY: minimally invasive, imaging-guided virtual autopsy / R. Dirnhofer, C. Jackowski, P. Vock et al. *Radiographics*. 2006. Vol. 26(5). P. 1305–1333.

31. Virtopsy® / W. Schweitzer, M. Thali, R. Breitbeck et al. *Health Manag.* 2014. Vol. 14(2). P. 37.
32. Virtopsy–radiology in forensic medicine / S. Grabherr, B. A. Stephan, U. Buck et al. *Imaging Decisions MRI.* 2007. Vol. 11(1). P. 2–9.
33. Virtual autopsy as a screening test before traditional autopsy: the verona experience on 25 cases / V. Cirielli, L. Cima, F. Bortolotti et al. *Journal of pathology informatics.* 2018. Vol. 9(1). P. 28.
34. Virtual autopsy using imaging: bridging radiologic and forensic sciences. A review of the Virtopsy and similar projects / S. A. Bolliger, M. J. Thali, S. Ross et al. *European radiology.* 2008. Vol. 18. P. 273–282.
35. Visual research discovery using connected papers: A use case of blockchain in libraries / A. Kaur, R. Sharma, P. Mishra et al. *The Serials Librarian.* 2022. Vol. 83(2). P. 186–196.
36. Yadav J., Yadav M. Virtual Autopsy–Way forward in Forensic Medicine. *Journal of Indian Academy of Forensic Medicine.* 2021. Vol. 43(4). P. 374–378.
37. Zangari F. Personal identification and ethical values. *The Journal of Forensic Science Education.* 2022. Vol. 4(2). P. 1–4.

## REFERENCES

1. Filograna, L., Pugliese, L., Muto, M., Tatulli, D., Guglielmi, G., Thali, M. J. & Floris, R. (2019). A practical guide to virtual autopsy: why, when and how. *Seminars in Ultrasound, CT and MRI*, 40(1), 56–66. [in English].
2. Ahuja, P. & Ansari, N. (2022). Virtopsy: A New Era in Forensic Medico-Legal Autopsies. *Autopsy-What Do We Learn from Corpses?. IntechOpen, Chapter*, 1–11. [in English].
3. Azizah, W. N., Oscandar, F. & Damayanti, M. A. (2023). Systematic review: oral and maxillofacial radiology as fundamental methods of virtual autopsy. *Forensic Sciences Research*, 8(3), 185–197. [in English].
4. Bae, E. J. & Woo, E. J. (2022). Quantitative and qualitative evaluation on the accuracy of three intraoral scanners for human identification in forensic odontology. *Anatomy & Cell Biology*, 55(1), 72. [in English].
5. Bolliger, S. A. & Thali, M. J. (2015). Imaging and virtual autopsy: looking back and forward. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370(1674), 20140253. [in English].
6. Verhoff, M. A., Ramsthaler, F., Krähahn, J., Deml, U., Gille, R. J., Grabherr, S. & Kreutz, K. (2008). Digital forensic osteology–possibilities in cooperation with the Virtopsy® project. *Forensic science international*, 174(2-3), 152–156. [in English].
7. Nagi, R., Aravinda, K., Rakesh, N., Jain, S., Kaur, N. & Mann, A. K. (2019). Digitization in forensic odontology: A paradigm shift in forensic investigations. *Journal of forensic dental sciences*, 11(1), 5. [in English].
8. Franco, A., Thevissen, P., Coudyzer, W., Develter, W., Van de Voorde, W., Oyen, R. & Willems, G. (2013). Feasibility and validation of virtual autopsy for dental identification using the Interpol dental codes. *Journal of forensic and legal medicine*, 20(4), 248–254. [in English].
9. Villa, C., Larsen, S. T., Hansen, K., Rohde, M. C., Haahr, M. K., Boel, L. W. T. & Jacobsen, C. (2024). Forensic Imaging in Denmark, 20-year-experience: status and future directions: A positional statement from the Danish Forensic Imaging Group, of the Danish Association of Forensic Medicine. *Forensic Imaging*, 37(8), 200583. [in English].
10. Matsuda, S., Yoshida, H., Ebata, K., Shimada, I. & Yoshimura, H. (2020). Forensic odontology with digital technologies: A systematic review. *Journal of forensic and legal medicine*, 74, 102004. [in English].
11. Goncharuk-Khomyn, M. (2022). Digital Approaches in Forensic Dentistry Practice: Clustering or Fractal Differentiation?. *Journal of Dentistry*, 121, 103970.
12. Habiburrahman, M., Wardoyo, M. P. & Yudhistira, A. (2023). Virtopsy as a breakthrough in non-invasive autopsy: its principles and potential of application in developing countries during the COVID-19 pandemic. *Journal of Health and Translational Medicine (JUMMEC)*, 26(2), 28–50. [in English].
13. Rai, S., Misra, D., Tyagi, K., Prabhat, M. & Gangwal, P. (2017). Image guided virtual autopsy: An adjunct with radiographic and computed tomography modalities-An important tool in forensic identification. *Journal of Indian Academy of Oral Medicine and Radiology*, 29(4), 368–370. [in English].
14. Putrino, A., Bruti, V., Marinelli, E., Ciallella, C., Barbato, E. & Galluccio, G. (2020). Intraoral scanners in personal identification of corpses: Usefulness and reliability of 3D technologies in modern forensic dentistry. *The Open Dentistry Journal*, 14(1), 255–266. [in English].
15. Kadaiah, B. & Gowda, C. (2016). Oral autopsy: A simple, faster procedure for total visualization of oral cavity. *Journal of Forensic Dental Sciences*, 8(2), 103–107. [in English].
16. Liu, C. & Ali, N. L. (2022). Co-citation and bibliographic coupling based on connected papers: review of public opinion research in a broad sense in the west. *Asian Social Science*, 18(7), 29. [in English].
17. Maley, S. & Higgins, D. (2023). Validity of postmortem computed tomography for use in forensic odontology identification casework. *Forensic Science, Medicine and Pathology*, 20(1), 1–8. [in English].
18. Nuzzolese, E. (2021). Virdentopsy: Virtual dental autopsy and remote forensic odontology evaluation. *Dentistry Journal*, 9(9), 102. [in English].
19. Jensen, N. D., Ulloa, P. C., Arge, S., Bindslev, D. A. & Lynnerup, N. (2020). Odontological identification dental charts based upon postmortem computed tomography compared to dental charts based upon postmortem clinical examinations. *Forensic Science, Medicine and Pathology*, 16(2), 272–280. [in English].
20. Petersen, M. V., Thomsen, A. H. & Hansen, K. (2024). FATAL: A Forensic AuTopsy Annotation tool for digital recording of autopsy findings. *medRxiv*, 2024, 1–23. [in English].
21. Phulari, R. G., Solanki, B. & Vasavada, D. (2022). VIRTOPSY: A NEW DEVELOPING SCIENCE IN FORENSIC ODONTOLOGY. *Stomatology Edu Journal*, 9, 115–119. [in English].



- 
22. Pathak, J., Swain, N., Pathak, D., Shrikanth, G. & Hosalkar, R. (2021). Role of Various Stakeholders in Application of Artificial Intelligence to Forensic Odontology-A Potential Perspective. *Annals of Dental Specialty*, 9(1-2021), 47–52. [in English].
  23. Sathyan, P. (2022). VIRTOPSY: future of autopsy?. *J Ind Dent Assoc Kochi*, 4(2), 10–9. [in English].
  24. Franckenberg, S., Sieberth, T., Frauenfelder, T., Thali, M. J. & Ebert, L. C. (2021). Semiautomated robotic, CT-guided needle placement for postmortem CSF sampling—a Novel application of the Virtobot. *All Life*, 14(1), 75–79. [in English].
  25. Surabhi, T. M., Bhateja, S. & Arora, G. (2019). Virtopsy: an aid in forensic investigation. *IP International Journal of Forensic Medicine and Toxicological Sciences*, 4(4), 95–98. [in English].
  26. Villa, C., Lynnerup, N. & Jacobsen, C. (2023). A virtual, 3D multimodal approach to victim and crime scene reconstruction. *Diagnostics*, 13(17), 2764. [in English].
  27. Villa, C., Flies, M. J. & Jacobsen, C. (2017). Forensic 3D documentation of bodies: Simple and fast procedure for combining CT scanning with external photogrammetry data. *Journal of Forensic Radiology and Imaging*, 10, 47–51. [in English].
  28. Ebert, L. C., Ptacek, W., Naether, S., Fürst, M., Ross, S., Buck, U. & Thali, M. (2010). Virtobot—a multi-functional robotic system for 3D surface scanning and automatic post mortem biopsy. *The international journal of medical robotics and computer assisted surgery*, 6(1), 18–27. [in English].
  29. Schweitzer, W., Bartsch, C., Ruder, T. D. & Thali, M. J. (2014). Virtopsy approach: structured reporting versus free reporting for PMCT findings. *Journal of Forensic Radiology and Imaging*, 2(1), 28–33. [in English].
  30. Dirnhofer, R., Jackowski, C., Vock, P., Potter, K. & Thali, M. J. (2006). VIRTOPSY: minimally invasive, imaging-guided virtual autopsy. *Radiographics*, 26(5), 1305–1333. [in English].
  31. Schweitzer, W., Thali, M., Breitbeck, R. & Ampanozi, G. (2014). Virtopsy®. *Health Manag*, 14(2), 37. [in English].
  32. Grabherr, S., Stephan, B. A., Buck, U., Näther, S., Christe, A., Oesterhelweg, L. & Thali, M. J. (2007). Virtopsy—radiology in forensic medicine. *Imaging Decisions MRI*, 11(1), 2–9. [in English].
  33. Cirielli, V., Cima, L., Bortolotti, F., Narayanasamy, M., Scarpelli, M. P., Danzi, O. & Tagliaro, F. (2018). Virtual autopsy as a screening test before traditional autopsy: the verona experience on 25 cases. *Journal of pathology informatics*, 9(1), 28. [in English].
  34. Bolliger, S. A., Thali, M. J., Ross, S., Buck, U., Naether, S. & Vock, P. (2008). Virtual autopsy using imaging: bridging radiologic and forensic sciences. A review of the Virtopsy and similar projects. *European radiology*, 18, 273–282. [in English].
  35. Kaur, A., Sharma, R., Mishra, P., Sinhababu, A. & Chakravarty, R. (2022). Visual research discovery using connected papers: A use case of blockchain in libraries. *The Serials Librarian*, 83(2), 186–196. [in English].
  36. Yadav, J. & Yadav, M. (2021). Virtual Autopsy—Way forward in Forensic Medicine. *Journal of Indian Academy of Forensic Medicine*, 43(4), 374–378. [in English].
  37. Zangari, F. (2022). Personal identification and ethical values. *The Journal of Forensic Science Education*, 4(2), 1–4. [in English].