

МОДЕЛЬ ВИВЧЕННЯ ПОТОКУ ІРИГАЦІЙНОГО РОЗЧИНУ В КОРЕНЕВОМУ КАНАЛІ

¹Буковинський державний медичний університет (м. Чернівці, Україна)

²Івано-Франківський національний медичний університет (м. Івано-Франківськ, Україна)

Анотація: В статті представлені результати чисельного моделювання нестационарного витоку іригаційного розчину у кореновому каналі. Геометрична форма каналу була побудована відповідно до підготовленого реального каналу в нижньому різці за допомогою ротаційного інструменту. Чисельне моделювання потоку іриганту виконувалося в нестационарній постановці з використанням рівняння неперервності і тривимірних опосередкованих по Рейнольдсу рівнянь Нав'є-Стокса нестисненої в'язкої рідини з визначеними нами параметрами.

Ключові слова: ендодонтія, іригація, розчини, кореневі канали, гідродинаміка.

Abstract. The article presents the results of numerical modeling of unsteady irrigant leakage in the root canal. The geometry of the canal was designed according to the prepared real canal in the lower incisor using a rotary tool. Numerical simulation of the irrigant flow was performed in an unsteady setting using the continuity equation and the three-dimensional Reynolds-mediated Navier-Stokes equations of an incompressible viscous liquid with the parameters we determined.

Key words: endodontics, irrigation, solutions, root canals, hydrodynamics.

Зв'язок публікації з плановими науково-дослідними роботами.

Запропоноване дослідження є фрагментом комплексної НДР "Розробка методів профілактики та лікування основних стоматологічних захворювань у дітей з урахуванням чинників ризику їх розвитку" (№ державної реєстрації 0121U110122) Буковинського державного медичного університету.

Вступ.

В останні десятиліття для отримання додаткової інформації про потік іригантів усередині системи кореневих каналів, детального вивчення впливу взаємодії між швидкістю потоку іриганту, розміром і конусністю кореневого каналу, а також типом, розміром та глибиною введення голки, почали використовуватися методи обчислювальної гідродинаміки на базі математичних моделей, які доповнюють лабораторні експерименти та дозволяють отримати інформацію в тих ділянках системи кореневого каналу, де експериментальні виміри утруднені або навіть неможливі [1-6].

Мета дослідження.

Провести чисельне моделювання потоку (течії) іригаційного розчину у кореновому каналі.

Об'єкт і методи досліджень.

Проводилося моделювання течії (потoku) іригаційного розчину (6% розчину гіпохлориту натрію) з голки закритого типу з бічним отвором розміру 30G в каналі зуба овальної форми. Геометрична форма каналу (рис. 1) була побудована відповідно до підготовленого реального каналу в нижньому різці за допомогою ротаційного інструменту RaCe 4%-30 фірми FKG Dentaire (Швейцарія).

Довжина каналу – 12 мм. Відстань від кінчика голки до апікального отвору каналу – 1 мм. Зовнішній діаметр голки було прийнято рівним 313 мкм (середньостатистичні дані власних досліджень для голок розміру

30G), внутрішній діаметр каналу становив – 183 мкм. Розміри бічного отвору іригаційної голки, виконані бічним зрізом поверхні на глибину 3/4 радіусу голки, становили – 475×178 мкм. Вихідний отвір голки розташовувався у бік великого (варіант А) та малого діаметра (варіант В) поперечного перерізу каналу.

Чисельне моделювання потоку (течії) іриганту виконувалося в нестационарній постановці з використанням рівняння неперервності і тривимірних опосередкованих по Рейнольдсу рівнянь Нав'є-Стокса [7] нестисненої в'язкої рідини з параметрами, зазначеними в таблиці.

Таблиця – Параметри течії (потoku) і фізичні властивості іриганта

Параметр	Величина	Одиниці виміру
Розхід іриганта	5	мл/мин
Щільність іриганта	1039.7	г/л
Динамічна в'язкість іриганта	0.001003	кг/м с

Результати дослідження та їх обговорення.

Математичною особливістю рівнянь Нав'є-Стокса нестисненої рідини є відсутність тиску в рівнянні неперервності, що призводить до необхідності введення додаткових чисельних процедур, що зв'язують поля тиску та швидкостей. Для взаємної корекції полів тиску та швидкостей використовується метод штучної стисненості.

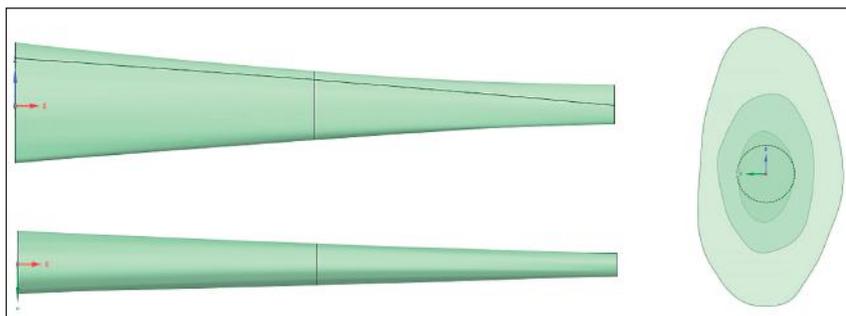


Рисунок 1 – Геометрія кореневого каналу.

Граничні умови були задані в такий спосіб. У вхідному перерізі голки з боку гирла задавалася фіксована витрата іриганта. На внутрішній поверхні кореневого каналу та поверхні іригаційної голки задавалися умови прилипання. На вихідній межі в гирловій частині каналу граничні умови були задані атмосферним тиском з використанням методу характеристик.

Чисельне моделювання потоку іригаційного розчину в кореновому каналі проводилося з використанням гібридної неструктурованої сітки із загальною кількістю вузлів, що варіювалися для різних розрахункових випадків від 25 106 до 30 106 вузлів. Поблизу твердих поверхонь голки та кореневого каналу сітка значно згущувалась, для кращої роздільності дозволу ефектів у пограничному шарі.

За результатами дослідження, за нульову гіпотезу (H0) ми прийняли той факт, що немає жодної різниці в глибині занурення іригаційної голки в канал і немає жодної різниці в положенні бокового отвору іригаційної голки 30G, при подачі розчину зі шприца. Проведене чисельне моделювання нестационарного витоку іриганта надасть можливість вивчити параметри витоку іриганта для шести положень, на відповідних відстанях від кінчика голки до апікального отвору: 1мм, 2мм та 3мм. Для кожної відстані будуть розглянуті варіанти розташування вихідного отвору голки по великому (A) та малому (B) діаметру.

Положення голки в каналі та поперечні перерізи, в яких наведено розподіл гідродинамічних параметрів, показані на рисунках 2-4. Поздовжні перерізи утворені перерізною поверхнею, що проходить через вісь каналу і через один з діаметрів каналу – малий діаметр (площина Oxy) або великий діаметр (площина Oxz). Перетин поздовжніх площин з поверхнею каналу утворює поздовжні лінії побудови графіків по стінці каналу (рис. 2).

Поперечні перерізи утворені перерізними поверхнями, перпендикулярними до осі каналу і розташовані перед вихідним отвором голки, в отворі і за ним (рис. 3, 4). Перетин поперечних перерізів та одного із поздовжніх перерізів утворює лінії побудови графіків усередині розрахункової області. У

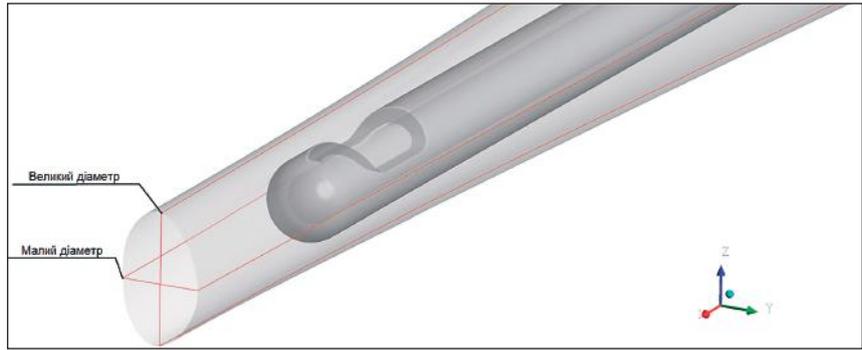


Рисунок 2 – Поздовжні лінії побудови графіків по поверхні каналу.

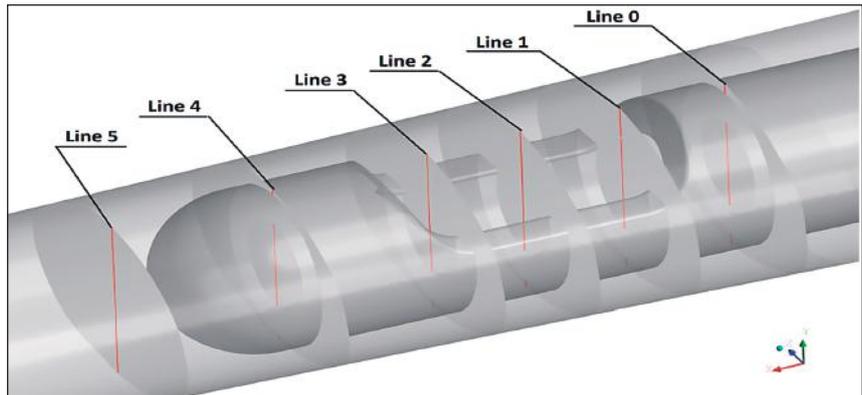


Рисунок 3 – Лінії побудови графіків та поперечні перерізи поверхні.

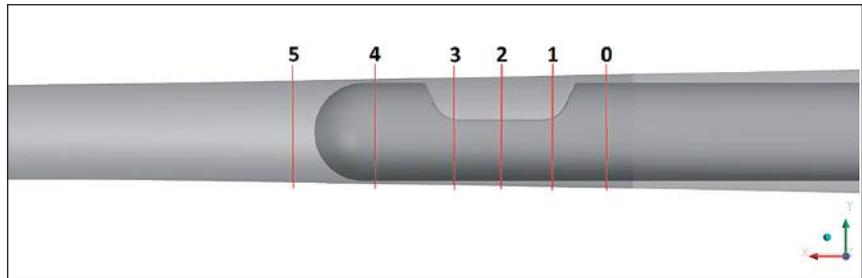


Рисунок 4 – Нумерація поперечних перерізів розрахункової області.

такому випадку поздовжня поверхня вибирається такою, що проходить через вихідний отвір голки.

Висновки.

Проведене чисельне моделювання нестационарного витоку іриганта з використанням тривимірних опосередкованих за Рейнольдсом рівнянь Нав'є-Стокса в'язкої рідини, що не стискається надасть можливість вивчити параметри витоку іриганта для шести положень, на відповідних відстанях від кінчика голки до апікального отвору та перевірити визначену нульову гіпотезу.

Вірогідно, що положення голки в кореновому каналі суттєво впливатиме на параметри витоку іриганта, а також його вимивальну здатність, та динаміку зростання концентрації гіпохлориту натрію, причому по-різному в різних зонах кореневого каналу.

Література

1. Boutsoukis C, Arias-Moliz MT, Chávez de Paz LE. A critical analysis of research methods and experimental models to study irrigants and irrigation systems. *International endodontic journal*. 2022;55(2):295–329. DOI: [10.1111/iej.13710](https://doi.org/10.1111/iej.13710).
2. Pereira TC, Boutsoukis C, Dijkstra RJB, Petridis X, Versluis M, Andrade FB, et al. Biofilm removal from a simulated isthmus and lateral canal during syringe irrigation at various flow rates: a combined experimental and Computational Fluid Dynamics approach. *International Endodontic Journal*. 2021;54:427–438. DOI: [10.1111/iej.13420](https://doi.org/10.1111/iej.13420).
3. Koch JD, Jaramillo DE, DiVito E, Peters OA. Irrigant flow during photon-induced photoacoustic streaming (PIPS) using Particle Image Velocimetry (PIV). *Clinical Oral Investigations*. 2016;20:381–386. DOI: [10.1007/s00784-015-1562-9](https://doi.org/10.1007/s00784-015-1562-9).
4. Boutsoukis C, Psimma Z, Kastrinakis E. The effect of flow rate and agitation technique on irrigant extrusion ex vivo. *International endodontic journal*. 2014;47(5):487–496. DOI: [10.1111/iej.12176](https://doi.org/10.1111/iej.12176).
5. Boutsoukis C, Gutierrez Nova P. Syringe irrigation in minimally shaped root canals using 3 endodontic needles: a Computational Fluid Dynamics study. *Journal of Endodontics*. 2021;47:1487–1495. DOI: [10.1016/j.joen.2021.06.001](https://doi.org/10.1016/j.joen.2021.06.001).
6. Loroño G, Zaldivar JR, Arias A, Cisneros R, Dorado S, Jimenez-Octavio JR. Positive and negative pressure irrigation in oval root canals with apical ramifications: a computational fluid dynamics evaluation in micro-CT scanned real teeth. *International Endodontic Journal*. 2020;53:671–679. DOI: [10.1111/iej.13260](https://doi.org/10.1111/iej.13260).
7. Kalion VA. *Obchysliuvalna hidrodynamika*. Rivniannia Nav'ie-Stoksa. Kyiv: Vydavnycho-polihrafichnyi tcentr "Kyivskiy universytet"; 2016. 221 s. [in Ukrainian].