

DOI: 10.21802/artm.2025.2.34.81
УДК 616.314.1+ 616.314.17+616.314-77

ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄМІВ ЗАЛИШКОВИХ ТВЕРДИХ ТКАНИН ЗУБІВ ПІСЛЯ ЕНДОДОНТИЧНОГО ВТРУЧАННЯ

В.В. Федорюк, М.М. Рожко

Івано-Франківський національний медичний університет, кафедра стоматології післядипломної освіти, м. Івано-Франківськ, Україна

ORCID: 0009-0005-7285-7438, Scopus ID: 58683747100, e-mail: fedoriukvolodymyr@gmail.com

ORCID: 0000-0002-6876-2533, Scopus ID: 57195620855, e-mail: mrozhko@ifnmu.edu.ua

Резюме. Попередні дослідження встановили, що збереження об'єму залишкових твердих тканин зуба (зубного ферула) впливають на стійкість відновленої структури до фізико-механічних характеристик реставрації. Існуючі методики визначення об'ємів дефектів твердих тканин після ендодонтичного втручання є затратними у часі та потребують додаткових лабораторних етапів, що ускладнює використання їх у клінічних умовах. На сьогоднішній день визначення величини руйнування твердих тканин зуба є одним із вирішальних показників при виборі прямого чи непрямого методу лікування. Це обумовлено тим, що в його основі лежить диференційований підхід у комплексі з ортопедичними засобами як мірою профілактики руйнування коронкової частини зубів. Це дає підстави вважати проблему визначення величини об'єму залишкових твердих тканин зубів після ендодонтичного втручання актуальною. Нами запропоновано використання програмного забезпечення, щоб оцінити та розробити використання методики визначення залишкових об'ємів тканин зубів і об'ємів дефектів твердих тканин зубів після ендодонтичного втручання. Були проведені математичні розрахунки з використанням побудованих моделей на основі їх лінійних розмірів. Нами обґрунтовано доцільність використання програмного забезпечення для розрахунку об'ємів залишкових твердих тканин зуба (зубного ферула) з метою адекватного вибору методу реставрації дефектів твердих тканин після ендодонтичного втручання. Перевагами такого підходу є можливість отримання результату в клінічних умовах, незначна вартість програмного забезпечення та мала похибка результату. Програмний застосунок має інтуїтивно зрозумілий графічний інтерфейс для введення вхідних морфометричних даних, не потребує спеціальних додаткових навичок від користувача і не має жодних обмежень для використання в клінічних умовах. Програмне забезпечення може слугувати додатковим критерієм прийняття рішення при виборі оптимального методу реставрації дефектів твердих тканин зуба після ендодонтичного втручання.

Ключові слова: дефекти твердих тканин зуба після ендодонтичного втручання, об'єм, діагностика, калькулятор, зубний ферул.

Вступ. Однією із проблем стоматологічного лікування дефектів твердих тканин зубів після ендодонтичного втручання є особливості вибору тактики стоматологічного лікування. На сьогоднішній день визначення величини руйнування твердих тканин зуба є одним із вирішальних показників при виборі прямого чи непрямого методу лікування. Це обумовлено тим, що в його основі лежить диференційований підхід у комплексі з ортопедичними засобами як мірою профілактики руйнування коронкової частини зубів. Вибір методу лікування є надзвичайно важливим фактором, адже дефекти твердих тканин зуба призводять до порушення функції жування та розвитку вторинних деформацій [1]. У попередніх роботах із механічними дослідженнями шляхом циклічних навантажень прямих та непрямих реставрацій ми спостерігали, що аналітичні механіко-математичні моделі реставрацій є дещо спрощені та не враховують низку важливих чинників [2, 3]. Насамперед нехтують величиною об'єму дефектів твердих тканин зуба. У побудованій моделі досліджуваних зразків прямих та непрямих реставрацій не враховувано контактної взаємодії із твердими тканинами зуба та підтверджено гіпотезу, що збереження об'єму зубного ферула (жорсткого «обідка» з коронкової частини зуба, який допомагає рівномірно

розподіляти жувальне навантаження та запобігати тріщинам чи переломам кореня) зменшує чутливість відновленої реставрації до фізико-механічних характеристик [4, 5].

Антропометричні дослідження та розрахунки дефектів твердих тканин після ендодонтичного втручання дозволяють оцінити параметри збережених твердих тканин зубного ферула, також визначити загальний об'єм прямої та непрямої реставрації та об'єм коронки. Її вирішення є необхідною умовою для вибору методу реставрації дефектів твердих тканин зубів після ендодонтичного втручання [6]. Існують різні підходи до оцінки об'єму залишкових твердих тканин зубів: за допомогою сканування і 3d-моделювання, при знятті діагностичних відбитків та використання гіпсових моделей. Кожен з методів має свої переваги і недоліки стосовно таких критеріїв як точність, швидкість і трудомісткість обчислення, вартість задіяного спеціального обладнання та/або програмного забезпечення, наявність спеціальних навичок вимірювання тощо [7-10].

Мета дослідження. Розробити методику для визначення об'єму залишкових твердих тканин зуба після ендодонтичного втручання та об'ємного індексу

зубного ферула на основі аналізу адекватних математичних моделей.

Об'єкт і методи дослідження. При застосуванні математичного моделювання для визначення об'єму залишкових твердих тканин зуба та об'ємного індексу зубного ферула, для оцінки остаточної похибки отриманих розрахунків важливою є об'єктивність і точність прямих вимірювань геометричних параметрів зуба (чи його гіпсової 3D-моделі) до і після ендодонтичного втручання. З цією метою використовували для вимірювань цифровий мікрометр та пародонтальний зонд, а також морфометричні дані зубного ферула. Вимірювання проводились від краю ясен до найближчої оклюзійної точки твердої тканини зуба в клінічних умовах. Для лабораторних досліджень ми знімали подвійні силіконові відбитки у пацієнтів і відливали гіпсові моделі шляхом фізичного моделювання, які відсканували за допомогою сканера MEDIT на 3D-моделі. За допомогою програми Ehosad визначали об'єм залишкових твердих тканин зубів.

Дослідження проводилося на базі кафедри стоматології післядипломної освіти «Івано-Франківський національний медичний університет» МОЗ України та Центру стоматології «Університетської клініки» «Івано-Франківський національний медичний університет».

У якості типової геометричної моделі залишкових твердих тканин зуба використовували порожнистий циліндр (циліндричну стінку ферула) загалом неправильної геометричної форми. Неправильність геометрії ферула враховували за допомогою умовного перерізу геометричної моделі чотирма вертикальними площинами (D–M – дистальна – медіальна, B–L – букальна – лінгвальна, DB–ML – дистально-букальна – медіально-лінгвальна, MB–LD – медіально-букальна – дистально-лінгвальна) на вісім секторів. У кожному зі згаданих перерізів вимірювали лінійні розміри геометричної моделі (рис. 1): діаметр основи d_k , товщину w_k та висоту h_k циліндричної стінки ферула.

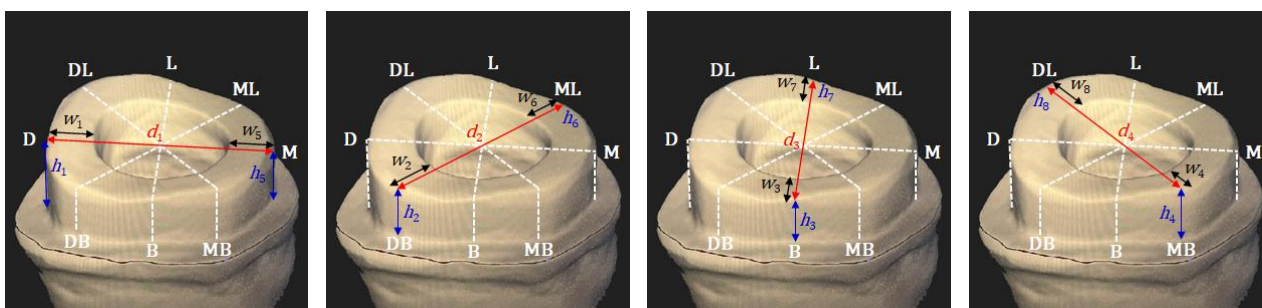


Рис. 1. Схематичне зображення ферула з геометричними параметрами

Далі для кожного з восьми секторів обчислюємо об'єм V_k циліндричної стінки як добуток площі сектора з центральним кутом $\alpha = 45^\circ$, усередненими зовнішнім радіусом

$$R_k = \frac{d_{k-1} + d_k}{4}, \quad k = 1, 2, \dots, 8, \quad d_0 = d_8,$$

та внутрішнім радіусом

$$r_k = R_k - \frac{w_{k-1} + w_k}{2}, \quad k = 1, 2, \dots, 8, \quad w_0 = w_8,$$

на усереднену висоту

$$H_k = \frac{h_{k-1} + h_k}{2}, \quad k = 1, 2, \dots, 8, \quad h_0 = h_8.$$

Таким чином, маємо

$$V_k = \frac{\pi \alpha}{360^\circ} (R_k^2 - r_k^2) H_k = \frac{\pi}{8} (R_k - r_k) (R_k + r_k) H_k.$$

Оскільки

$$R_k - r_k = \frac{w_{k-1} + w_k}{2}, \quad R_k + r_k = \frac{(d_{k-1} - w_{k-1}) + (d_k - w_k)}{2},$$

то

$$V_k = \frac{\pi}{64} (w_{k-1} + w_k) (d_{k-1} - w_{k-1} + d_k - w_k) (h_{k-1} + h_k), \quad k = 1, 2, \dots, 8.$$

Остаточно об'єм V_f залишкових твердих тканин зуба (ферула) розраховуємо за формулою

$$V_f = \sum_{k=1}^8 (w_{k-1} + w_k) (d_{k-1} - w_{k-1} + d_k - w_k) (h_{k-1} + h_k), \quad (1)$$

де $w_0 = w_8, d_0 = d_8, h_0 = h_8$.

Відзначимо, що лінійні розміри d_k, w_k, h_k ($k = 1, 2, \dots, 8$) циліндричної стінки ферула загалом є наближеними величинами. В такому разі важливою є оцінка похибки обчислень об'єму V_f . Нехай $\delta d_k, \delta w_k$ та δh_k – відомі граничні відносні похибки величин d_k, w_k та h_k відповідно. Тоді за формулами похибок значень функцій [7], маємо

$$\delta R_k = \frac{\delta d_{k-1} + \delta d_k}{4}, \quad \delta r_k = \delta R_k + \frac{\delta w_{k-1} + \delta w_k}{2}, \quad \delta H_k = \frac{\delta h_{k-1} + \delta h_k}{2},$$

та

$$\delta V_k = \frac{2R_k^2}{R_k^2 - r_k^2} \delta R_k + \frac{2r_k^2}{R_k^2 - r_k^2} \delta r_k + \delta H_k,$$

відтак гранична відносна похибка об'єму V_f дорівнює

$$\delta V_f = \sum_{k=1}^8 \frac{V_k}{V_f} \delta V_k. \quad (2)$$

Виразене у відсотках відношення

$$VFI = \frac{V_f}{V_c} \cdot 100\%, \quad (3)$$

де V_c – об'єм зубної коронки до ендодонтичного втручання, що може бути обчислений одним із відомих методів [6, 8-10], а V_f – обчислений за формулою (1) об'єм зубного ферула після ендодонтичного втручання, називаємо об'ємним індексом ферула (Volumetric Ferrule Index).

Результати дослідження та їх обговорення.

Для зручності математичного моделювання об'єму залишкових твердих тканин зуба у клінічних чи лабораторних умовах розроблений спеціальний програмний

застосунок з інтуїтивно зрозумілим графічним інтерфейсом (рис. 2). Застосунок забезпечує зручне введення морфометричних даних та дозволяє провести необхідні математичні розрахунки в автоматичному режимі. Для порівняння існують різні підходи до оцінки об'єму залишкових твердих тканин зубів за допомогою сканування і 3d-моделювання у системах Exocad, 3Shape, CEREC, згадані методи, які використовуються для об'єктивізації отримання результатів постійно удосконалюються, що має забезпечувати в кінцевому результаті точність даних, які допоможуть у виборі методу лікування зруйнованої частини зуба.

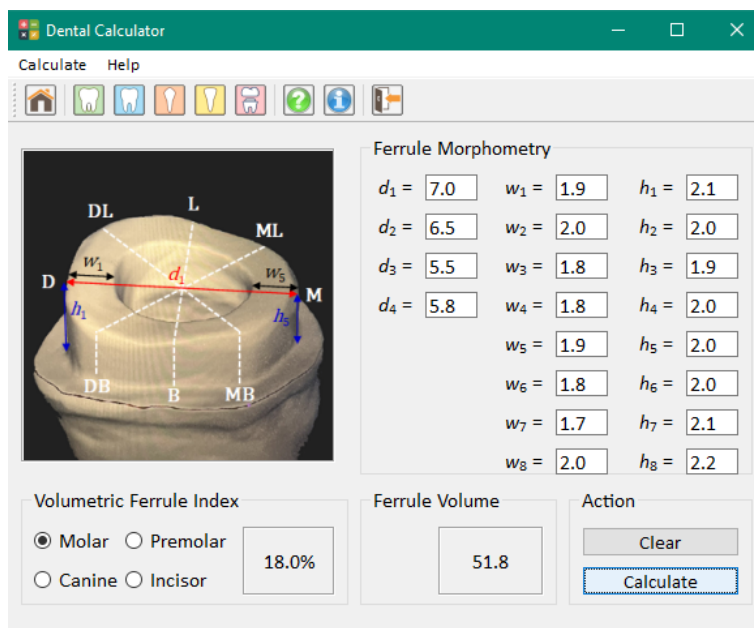


Рис. 2. Застосунок для математичного моделювання зубного ферула

У застосунку реалізована та описана методика обчислення об'ємів коронок для кожної групи зубів, а також запропонована у цій роботі методика обчислення об'ємів залишкових твердих тканин зуба [3]. Обчислена програмним застосунком величина об'ємного індексу зубного ферула може слугувати додатковим критерієм прийняття рішення при виборі оптимального методу реставрації дефектів твердих тканин зуба після ендодонтичного втручання.

Застосунок є простим у використанні і не потребує спеціальних додаткових навичок від користувача. За допомогою цифрового мікрометра та пародонтального зонда проводили заміри лінійних розмірів циліндричної стінки ферула у кожному з перерізів відповідно до візуальних рекомендацій, що відображаються на геометричних моделях (зокрема у взаємно перпендикулярних напрямках там, де це необхідно, щоб позбутися непотрібного накопичення похибки обчислень). Отримані морфометричні дані заносимо у відповідні поля застосунку. Після натискання на кнопку Calculate отримуємо розрахований за формулою (1) об'єм ферула, а в разі наявності морфометричних даних зубної коронки вибраного типу – також розрахований за формулою (3) об'ємний індекс ферула.

Для оцінки похибки обчислень використовували формулу (2). До прикладу, якщо граничні

відносні похибки усіх величин d_k , w_k та h_k становлять 1 %, а відношення $\frac{r_k}{R_k} = 0.25$, то гранична відносна похибка величини V_f дорівнює

$$\delta V_f = \frac{2}{1 - 0.25^2} \cdot 0.005 + \frac{2 \cdot 0.25^2}{1 - 0.25^2} \cdot 0.015 + 0.01 = 0.023 = 2.3\%.$$

Для оцінки похибки методики розрахунку проведено порівняльний аналіз об'ємів гіпсових моделей зубних ферулів, розрахованих двома різними підходами – об'ємів V_f , обчислених методом математичного моделювання за отриманою вище формулою (1) у розробленому програмному застосунку, та об'ємів V , розрахованих методом фізичного моделювання як відношення маси m гіпсової моделі ферула до густини ρ гіпсу ($\rho = 2,3 \text{ г/см}^3$) за формулою $V = \frac{m}{\rho}$. Зважування гіпсових моделей проводилось у лабораторних умовах за допомогою високоточних електронних ваг Radwag AS 220/C, внесених до Держреєстру України.

Обчислена за формулою $\delta V = \frac{|V_f - V|}{V} \cdot 100\%$ відносна похибка результатів, отриманих методами математичного та фізичного моделювання, знаходилась у межах 1-2 %, що свідчить про їх достатню близькість. Це виправдовує доцільність застосування

математичного моделювання в клінічних умовах для швидкого отримання задовільного результату.

Висновки. На основі методу математичного моделювання запропоновано методику визначення об'єму залишкових твердих тканин зуба та об'ємного індексу зубного ферула після ендодонтичного втручання, а також розроблено програмне забезпечення для автоматизації відповідних математичних розрахунків. Перевагами такого підходу є можливість отримання результату в клінічних умовах, незначна вартість програмного забезпечення та мала похибка результату.

Програмний застосунок має інтуїтивно зрозумілий графічний інтерфейс для введення вхідних морфометричних даних, не потребує спеціальних додаткових навичок від користувача і не має жодних обмежень для використання в клінічних умовах.

Обчислена за допомогою застосунку величина об'єму залишкових твердих тканин зуба, а в разі наявності морфометричних даних зубної коронки також величина об'ємного індексу зубного ферула, можуть слугувати додатковим критерієм прийняття рішення при виборі оптимального методу реставрації дефектів твердих тканин зуба після ендодонтичного втручання.

Перспективи подальших досліджень полягають у виборі методів лікування дефектів твердих тканин зубів після ендодонтичного втручання позаяк вони не визначені в єдиний протокол та потребують подальшого вивчення додаткових факторів: співвідношення коронки до довжини кореня зуба, що буде впливати на якість реставрації, наявність парафункцій, тип зубів, посилаючись на нові експериментальні розробки світових лідерів у стоматології та власних досліджень.

Конфлікт інтересів: відсутній.

References:

1. Fedoriuk V., Rozhko M. Problems of choosing a method of dental treatment of teeth after endodontic intervention. Scientific and practical journal [Internet]. 2024 Oct. 15 [cited 2025 Jan. 27]; 31(3):258-62. Available from: <https://art-of-medicine.ifnmu.edu.ua/index.php/aom/article/view/1170> DOI: <https://doi.org/10.21802/artm.2024.3.31.258>
2. Dzungza B, Yavorsky Y, Fedoriuk V, Rozhko M, Pysklynets U, Bulbuk O. Hardware and software for automated examination of defects of hard tissues of teeth after endodontic intervention for fatigue and destruction. Phys.Chem.Sol.State [Internet]. 2023 Dec. 21 [cited 2025 Jan. 27];24(4):722-8. Available from: <https://journals.pnu.edu.ua/index.php/pcss/article/view/7189> <https://doi.org/10.15330/pcss.24.4.722-728>.
3. Bhuva B, Giovarruscio M, Rahim N, Bitter K, ManInocci F. The restoration of root filled teeth: a review of the clinical literature. Int Endod J. 2021 Apr;54(4):509-535. <https://doi.org/10.1111/iej.13438>
4. Bomfim DI, Rahim NM, Austin RS. (2020) Biomechanical planning for minimally invasive indirect restorations. British Dental Journal, 229, 425–429.
5. Ghodsi S, Aghamohseni MM, Arzani S, Rasaeipour S, Shekarian M. Cement selection criteria for different types of intracanal posts. Dent Res J (Isfahan). 2022 Jul 18;19:51. PMID: 36159063; PMCID: PMC9490243.
6. Bulbuk O., Mazurenko V., Rozhko M., Bulbuk OI. An electronic Excel-calculator for calculating dental crown volumes. Polish Journal of Applied Sciences, 2019, 5, 17–20. <https://pjas.ansl.edu.pl/index.php/pjas/article/view/150> DOI: <https://doi.org/10.34668/PJAS.2019.5.2.03>
7. Tsehelyk H. H. Chyselni metody: Pidruchnyk. – Lviv: Vydavnychiy tsentr Lvivskoho natsionalnoho universytetu imeni Ivana Franka, 2004. – 408 s.
8. Meng Q, Chen Y, Ni K, Li Y, Li X, Meng J, Chen L, Mei ML. The effect of different ferrule heights and crown-to-root ratios on fracture resistance of endodontically-treated mandibular premolars restored with fiber post or cast metal post system: an in vitro study. BMC Oral Health. 2023 Jun 3;23(1):360. doi: 10.1186/s12903-023-03053-4. PMID: 37270602; PMCID: PMC10239114.
9. McDonald A, Setchell D. Developing a tooth restorability index. Dent Update. 2005 Jul-Aug;32(6):343-4, 346-8. doi: 10.12968/denu.2005.32.6.343. PMID: 16117355
10. Iemsengchairat R, Aksornmuang J. Fracture resistance of thin wall endodontically treated teeth without ferrules restored with various techniques. J Esthet Restor Dent. 2022 Jun;34(4):670-679. doi: 10.1111/jerd.12859. Epub 2021 Dec 28. PMID: 34964239.

UDC 616.314.1+ 616.314.17+616.314-77

USE OF SOFTWARE FOR DETERMINATION OF THE VOLUMES OF RESIDUAL DENTAL HARD TISSUES AFTER ENDODONTIC INTERVENTION

V.V. Fedoriuk, M.M. Rozhko

Ivano-Frankivsk National Medical University,
Department of Dentistry of Postgraduate Education,
Ivano-Frankivsk, Ukraine
ORCID: 0009-0005-7285-7438,
Scopus ID: 58683747100,
e-mail: fedoriukvolodymyr@gmail.com
ORCID: 0000-0002-6876-2533,
Scopus ID: 57195620855,
e-mail: mrozhko@ifnmu.edu.ua

Abstract. Previous studies have established that the preservation of the volume of residual hard tooth tissues (ferrule effect) affects the resistance of the restored structure to the physical and mechanical characteristics of the restoration. Existing methods for determining the volume of hard tissue defects after endodontic intervention are time-consuming and require additional laboratory steps, which complicates their use in clinical settings. Today, determining the extent of destruction of hard tooth tissues is one of the decisive indicators when choosing a direct or indirect treatment method. This is due to the fact that it is based on a differentiated approach in combination with orthopedic devices as a measure of prevention of destruction of the crown part of the teeth. This gives grounds

to consider the problem of determining the volume of the ferrule as relevant. To evaluate and develop the use of a method for determining residual tooth tissue volumes and hard tooth tissue defect volumes after endodontic intervention. In order to determine the volumes of residual hard dental tissues and the volumes of hard dental tissue defects for each group, adequate geometric models were used. Using the constructed models, mathematical calculations were performed based on their linear dimensions. The results we have substantiated the feasibility of using software to calculate the volumes of residual hard tissues of the tooth (dental ferrule) in order to adequately select the method of restoration of hard tissue defects after endodontic treatment. The application implements the method described in for calculating crown volumes for each group of teeth, as well as the method proposed in this work for calculating the volumes of residual hard tooth tissues. The value of the volumetric index of the dental ferrule calculated by the software application can serve as an additional decision-making criterion when choosing the optimal method of restoring defects in the hard tissues of the tooth after endodontic intervention. Using software, we have proposed a method for calculating the volumes of residual hard tooth tissues after endodontic intervention in clinical conditions, which allows us to improve the diagnostic

process in the presence of defects in hard tooth tissues after endodontic intervention for the selection of restoration methods. The advantages of this approach over others are the possibility of obtaining results in clinical conditions, the low cost of software, and the small error of the result. The software application has an intuitive graphical interface for entering input morphometric data, does not require any special additional skills from the user, and has no restrictions for use in clinical settings. The volume of residual hard tooth tissues calculated using the application, and in the case of morphometric data of the dental crown, also the volume index of the dental ferrule, can serve as an additional decision-making criterion when choosing the optimal method for restoring defects in hard tooth tissues after endodontic intervention. Prospects for further research the choice of the method of treatment of defects in the hard tissues of teeth after endodontic intervention is not defined in a single protocol and requires further careful study with new experimental developments of world leaders in dentistry.

Keywords: defects in the hard tissues of the tooth after endodontic intervention, volume, diagnostics, calculator, dental ferrule.

Conflict of interest: absent.

Стаття надійшла в редакцію 31.03.2025 р.
Стаття прийнята до друку 08.06.2025 р.