

ROOT CANAL LENGTH DETERMINATION ON TRANSPARENT 3D-PRINTED TEETH USING AN ENDODONTIC MOTOR WITH AN INTEGRATED ELECTRONIC APEX LOCATOR: AN IN VITRO STUDY

Le Hoang Lan Anh^{1*}, Pham Tran Lan Khue¹, Huynh Chau Quang Khai², Phan Nhut Thuy Vi³, Nguyen Phuc Nguyen⁴, Nguyen Ngoc Hien⁵, Ta Thi Hong Nhung⁶, Le Anh Hong⁷

¹ Faculty of Dentistry, University of Medicine and Pharmacy at Ho Chi Minh City, Vietnam

² National Hospital of Odonto-Stomatology, Ho Chi Minh City - 201A Nguyen Chi Thanh Street, Cho Lon Ward, Ho Chi Minh City, Vietnam

³ Nguyen Hong Dental Clinic, 150/26B Nguyen Trai Street, Ben Thanh Ward, Ho Chi Minh City, Vietnam

⁴ Nguyen Thi Bich Ngoc Dental Clinic, 144 Mau Than Street, Thoi Binh Ward, Can Tho City, Vietnam

⁵ An Binh Hospital, 146 An Binh Street, An Dong Ward, Ho Chi Minh City, Vietnam

⁶ Greenfield Dental Clinic, 95 Trung Hoa Street, Cau Giay District, Hanoi, Vietnam

⁷ Khang Minh Dental Company Limited, 141 Trieu Quang Phuc Street, Cho Lon Ward, Ho Chi Minh City, Vietnam

Received: 17/03/2026

Revised: 30/03/2026; Accepted: 20/05/2026

ABSTRACT

Objective: This study aimed to investigate the accuracy and reliability of an electronic apex locator integrated into the Ai-Motor endodontic motor when used on transparent 3D-printed teeth in a chlorhexidine solution environment.

Methods: Three extracted human premolars obtained from patients indicated for orthodontic extraction were scanned using cone-beam computed tomography (CBCT). Based on these datasets, ten transparent 3D-printed tooth models were designed and fabricated, with access cavities pre-prepared using dedicated software. The printed teeth were placed in a transparent container filled with chlorhexidine solution and fixed on the specimen stage of an optical microscope. A WaveOne Gold instrument (Dentsply Sirona, Maillefer, Switzerland) mounted on the handpiece of the Ai-Motor was rigidly fixed to a separate microscope stage and introduced into the root canal to locate the apical foramen under two operating modes: automatic stop at the apex and automatic reverse rotation upon reaching the apex. Changes in the position of the microscope's fine micrometer knob between measurements were recorded and compared. Agreement between the two apex localization modes was assessed using Bland–Altman analysis.

Results: Both operating modes demonstrated a high level of agreement, with no evidence of fixed or proportional bias. The presence of chlorhexidine solution did not adversely affect the accuracy of apex localization.

Conclusion: The electronic apex locator integrated into the Ai-Motor endodontic motor provides accurate and reliable apical foramen determination on transparent 3D-printed teeth in a chlorhexidine solution environment.

Keywords: electronic apex locator, resin tooth, root canal length

*Corresponding author

Email: lhlanh@ump.edu.vn Phone: (+84) 985301170 DOI: 10.52163/yhc.v67i5.5176



ĐO CHIỀU DÀI ỐNG TỦY TRÊN RĂNG NHỰA TRONG SUỐT IN 3D BẰNG MÁY NỘI NHA TÍCH HỢP ĐỊNH VỊ LỖ CHÓP ĐIỆN TỬ: NGHIÊN CỨU IN VITRO

Lê Hoàng Lan Anh^{1*}, Phạm Trần Lan Khuê¹, Huỳnh Châu Quang Khải², Phan Nhật Thúy Vi³, Nguyễn Phúc Nguyên⁴, Nguyễn Ngọc Hiến⁵, Tạ Thị Hồng Nhung⁶, Lê Ánh Hồng⁷

¹Khoa Răng Hàm Mặt, Đại Học Y Dược Thành phố Hồ Chí Minh

²Bệnh viện Răng Hàm Mặt Trung Ương Thành phố Hồ Chí Minh - 201A Nguyễn Chí Thanh, phường Chợ Lớn, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

³Phòng khám Chuyên khoa Răng Hàm Mặt Nguyễn Hồng - 150/26B Nguyễn Trãi, Phường Bến Thành, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

⁴Nha Khoa Nguyễn Thị Bích Ngọc - 144 Mậu Thân, Phường Thới Bình, Thành phố Cần Thơ, Việt Nam

⁵Bệnh viện An Bình - 146 An Bình, phường An Đông, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

⁶Nha Khoa Greenfield - 95 Trung Hoà, Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

⁷Công ty TNHH Nha khoa Khang Minh - 141 Triệu Quang Phục, Phường Chợ Lớn, TP Hồ Chí Minh, Việt Nam

Ngày nhận bài: 17/03/2026

Ngày chỉnh sửa: 30/03/2026; Ngày duyệt đăng: 20/05/2026

TÓM TẮT

Mục tiêu: Nghiên cứu được thực hiện nhằm khảo sát độ chính xác và tính lặp lại của hệ thống định vị lỗ chóp điện tử tích hợp trong máy nội nha Ai-Motor khi ứng dụng trên mô hình răng nhựa trong suốt in 3D, trong điều kiện môi trường dung dịch chlorhexidine.

Phương pháp: Ba răng cối nhỏ người đã nhổ, thu thập từ các bệnh nhân có chỉ định nhổ răng trong điều trị chỉnh hình, được quét ba chiều bằng cone-beam computed tomography (CBCT). Từ dữ liệu này, mười mô hình răng nhựa trong suốt in 3D được thiết kế và chế tạo, với xoang mở tủy được chuẩn bị sẵn bằng phần mềm chuyên dụng. Các mẫu răng nhựa được đặt trong hộp nhựa trong chứa dung dịch chlorhexidine và cố định trên bàn chứa mẫu của kính hiển vi quang học. Dụng cụ WaveOne Gold Primary (Dentsply Sirona, Maillefer, Switzerland) được gắn vào tay khoan nội nha của máy Ai-Motor và cố định trên một hệ thống kính hiển vi riêng biệt, sau đó được đưa vào ống tủy để xác định vị trí lỗ chóp ở hai chế độ vận hành: chế độ tự động dừng và chế độ tự động quay ngược khi dụng cụ đạt đến chóp. Sự thay đổi vị trí của núm xoay vi cấp của kính hiển vi giữa các lần đo được ghi nhận và dùng làm cơ sở so sánh. Phương pháp phân tích Bland-Altman được áp dụng để đánh giá mức độ thống nhất giữa hai chế độ định vị chóp.

Kết quả: Kết quả phân tích cho thấy hai chế độ vận hành của máy có mức độ phù hợp cao, không xuất hiện sai số cố định hay sai số tỷ lệ, đồng thời không ghi nhận ảnh hưởng đáng kể của dung dịch chlorhexidine đến kết quả đo.

Kết luận: Máy định vị lỗ chóp điện tử tích hợp trong máy nội nha Ai-Motor cho khả năng xác định vị trí lỗ chóp với độ chính xác cao và độ tin cậy tốt trên răng nhựa trong suốt in 3D trong môi trường dung dịch chlorhexidine.

Từ khóa: máy định vị lỗ chóp điện tử, răng nhựa trong suốt, chiều dài ống tủy, in 3D

1. GIỚI THIỆU

Xác định chính xác chiều dài ống tủy là một bước then chốt trong điều trị nội nha, có vai trò định hướng toàn bộ quá trình sửa soạn, làm sạch và trám bít hệ thống ống tủy. Việc thiết lập chiều dài ống tủy phù hợp giúp giới hạn các thao tác can thiệp trong phạm vi mô răng cần điều trị, đồng thời giảm thiểu nguy cơ tổn thương mô quanh chóp và các biến chứng sau điều trị. Do đó, độ chính xác và độ tin cậy của các phương pháp xác định chiều dài ống tủy luôn là mối quan tâm lớn trong thực hành và nghiên cứu nội nha (1, 2).

Phim X quang quanh chóp từ lâu đã được sử dụng phổ biến để hỗ trợ xác định chiều dài ống tủy. Tuy nhiên, do bản chất là hình ảnh hai chiều của một cấu trúc giải phẫu ba chiều phức tạp, X quang quanh chóp có những hạn chế nhất định, đặc biệt trong các trường hợp lỗ chóp không trùng với đỉnh chóp giải phẫu hoặc lệch theo hướng ngoài-trong hay má-lưỡi. Trong những tình huống này, việc xác định chính xác vị trí đầu dụng cụ trên phim có thể gặp nhiều khó khăn, làm giảm độ tin cậy của phương pháp.

*Tác giả liên hệ

Email: lhlanh@ump.edu.vn Điện thoại: (+84) 985301170 DOI: 10.52163/yhc.v67i5.5176

Sự ra đời của máy định vị lỗ chóp điện tử đã mở ra một hướng tiếp cận khác trong xác định chiều dài ống tủy, dựa trên các đặc tính điện học của hệ thống ống tủy và môi trường xung quanh. Nhiều nghiên cứu đã ghi nhận độ chính xác cao của thiết bị này trong các điều kiện lâm sàng và in vitro khác nhau (1, 3, 4). Gần đây, việc tích hợp máy định vị lỗ chóp điện tử trực tiếp vào máy nội nha đã góp phần cải thiện tính thuận tiện và khả năng lặp lại của quy trình xác định chiều dài ống tủy, đặc biệt trong các chế độ vận hành động của dụng cụ.

Song song với sự phát triển của thiết bị, vấn đề lựa chọn mô hình nghiên cứu phù hợp cho các thử nghiệm in vitro cũng ngày càng được quan tâm. Việc sử dụng răng người đã nhỏ, dù có giá trị tham chiếu cao, đang đối mặt với nhiều hạn chế liên quan đến đạo đức nghiên cứu, tính không đồng nhất về hình thái giải phẫu và sự khan hiếm nguồn mẫu. Trong bối cảnh đó, các mô hình răng nhựa trong suốt in 3D được phát triển như một giải pháp thay thế tiềm năng, cho phép tái tạo hình thái giải phẫu một cách có kiểm soát, đồng thời tạo điều kiện thuận lợi cho việc quan sát trực tiếp và phân tích chuyển động của dụng cụ trong ống tủy.

Bên cạnh mô hình răng, môi trường dung dịch bao quanh chân răng cũng là yếu tố có thể ảnh hưởng đến hoạt động của máy định vị lỗ chóp điện tử. Trong khi dung dịch nước muối sinh lý thường được sử dụng như môi trường dẫn điện chuẩn trong các nghiên cứu, chlorhexidine lại là dung dịch bơm rửa được ứng dụng rộng rãi trong lâm sàng nhờ đặc tính kháng khuẩn kéo dài. Tuy nhiên, các dữ liệu về ảnh hưởng của dung dịch chlorhexidine đến độ chính xác của máy định vị lỗ chóp điện tử, đặc biệt khi thiết bị được tích hợp trong máy nội nha và hoạt động ở chế độ động, vẫn còn hạn chế.

Xuất phát từ những cơ sở trên, nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá độ chính xác và độ tin cậy của máy định vị lỗ chóp điện tử tích hợp trong máy nội nha Ai-Motor khi xác định chiều dài ống tủy trên mô hình răng nhựa trong suốt in 3D, trong môi trường dung dịch chlorhexidine, ở hai chế độ vận hành định vị lỗ chóp khác nhau.

2. PHƯƠNG PHÁP

Dữ liệu hình ảnh ba chiều của ba răng cối nhỏ người trưởng thành được thu nhận bằng phương pháp cone-beam computed tomography (CBCT). Các răng này được lấy từ những bệnh nhân có chỉ định nhổ răng phục vụ điều trị chỉnh hình răng mặt. Từ dữ liệu CBCT ban đầu, hình thái ba chiều của từng răng được xử lý và chỉnh sửa bằng phần mềm chuyên dụng nhằm tạo sẵn xoang mở tủy, bảo đảm phù hợp cho việc xác định chiều dài ống tủy sau khi mô hình được chế tạo bằng công nghệ in 3D.

Trên cơ sở mỗi răng người đã nhỏ, mười mô hình răng nhựa trong suốt in 3D được thiết kế và sản xuất, tạo thành ba nhóm mẫu tương ứng với ba răng cối nhỏ ban đầu, với tổng số 30 răng nhựa trong suốt in 3D được đưa vào nghiên cứu. Các mô hình răng nhựa được chế tạo theo quy trình tiêu chuẩn của công nghệ in 3D. Sau khi hoàn tất quá trình in và xử lý hậu in, các mẫu được ngâm trong glycerin ở bước cuối cùng nhằm duy trì và tối ưu hóa độ trong suốt của vật liệu, tạo điều kiện thuận lợi cho việc quan sát trực tiếp vị trí và chuyển động của dụng cụ trong ống tủy.

Một hộp nhựa trong suốt thường dùng để bảo quản thực phẩm được sử dụng làm bồn chứa dung dịch Chlorhexidine, đồng thời là giá đỡ cho các mô hình răng nhựa trong suốt in 3D. Các mẫu răng được cố định bằng một nắp giữ được thiết kế phù hợp, bảo đảm các mô hình không bị dịch chuyển trong suốt quá trình thao tác và đo đạc. Tay khoan

của máy nội nha tích hợp máy định vị lỗ chóp điện tử Ai-Motor được gắn cố định trên bàn chứa mẫu của kính hiển vi quang học. Cách bố trí này cho phép tạo ra các vị dịch chuyển chính xác của tay khoan thông qua núm xoay vi cấp của kính hiển vi trong quá trình đưa dụng cụ vào ống tủy.

Dụng cụ WaveOne Gold Primary (Dentsply Sirona, Maillefer, Switzerland) được gắn vào tay khoan và đưa dần vào ống tủy của mô hình răng nhựa cho đến khi máy định vị lỗ chóp điện tử phát tín hiệu âm thanh báo hiệu dụng cụ đã đạt đến vị trí lỗ chóp. Quy trình xác định vị trí lỗ chóp được thực hiện lặp lại theo hai chế độ vận hành của máy nội nha: chế độ tự động dừng và chế độ tự động quay ngược khi dụng cụ đạt đến lỗ chóp. Sự thay đổi vị trí của núm xoay vi cấp giữa các lần đo, cũng như khoảng cách từ đầu dụng cụ đến lỗ chóp trên mô hình răng nhựa, được ghi nhận một cách hệ thống.

Dữ liệu thu thập được xử lý và phân tích bằng phần mềm thống kê MedCalc phiên bản 23.4.5 (MedCalc Software, Ostend, Belgium). Phân tích Bland-Altman được sử dụng để đánh giá mức độ thống nhất giữa hai chế độ xác định vị trí lỗ chóp. Các phép phân tích thống kê được thực hiện với mức ý nghĩa được thiết lập là 0,05.

3. KẾT QUẢ

Kết quả của phương pháp Bland-Altman được trình bày trong bảng 1, thể hiện các tham số của biểu đồ và các giá trị *P* của phân tích hồi quy và độ dốc của đường biểu diễn.

Bảng 1. Mức thống nhất giữa hai chế độ xác định lỗ chóp của máy nội nha Ai-Motor trong dung dịch chlorhexidine thử nghiệm trên 30 răng nhựa trong suốt.

Tham số	Chế độ tự quay ngược so với tự dừng khi đến chóp	Dung dịch	Số lượng răng nhựa trong suốt
Trung bình khác biệt	-0,2667	Chlorhexidine	30
95% khoảng tin cậy của trung bình	-3,4350 to 2,9017		
Hạn dưới của mức thống nhất	-16,8973		
95% KTC của LLoA	-22,3732 to -11,4214		
Hạn trên của mức thống nhất	16,3640		
95% KTC của ULoA	10,8881 to 21,8398		
Mức ý nghĩa (tương quan)	0,1834*		
Mức ý nghĩa (t bất cặp)	0,8645*		
Hệ số lặp lại	16,3594		
95% KTC của hệ số lặp lại	13,0730 to 21,8672		
Sai số tỷ lệ	Không		
Sai số cố định	Không		

**P* > 0,05: Khác biệt không có ý nghĩa thống kê

Như vậy, không có sai số cố định lẫn sai số tỷ lệ trong xác định mức thống nhất giữa hai chế độ định vị lỗ chóp của cùng một loại động cơ nội nha trong cùng môi trường dung dịch chlorhexidine.

Bảng sau trình bày kết quả của việc so sánh giữa các nhóm răng tạo ra từ các mẫu khác nhau so sánh hai chế độ xác định lỗ chóp ống tủy.

Bảng 2. Độ kiên định của từng chế độ đo của máy trong dung dịch Chlorhexidine.

Chế độ	Levene P	Tổng bình phương	Độ tự do	Tỷ suất F	Mức ý nghĩa P
Quay ngược khi đến chóp	0,931	1845,8667	29	1,310	0,286
Dừng khi đến chóp	0,523	2526,9667	29	2,524	0,099*

Levene P: mức ý nghĩa của kiểm định phương sai

* $P > 0,05$: Khác biệt không có ý nghĩa thống kê (ANOVA một chiều)

Như vậy, không có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa hai chế độ định vị lỗ chóp của máy Ai-Motor trong môi trường dung dịch chlorhexidine.

4. BÀN LUẬN

Kết quả của nghiên cứu cho thấy hai chế độ vận hành của máy nội nha Ai-Motor tích hợp máy định vị lỗ chóp điện tử – chế độ tự động dừng và chế độ tự động quay ngược khi dụng cụ đạt đến lỗ chóp – có mức độ thống nhất cao khi được sử dụng trong môi trường dung dịch chlorhexidine. Phân tích Bland–Altman không ghi nhận sự hiện diện của sai số cố định hoặc sai số tỷ lệ, cho thấy độ tin cậy tốt của hệ thống định vị trong cả hai chế độ vận hành.

Một trong những điểm đáng chú ý của nghiên cứu này là việc sử dụng dung dịch chlorhexidine làm môi trường thử nghiệm. Khác với nước muối sinh lý, chlorhexidine có đặc tính hóa học và điện học khác biệt, đồng thời thường được sử dụng trong thực hành nội nha nhờ khả năng kháng khuẩn kéo dài (5). Kết quả thu được cho thấy dung dịch chlorhexidine không suy giảm độ chính xác của máy định vị lỗ chóp điện tử trong điều kiện thí nghiệm, gợi ý rằng thiết bị có thể hoạt động ổn định ngay cả trong các môi trường dung dịch bơm rửa không phải là nước muối sinh lý.

Việc áp dụng mô hình răng nhựa trong suốt in 3D cho phép nghiên cứu kiểm soát tốt các yếu tố hình thái giải phẫu của hệ thống ống tủy, đồng thời tạo điều kiện quan sát trực tiếp chuyển động của dụng cụ trong quá trình xác định chiều dài ống tủy. So với răng người đã nhổ, mô hình này giúp giảm thiểu sự biến thiên không kiểm soát được giữa các mẫu, từ đó nâng cao tính lặp lại của phép đo (2, 4). Ngoài ra, tính trong suốt của vật liệu còn cho phép ghi nhận trực quan mối tương quan giữa tín hiệu của máy định vị lỗ chóp và vị trí thực tế của dụng cụ trong ống tủy.

Tuy nhiên, cần lưu ý rằng răng nhựa in 3D vẫn tồn tại những hạn chế nhất định, đặc biệt liên quan đến đặc tính cơ học của vật liệu (6). Độ cứng của nhựa in hiện nay thấp hơn đáng kể so với ngà răng tự nhiên, điều này có thể ảnh

hưởng đến hành vi của dụng cụ trong các thao tác xâm lấn sâu như sửa soạn ống tủy. Do đó, kết quả của nghiên cứu này cần được diễn giải trong bối cảnh của một mô hình in vitro và không thể thay thế hoàn toàn cho các điều kiện lâm sàng thực tế.

Một hạn chế khác của nghiên cứu là việc chỉ khảo sát một loại dung dịch bơm rửa và một hệ thống máy nội nha tích hợp định vị lỗ chóp điện tử. Các nghiên cứu tiếp theo có thể mở rộng so sánh giữa nhiều loại dung dịch khác nhau hoặc đánh giá ảnh hưởng của các chế độ vận hành động khác đến độ chính xác của máy định vị lỗ chóp.

Mặc dù còn tồn tại những giới hạn nhất định, kết quả của nghiên cứu này cho thấy máy định vị lỗ chóp điện tử tích hợp trong máy nội nha Ai-Motor có khả năng xác định chiều dài ống tủy với độ chính xác và độ tin cậy cao trên mô hình răng nhựa trong suốt in 3D trong môi trường dung dịch chlorhexidine. Những phát hiện này góp phần cung cấp thêm bằng chứng thực nghiệm cho việc ứng dụng các thiết bị trong các điều kiện bơm rửa khác nhau, đồng thời mở ra hướng nghiên cứu tiếp theo về tối ưu hóa mô hình *in vitro* trong đào tạo và nghiên cứu nội nha

5. TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Pham K. Endodontic length measurements using 3D Endo, cone-beam computed tomography, and electronic apex locator. BMC Oral Health. 2021;21. DOI: 10.1186/s12903-021-01625-w
- [2] Pham V-K, Pham T-L-K. Root canal length estimated by cone-beam computed tomography at different slice thicknesses, dedicated endodontic software, or measured by an electronic apex locator. Scientific Reports. 2022;12(1):6531. DOI: 10.1038/s41598-022-10534-z
- [3] Nguyen PN, Pham KV. Endodontic Length Measurements Using Different Modalities: An In Vitro Study. Journal of International Society of Preventive and Community Dentistry. 2020;10(6). DOI: 10.4103/jispcd.JISPCD_357_20
- [4] Van Pham K. Endodontic length measurements using cone beam computed tomography with dedicated or conventional software at different voxel sizes. Scientific Reports. 2021;11(1):9432. DOI: 10.1038/s41598-021-88980-4
- [5] Bernardi A, Teixeira CS. The properties of chlorhexidine and undesired effects of its use in endodontics. Quintessence international (Berlin, Germany : 1985). 2015;46(7):575-82. DOI: 10.3290/j.qi.a33934
- [6] Reymus M, Fotiadou C, Kessler A, Heck K, Hickel R, Diegritz C. 3D printed replicas for endodontic education. International Endodontic Journal. 2019;52(1):123-30. DOI: 10.1111/iej.12964