

Original article

<https://doi.org/10.26565/2075-3810-2021-45-02>

УДК 577.342+616.71

СЕГМЕНТАЦІЯ ДЕНТАЛЬНОЇ РЕНТГЕНОГРАМИ ПРИ ЕНДОДОНТИЧНОМУ ЛІКУВАННІ

О. М. Перепелиця

Харківський національний університет радіоелектроніки, просп. Науки, 14, м. Харків, 61166, Україна

e-mail: oleksii.perepelytsia@nure.ua

Надійшла до редакції 24 лютого 2021 р. Переглянута 12 квітня 2021 р.

Прийнята до друку 11 травня 2021 р.

Актуальність. Основою успішного ендодонтичного лікування є правильне визначення робочої довжини кореневого каналу (відстань між зовнішнім орієнтиром на коронці зуба до апікального кордону). Як кордон для обробки і пломбування кореневого каналу рекомендована зона апікальної констрикції (звуження). Внутрішньоротова рентгенограма дозволяє отримати інформацію про напрям вигинів корневих каналів, а також визначити робочу довжину. Проте рентгенограма є двовимірним сумарним зображенням і не відтворює всю анатомію апікальної частини кореня, тому часто відзначаються нашарування і спотворення зображення. При інтерпретації рентгенограм існує ймовірність помилки, пов'язаної з суб'єктивністю оцінювального результату спеціаліста. Таким чином, керуватися виключно цим методом визначення робочої довжини недоцільно. Метод апекслокації заснований на різниці електричного опору тканин. Тверді тканини зуба мають більш високий опір ніж слизова оболонка порожнини рота і тканини періодонта. Пристрої для електрометричного визначення робочої довжини кореневого каналу визначають імпеданс за допомогою змінних струмів різної частоти та застосовують метод співвідношення. Цей вимір є стабільним і має високу точність навіть при роботі у вологих каналах та забезпечує плавну візуалізацію всього процесу проникнення верхівки каналного інструмента і високу точність визначення місця фізіологічної верхівки кореня (понад 80 %). Сучасні алгоритми для електрометричного визначення робочої довжини кореневого каналу не поєднують дані, що отримуються з рентгенограми. У зв'язку з цим актуальним є розробка нових методів та засобів відображення електрометричних даних на рентгенограмі для більш достовірного визначення місця фізіологічної верхівки кореня.

Мета роботи — розробка методу сегментації дентальної рентгенограми для визначення зони апікальної констрикції.

Матеріали й методи: принципи ендодонтичного препарування зубів; методи визначення робочої довжини кореневого каналу (рентгенологічний, електрометричний); метод порогової сегментації; метод сегментації кісткових структур на томографічних зображеннях.

Результати. В результаті виконаної роботи були сегментовані структури корневих каналів зуба та визначена їх довжина. Порівняння електронного визначення робочої довжини з радіологічним показало, що в деяких випадках рентгеновська і електронна довжина не збігаються. При латеральному викривленні каналу рентгеновський знімок може показати коротшу робочу довжину, ніж прилади для апекслокації, тому електронна робоча довжина, зазвичай точніша, ніж довжина, визначена рентгеновським способом.

Висновки. Перевагою вимірювання довжини кореневого каналу за допомогою апекслокатора є значно більша точність (близько 0,5 мм) в порівнянні з методом рентгенографії, однак більш достовірним може бути поєднання цих двох методів, що потребує подальших статистичних досліджень. Особливу увагу при цьому слід приділити особливостям методів обробки та сегментації отриманих діагностичних зображень для забезпечення максимальної якості візуалізації контурів корневих каналів.

© Перепелиця О. М., 2021. **Open Access.** This article is licensed under a Creative Commons Attribution 3.0 <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>

Як цитувати: Перепелиця О. М. Сегментація дентальної рентгенограми при ендодонтичному лікуванні. Біофізичний вісник. 2021;45:21–31. <https://doi.org/10.26565/2075-3810-2021-45-02>

Cite this article: Perepelytsia OM. Segmentation of dental x-ray in endodontic treatment. Biophysical Bulletin. 2021;45:21–31. <https://doi.org/10.26565/2075-3810-2021-45-02>

КЛЮЧОВІ СЛОВА: довжина кореневого каналу; апікальний кордон; рентгенограма; ендодонтичне лікування; апекслокатор.

SEGMENTATION OF DENTAL X-RAY IN ENDODONTIC TREATMENT

O. M. Perepelytsia

Kharkiv National University of Radio Electronics, 14 Nauky Ave., Kharkiv, 61166, Ukraine

Background: The basis of successful endodontic treatment is the correct determination of the working length of the root canal (the distance between the external landmark on the crown of the tooth to the apical border). An apical constriction zone is recommended as a border for root canal treatment and filling. Intraoral radiograph allows you to obtain information about the direction of bending of the root canals, as well as to determine the working length. However, the radiograph is a two-dimensional total image and does not reproduce the entire anatomy of the apical part of the root therefore there are often layers and distortions of the image. When interpreting radiographs, there is a probability of error associated with the subjectivity of the evaluation result of the specialist. Thus, it is impractical to be guided exclusively by this method of determining the working length. The method of apexlocation is based on the difference of electrical resistance of tissues. The hard tissues of the tooth have a higher resistance than the mucous membrane of the mouth and periodontal tissue. Devices for electrometric determination of the working length of the root canal determine the impedance using alternating currents of different frequencies and apply the method of ratio. This measurement is stable and accurate even when working in wet channels and provides smooth visualization of all process of penetration of a top of the channel tool and high accuracy of definition of a place of physiological top of a root (over 80%). Modern algorithms for electrometric determination of the working length of the root canal do not combine the data obtained from the radiograph. In this regard, it is important to develop new methods and means of displaying electrometric data on the radiograph to more accurately determine the location of the physiological apex of the root.

Objectives: Development of a method of segmentation of the dental radiograph to determine the area of apical narrowing.

Materials and methods: principles of endodontic tooth preparation; methods for determining the working length of the root canal (radiological, electrometric); threshold segmentation method; method of segmentation of bone structures on tomographic images.

Results: As a result of the performed work, the structures of the root canals of the tooth were segmented and their length was determined. Comparison of electronic determination of working length with radiological led to the fact that in some cases, X-ray and electronic length do not match. With lateral curvature of the canal, the X-ray may show a shorter working length than apexlocation devices, so the electronic working length is usually more accurate than the length determined by X-ray.

Conclusions: The advantage of measuring the length of the root canal with an apex locator is much greater accuracy (about 0.5 mm) compared to the method of radiography, but the combination of these two methods is more reliable, which requires further statistical studies. Particular attention should be to the peculiarities of processing and segmentation methods of the obtained diagnostic images to ensure the maximum quality of visualization of the contours of the root canals.

KEY WORDS: root canal length; apical border; radiograph; endodontic treatment; apexlocator.

СЕГМЕНТАЦИЯ ДЕНТАЛЬНОЙ РЕНТГЕНОГРАММЫ ПРИ ЭНДОДОНТИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ

А. Н. Перепелиця

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, просп. Науки 14, г. Харьков, 61166, Украина

Актуальность. Основой успешного эндодонтического лечения является правильное определение рабочей длины корневого канала (расстояние между внешним ориентиром на коронке зуба к апикальной границе). В качестве границы для обработки и пломбирования корневого канала рекомендуется зона апикальной констрикции (сужения). Внутриротовая рентгенограмма позволяет получить информацию о направлении изгибов корневых каналов, а также определить рабочую длину. Однако рентгенограмма является двумерным суммарным изображением и не воспроизводит всю анатомию апикальной части корня, поэтому часто отмечаются наложения и искажения изображения. При интерпретации рентгенограмм существует вероятность ошибки, связанной с субъективностью оценочного результата специалиста. Таким образом, руководствоваться исключительно этим методом определения рабочей длины нецелесообразно. Метод апекслокации основан на разнице сопротивления тканей. Твердые ткани зуба имеют более высокое сопротивление чем слизистая оболочка полости рта и ткани периодонта. Устройства для электрометрического определения рабочей длины корневого канала определяют импеданс с помощью переменных токов различной частоты и применяют метод соотношения. Это измерение является стабильным и высокоточным даже при работе во влажных каналах и обеспечивает плавную визуализацию всего процесса проникновения верхушки канального инструмента и высокую точность определения

фізіологічної верхушки корня (більше 80 %). Сучасні алгоритми для електрометричного визначення робочої довжини кореневого каналу не об'єднують дані, отримані з рентгенограмми. В зв'язі з цим актуальним є розробка нових методів і засобів відображення електрометричних даних на рентгенограмі для більш достовірного визначення фізіологічної верхушки корня.

Цель работы — розробка методу сегментації дентальної рентгенограми для визначення зони апікальної констрикції.

Матеріали і методи: принципи ендодонтичного препарування зубів; методи визначення робочої довжини кореневого каналу (рентгенологічний, електрометричний) метод порогової сегментації; метод сегментації костних структур на томографічних зображеннях.

Результати. В результаті проделаної роботи були сегментовані структури корневих каналів зуба і визначена їх довжина. Порівняння електронного визначення робочої довжини з радіологічним показало, що в деяких випадках рентгеновська і електронна довжина не збігаються. При латеральному викривленні каналу рентгеновський знімок може показати більш коротку робочу довжину, ніж прилади для апекслокації, тому електронна робоча довжина, як правило, точніше, ніж довжина, визначена рентгеновським способом.

Висновки. Перевагою вимірювання довжини кореневого каналу з допомогою апекслокатора є значно більша точність (близько 0,5 мм) порівняно з методом рентгенографії, однак більш достовірним може бути поєднання цих двох методів, що вимагає подальших статистичних досліджень. Особливу увагу при цьому слід приділити особливостям методів обробки і сегментації отриманих діагностичних зображень для забезпечення максимального якості візуалізації контурів корневих каналів.

КЛЮЧЕВІ СЛОВА: довжина кореневого каналу; апікальна границя; рентгенограма; ендодонтичне лікування, апекслокатор.

У структурі апекса виділяють 3 зони: власне апекс (рентгенологічна верхівка корня), великий апікальний отвір і апікальна констрикція (область апікальної частини кореневого каналу з найменшим діаметром). Як межа для обробки і пломбування кореневого каналу рекомендована зона апікальної констрикції (звуження) [1, 2]. Метод апекслокації заснований на різниці електричного опору тканин. Тверді тканини зуба мають більш високий опір ніж слизова оболонка порожнини рота і тканини періодонта. Електричний ланцюг між електродами, розміщеними на губі (губний електрод) і в каналі (електрод у вигляді файлу з градувальними стоппером), залишається замкнутим до моменту досягнення файлом тканин періодонта. В області апікального звуження відбувається різке падіння опору, ланцюг замикається, що і фіксує апекслокатор [3].

Визначення робочої довжини кореневого каналу — перший і основний етап ендодонтичного лікування. Перед початком ендодонтичного втручання визначають математичну довжину кореневого каналу. Для цього використовують табличний спосіб. Знання діапазону коливань довжини зубів є важливим фактором успішного проходження корневих каналів і подальших точних вимірювань.

Робоча довжина — це відстань від найбільш виступаючої частини коронки зуба до фізіологічного звуження — апікальної констрикції (рис. 1).



Рис. 1. Візуалізація робочої довжини кореневого каналу [3].

Fig. 1. Visualization of the working length of the root canal [3].

Апікальна констрикція найчастіше має складну конфігурацію і ускладнює визначення істинної робочої довжини.

На відстані 1,0 мм від анатомічної верхівки знаходиться фізіологічна верхівка остаточної робочої довжини зуба (рис. 2).

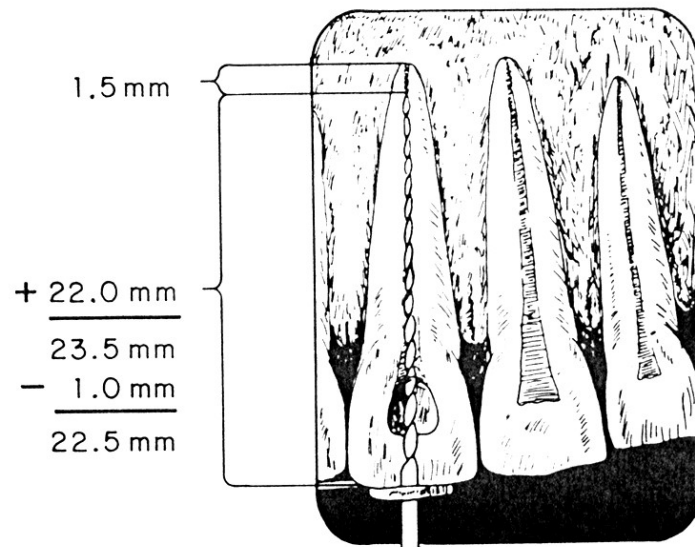


Рис. 2. Розрахунок робочої довжини кореневого каналу [2].

Fig. 2. Calculation of the working length of the root canal [2].

При лікуванні пульпіту стінки кореневого каналу не інфіковані, тому для запобігання надмірного розширення апікальної констрикції і травмування періапикальних тканин препарування проводиться на 1 мм до апікального звуження. При лікуванні періодонтитів в разі повторного ендодонтичного лікування вважається, що вся система каналів інфікована. У таких випадках, підготовка каналу повинна йти якомога ближче (0,5 мм) до апікального звуження.

Пристрої для електрометричного визначення робочої довжини кореневого каналу визначають імпеданс за допомогою змінних струмів різної частоти. Застосовуючи метод співвідношення вони дозволяють знаходити загальний коефіцієнт опору, що відображає положення файлу в каналі (рис. 3). Схема виміру показана на рис. 4.

Цей вимір вказує на присутність електролітів у пульпарній тканині, є стабільним і забезпечує високу точність вимірювання [5]. Істотним недоліком методу є вимога до роботи у відносно сухих або частково підсушених каналах.

В процесі бібліографічного аналізу було виявлено наступний аспект: багато уваги в сегментації стоматологічних рентгенівських знімків приділяється сегментації на основі порогових значень. Майже у 80% проаналізованих статей використовувався саме цей метод [6], що зумовлено високою точністю і повторюваністю результатів при різних умовах. Але досліджень довжини кореневого каналу імпедансним (або електрометричним) методом, спрямованих на ендодонтичне лікування, не велося.

Мета роботи — розробка методу сегментації дентальної рентгенограми для визначення зони апікальної констрикції та порівняння отриманих результатів з електрометричним та математичним методом із подальшим вдосконаленням.



Рис. 3. Показання реєстрації апекслокатора Dentsply Propex Pixi:
 а — інтерфейс користувача із розміткою індикаторів, де: 1 — індикатор положення входу файлу в канал, 2 — файл знаходиться в пре-апикальній зоні, 3 — файл знаходиться в апикальному звуженні, 4 — файл вийшов за межі апексу;
 б — структура апекса за посібником користувача Propex Pixi [4].

Fig. 3. Indications for registration of Dentsply Propex Pixi:
 a — user interface with indicator markup, where: 1 — indicator of the position of the file entry into the channel, 2 — the file is in the pre-apical zone, 3 — the file is in the apical narrowing, 4 — the file went beyond the apex; b - structure of the apex according to the user manual Propex Pixi [4].



Рис. 4. Схема локації апікального звуження електрометричним методом на прикладі апекслокатора Dentsply Propex Pixi.

Fig. 4. Diagram of the location of apical narrowing by electrometric method on the example of apexlocator Dentsply Propex Pixi.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Методика електрометричного визначення довжини кореневого каналу проводилася в два етапи. Перший етап — за допомогою апарату Propex Pixi визначалася попередня робоча довжина: загубний електрод встановлювався на тій стороні щелепи, на якій знаходився досліджуваний зуб. В якості активного електроду використовувався К-файл. Визначена апаратом Propex Pixi робоча довжина фіксувалася стоппером на К-файлі. В

процесі обробки кореневого каналу відбувається розширення його гирла, збільшення діаметра і конусності. Ці маніпуляції зменшують довжину, як наслідок вигин робочого інструмента також зменшується. Тому при першому вимірі вигнутий канал мав більшу довжину, ніж після остаточної механічної обробки. Первинна обробка каналу проводилася в області 2/3 довжини для виключення механічних травм періодонта. Другий етап — остаточно обробка кореневого каналу і вимірювання електрометричним методом. В ході описаних вище вимірів реєструвалася цифра, яка була дещо менша, ніж та, що спостерігалася на самому початку. Це значення визначалося як остаточно робоча довжина каналу.

Методика рентгенологічного визначення довжини кореневого каналу наступна. Для дентальної рентгенограми використовується монохромна фотометрична інтерпретація (яскравості пікселів зображення представлені сірою шкалою із показниками від 0 до 255, де значення яскравості 0 відповідає пікселю із чорним кольором, значення 255 — білому).

Для дослідження були взяті дані, які були отримані за допомогою візіографа Planmeca ProSensor HD, що має роздільну здатність вихідного зображення 1020×688 пікселів. Для розробки програмного забезпечення для сегментації та виміру довжини каналу було вибрано середовище Matlab 2019 Image Processing Toolbox [7].

Для виділення об'єкту дослідження (кореня зубу) був використаний пороговий метод. Пороговий метод — це метод бінарізації, заснований на поділі зображення на 2 частини, ґрунтуючись на порогових значеннях. Порогове значення (T) вибирається відповідно до задачі, що треба виконати (від 0 до 255). Всі значення яскравості, які знаходяться в області значень вище ніж T , називаються значеннями об'єктів, все що нижче — значення фону. Далі знаходиться граничний шар — крива лінія, що розділяє елементи об'єкта і фону. Уздовж цієї лінії виконується виділення сегмента, якщо він задовольняє умові фільтрації низькочастотних шумів.

РЕЗУЛЬТАТИ Й ОБГОВОРЕННЯ

На рис. 5–7 показані гістограми (графіки розподілу елементів зображення з різною яскравістю, в яких по горизонтальній осі представлена яскравість від 0 до 255, а по вертикалі — кількість пікселів з конкретним значенням яскравості відповідних їм зображень зубів. Тобто гістограма на рис. 5 б показує розподіл яскравості пікселів, що має зображення на рис. 5 а, гістограма на рис. 6 б відповідає зображенню на рис. 6 а, гістограма на рис. 7 б відповідає зображенню на рис. 7 а.

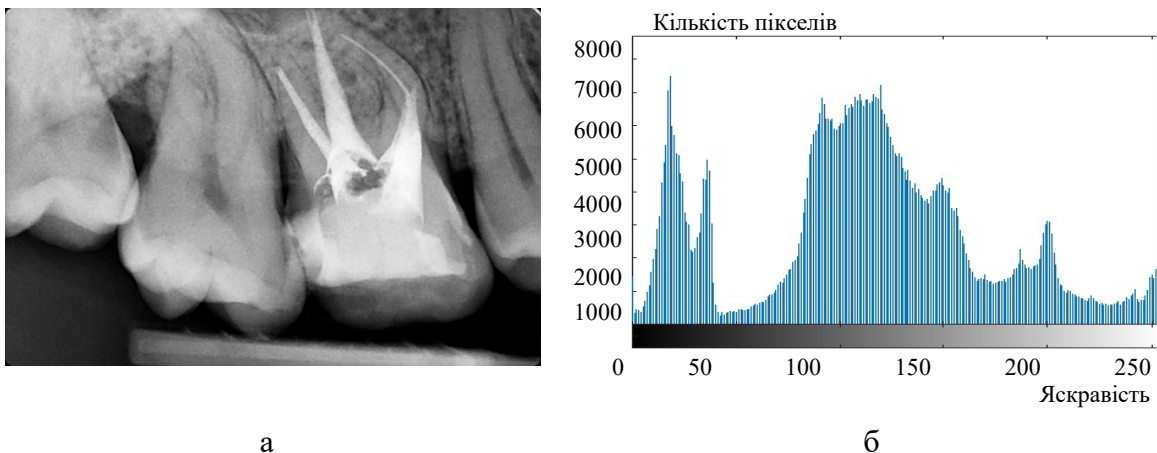


Рис. 5. Гістограмний аналіз зображення: а — зображення зуба №1, б — відповідна гістограма.

Fig. 5. Histogram analysis of the image: a — image of the tooth №1, b — the corresponding histogram.

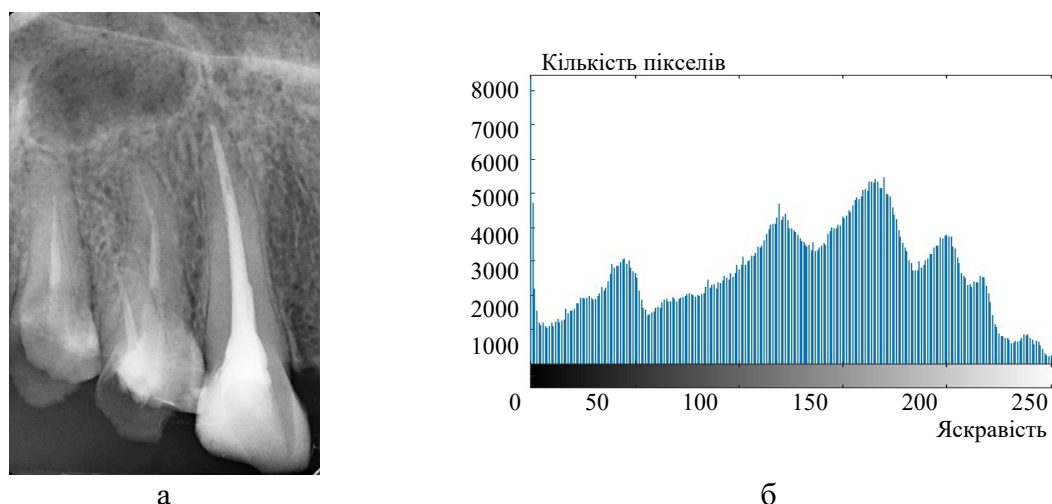


Рис. 6. Гістограмний аналіз зображення: а — зображення зуба №2, б — відповідна гістограма.

Fig. 6. Histogram analysis of the image: a — image of the tooth №2, b — the corresponding histogram.

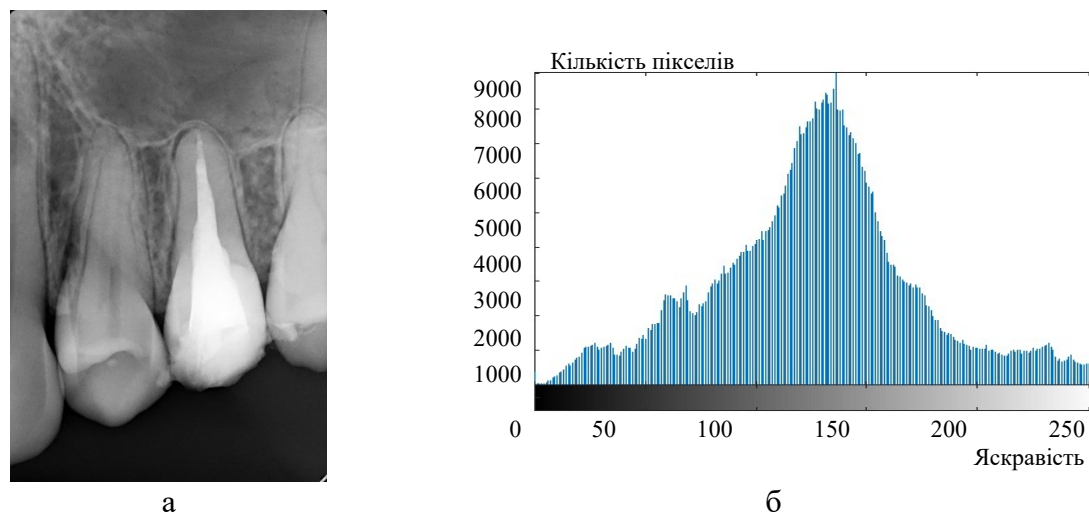


Рис. 7. Гістограмний аналіз зображення: а — зображення зуба №3, б — відповідна гістограма.

Fig. 7. Histogram analysis of the image: a — image of the tooth №3, b — the corresponding histogram.

Фізіологічному запломбованому кореневому каналу відповідають проміжки з більшими показниками яскравості. Для виділення цих областей, досить вибрати значення T і визначити всі точки, що мають $f(x,y) > T$, які належать об'єкту, а в іншому випадку — належать фону [8]. Тоді вихідне зображення (g) визначається наступним виразом:

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if } f(x,y) > T \\ 0, & \text{if } f(x,y) \leq T \end{cases} \quad (1)$$

де 1 — значення об'єкту;
0 — значення фону.

Для бінарізації зображення кореня зуба було вибрано поріг $T=210$. Враховуючи роздільну здатність, для виключення артефактів бінарізації була застосована фільтрація із видаленням сегментів, що мають кількість пікселів нижче 30,000 [9, 10]. Результат бінарізації наведено на рис. 8.

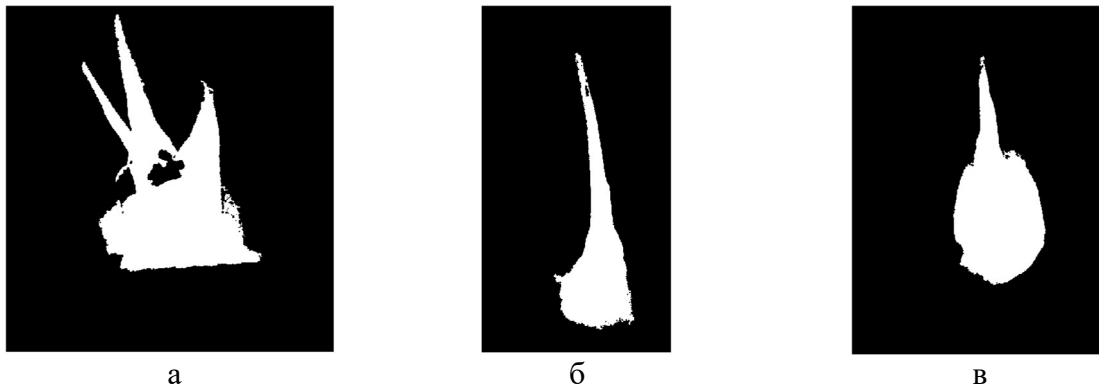


Рис. 8. Результат бінаризації зображень із порогом $T=210$: а — сегментований зуб №1, б — сегментований зуб №2, в — сегментований зуб №3.

Fig. 8. The result of binarization of images with a threshold $T = 210$: a — segmented tooth №1, b — segmented tooth №2, c — segmented tooth №3.

При пороговій сегментації необхідно додатково враховувати пов'язаність компонентів. Якщо вважати дві точки зображення пов'язаними і існує шлях між ними, уздовж якого характеристична функція постійна, то точки є пов'язаними. Розмітка об'єктів на дискретному бінарному зображенні полягає у виборі точки об'єкта, від якої власне починається зростання. На наступному кроці позначаються сусідні точки (крім вже позначених) і так далі [11]. По завершенні цієї рекурсивної процедури ми отримуємо замкнений контур (рис. 9).

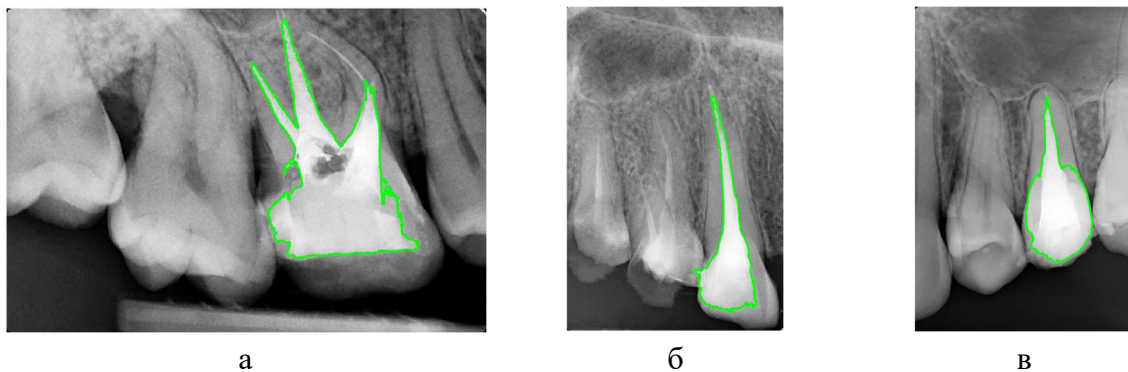


Рис. 9. Результат нанесення сегментованих контурів кореня зубів на початкове зображення: а — зуб №1, б — зуб №2, в — зуб №3.

Fig. 9. The result of drawing segmented contours of the root of the teeth on the initial image: a — tooth №1, b — tooth №2, c — tooth №3.

У таблицях для математичного визначення довжин кореневого каналу (табл. 1) наводяться значення довжин зубів і коренів, а також співвідношення розмірів коронки і кореня, кількість і частота знаходження каналів в корені, апікальних отворів, напрямок вигину каналу. Вони допомагають лікарю-стоматологу орієнтуватися в особливостях конкретного зуба, але не дають інформацію про точну конфігурацію каналів. Порівняння математичного, електронного та рентгенологічного методу визначення робочої довжини наведено у табл. 2.

Таблиця 1. Математичне визначення довжини кореневого каналу по J.I. Ingle, L.K. Bakland, J. Baumgartner [12]

Table 1. Mathematical determination of the length of the root canal according to J.I. Ingle, L.K. Buckland, J. Baumgartner [12]

Щелепа	Зуб	Довжина зуба, мм		
		Мінімальна	Середня	Максимальна
Верхня	1	21,0	23,3	25,6
	2	20,5	22,8	25,1
	3	23,1	26,0	28,8
	4	18,8	21,8	23,8
	5	19,0	21,0	23,0
	6 піднебінний	17,6	20,6	22,5
	6 дистально-щічні	17,6	19,4	21,2
	6 медіально-щічні	18,2	19,9	21,6
	7 піднебінний	19,0	20,8	22,6
	7 дистально-щічні	17,5	19,4	21,3
	7 медіально-щічні	18,2	20,2	22,2
	Нижня	1	19,6	21,5
2		20,2	22,4	24,6
3		22,9	25,2	27,5
4		20,1	22,1	24,1
5		19,1	21,4	23,7
6 дистальний		19,2	20,9	22,6
6 медіальний		19,1	20,9	22,7
7 дистальний		19,0	20,8	22,6
7 медіальний		19,2	20,9	22,6

Таблиця 2. Порівняння вимірювань, що здійснювались за допомогою різних методів визначення довжини каналу

Table 2. Comparison of measurements performed using different methods of determining the length of the channel

Об'єкт	Математичний метод (середній показник)	Електрометричний метод	Рентгенологічний (програмний) метод
Корень №1	20,8 мм	20,3 мм	19,29 мм
Корень №2	26 мм	25,7 мм	25,28 мм
Корень №3	19,9 мм	19,5 мм	19,70 мм

Існують альтернативні методи визначення довжини кореневого каналу. Тактильний метод являє собою визначення робочої довжини каналу, ґрунтуючись на тактильних відчуттях. Результат залежить від досвіду лікаря, тому метод є суб'єктивним і малодостовірним, особливо при несформованому апексі [13]. Метод паперових штифтів заснований на введенні паперового штифта в просушений кореневий канал до тих пір, поки вершина не стане вологою від тканинної рідини. Поява вологи на вершині штифта свідчить про доведення паперового штифта до апікального отвору, а довжина такого паперового штифта приймається за робочу довжину кореневого каналу. Істотними недоліками такого методу є часті запалення, зміни, розширення і кровотеча верхівки

кореня [14]. Рентгенограма з введенням файлу — це об'єктивний метод, який в більшості випадків дає можливість розпізнати верхівку при правильно зробленому знімку [15]. Проте існують значні труднощі у виконанні вимірювання довжини кореневого каналу у деяких пацієнтів (підвищений блювотний рефлекс, променеве навантаження). Крім того, прагнення до створення універсального малоінвазивного методу з мінімальним променевим навантаженням і дискомфортом пацієнта, зумовили не розглядати дані методи в статті (тактильний метод, метод паперових штифтів, рентгенограма з введеними файлами).

В результаті виконаної роботи були сегментовані структури кореневих каналів зуба та визначена їх довжина. Порівняння (табл. 2) електронного визначення робочої довжини з рентгенологічним показали, що електронна довжина та рентгенологічна, визначена за допомогою програми, не збігаються. При латеральному викривленні каналу рентгенівський знімок може показати коротшу робочу довжину, ніж прилади для апекслокації [16, 17], а також існує ймовірність некоректної сегментації коронки зуба, що зумовлена низькою яскравістю пікселів коронки і, як наслідок, коронка не враховується в дослідження довжини.

ВИСНОВКИ

Перевагою вимірювання довжини кореневого каналу за допомогою апекслокатору є значно більша точність (близько 0,5 мм) в порівнянні з методом рентгенографії, однак більш достовірним може бути поєднання цих двох методів, що потребує подальших статистичних досліджень. Особливу увагу при цьому слід приділити особливостям методів обробки та сегментації отриманих діагностичних зображень для забезпечення максимальної якості візуалізації контурів кореневих каналів. При сегментації головною умовою є коректний вибір граничного значення бінаризації. Для цього необхідно проводити гістограмний аналіз отриманих зображень та в процесі післяобробки виконувати фільтрацію локальних артефактів за допомогою морфологічних операцій.

ПОДЯКА

Робота виконана в рамках отримання освітньої кваліфікації доктора філософії за спеціальністю 163 «Біомедична інженерія» Харківського національного університету радіоелектроніки.

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ

Автор повідомляє про відсутність конфлікту інтересів.

Author's ORCID ID

О. М. Перепелиця  <https://orcid.org/0000-0001-6850-2013>

REFERENCES

1. Kovetskaya EE. Methods for determining the working length of the root canal. Modern dentistry. 2006;3:35–9 Available from: <http://www.mednovosti.by/journal.aspx?article=2740>. (In Russian).
2. Kovetskaya EE. Comparative evaluation of the effectiveness of methods for determining the working length of the root canal. Modern dentistry. 2006;4:11–3. Available from: <http://www.mednovosti.by/journal.aspx?article=2758>. (In Russian).
3. Latysheva SV, Abaimova OI, Bondarik EA. Basic principles of endodontic tooth preparation. Dental journal. 2003;2:2–6. (In Russian).
4. Propex Pixi® apex locator. User manual [Internet]. Dentsply Sirona; 2021 [cited 22 May 2021]. Available from: https://www.dentsplysirona.com/content/dam/dentsply/pim/manufacture/Endodontics/Motors_Apex_Locators/Propex_Pixi/PROPEX%20PIXI%20EUROP_DFU_1018_MASTER_DSE_EN.pdf

5. Krainov SV, Popova AN, Firsova IV. Evaluation of the effectiveness of the electrometric method for determining the working length of the root canal using the example of the NovApex apex locator. Topical issues of modern dentistry: Proceedings of the Conference; 2010; Volgograd: OOO Blank; 2010. p. 248. (In Russian).
6. Silva G, Oliveira L, Pithon M. Automatic segmenting teeth in X-ray images: Trends, a novel data set, benchmarking and future perspectives. Expert Systems with Applications. 2018;107:15–31. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.04.001>
7. The MathWorks, Inc. Image Processing Toolbox [Internet]. [cited 2021 Aug 02]. Available from: <https://www.mathworks.com/products/image.html>
8. Shamraeva EO, Avrunin OG. Construction of models of cranial implants based on radiographic data. Applied radio electronics. 2005;4(4):441–3. Available from: https://openarchive.nure.ua/bitstream/document/5456/1/Prikladn_radioel-2005_T1-rus-67-69.pdf (In Russian).
9. Avrunin OG, Tymkovych MY, Moskovko SP, Romanyuk SO, Kotyra A, Smailova S. Using a priori data for segmentation anatomical structures of the brain. Przegląd elektrotechniczny. 2017;1(5):102–5. <https://doi.org/10.15199/48.2017.05.20>
10. Shamraeva, EO, Avrunin OG. Choice of a method for segmentation of bone structures on tomographic images. Bionics of intelligence: information, language, intelligence. 2006;65:83–7. (In Russian).
11. Avrunin OG. Visualization of the upper respiratory tract according to computed tomography. Radio electronics and informatics. 2007;4:119–22. Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/vizualizatsiya-verhnih-dyhatelnyh-putey-po-dannym-kompyuternoy-tomografii/pdf> (In Russian).
12. Ingle J, Bakland L, Baumgartner J. Endodontics. Hamilton, Ontario; Lewiston, NY: BC Decker, 2008.
13. Solovyova AM. Features of conservative endodontic treatment for chronic periodontitis in teeth with incomplete root formation. Children's dentistry (Pediatric dentistry and dental profilaxis). 2000;1–2:79–83. (In Russian).
14. Khomenko LA, Bidenko NV. Practical endodontics. Tools, materials and methods. Moscow: Kniga Plus; 2005. 224 p. ISBN: 5-93268-003-2. (In Russian).
15. Mounce R. Determination of the true working length. Journal of Endodontics. 2007;43(1):17–19.
16. Shchapov PF, Avrunin OG. Obtaining information redundancy in measuring control systems and diagnostics of measuring objects. Ukrainian metrological journal. 2011;1:47–50. (In Ukrainian).
17. Avrunin OG, Bodyansky EV, Kalashnik MV, Semenets VV, Filatov VO. Modern intelligent technologies of functional medical diagnostics. Kharkiv: Press of the Kharkiv National University of Radioelectronics; 2018. 236 p. <https://doi.org/10.30837/978-966-659-234-0>. (In Ukrainian).