Vietnam Journal of Community Medicine, Vol. 67, No. 9, 148-151

DYNAMIC CYCLIC FATIGUE RESISTANCE OF ROTARY NICKEL-TITANIUM INSTRUMENTS

Nguyen My Dao, La Phuong Minh Duyet, Le Hoang Lan Anh, Tran Thuan Loc*

Faculty of Dentistry, University of Medicine and Pharmacy at Ho Chi Minh city - 217 Hong Bang, Cho Lon ward, Ho Chi Minh city, Vietnam

Received: 12/06/2026
Revised: 02/07/2026; Accepted: 18/09/2026

ABSTRACT

Objective: To compare the dynamic cyclic fatigue resistance of nickel-titanium systems under two different axial kinematic motions in J-shaped canals at body temperature.

Methods: TG6 T1 and MTF T1 were operated using an E-Connect S motor set to continuous rotation (300 rpm). The artificial canal was submerged in an oil bath at body temperature. The experiment consisted of two axial kinematics: continuous up-and-down motion and progressive pecking motion on both TG6 T1 and MTF T1. The number of cycles to failure (NCF) was calculated and recorded. Data were analyzed using the independent t-test ($p < 0.05$).

Results: In both the continuous up-and-down motion and progressive pecking motion, TG6 T1 exhibited significantly higher NCF than MTF T1 ($p < 0.001$). When comparing the two axial motions, there was no statistically significant difference in NCF for both TG6 T1 and MTF T1.

Conclusions: Instruments manufactured with Gold heat-treated NiTi alloy demonstrated significantly better fatigue resistance compared to those made from conventional NiTi alloy. Alterations in the dynamic axial kinematics did not show a significant difference in the fatigue lifespan of the tested replica-like systems.

Keywords: Cyclic fatigue resistance, nickel-titanium rotary files.

*Corresponding author
Email: tranthuanloc@ump.edu.vn **Phone:** (+84) 933298988 **DOI:** 10.52163/yhc.v67i9.6636

TÍNH KHÁNG MỎI CHU KỲ ĐỘNG CỦA HỆ THỐNG TRÂM NICKEL-TITANIUM XOAY MÁY

Nguyễn Mỹ Dao, La Phương Minh Duyệt, Lê Hoàng Lan Anh, Trần Thuận Lộc*

Khoa Răng Hàm Mặt, Đại học Y Dược Tp. Hồ Chí Minh - 217 Hồng Bàng, P. Chợ Lớn, Tp. Hồ Chí Minh, Việt Nam

Ngày nhận: 12/06/2026
Ngày sửa: 02/07/2026; Ngày đăng: 18/09/2026

TÓM TẮT

Mục tiêu: So sánh tính kháng mỏi chu kỳ động của các trâm nickel-titanium trong ống tủy nhân tạo hình chữ J, ở nhiệt độ cơ thể.

Phương pháp: Trâm TG6 T1 và MTF T1 được vận hành bằng máy nội nha E-Connect S ở chế độ quay liên tục (300 vòng/phút). Ống tủy nhân tạo được ngâm trong bể dầu ở nhiệt độ cơ thể. Thử nghiệm gồm hai kiểu vận động dọc trục: tới lui liên tục và bước tiến trên cả hai loại trâm. Số vòng quay được đến khi gãy (NCF) được tính toán và ghi nhận. Dữ liệu được phân tích bằng kiểm định t độc lập ($p < 0,05$).

Kết quả: Ở cả vận động tới lui liên tục và vận động bước tiến, trâm TG6 T1 đều thể hiện tính kháng mỏi cao hơn có ý nghĩa thống kê so với trâm MTF T1 ($p < 0,001$). Khi so sánh hai kiểu vận động dọc trục, NCF của TG6 T1 và MTF T1 đều không có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê.

Kết luận: Trâm được chế tạo từ hợp kim NiTi xử lý nhiệt Gold thể hiện khả năng kháng mỏi tốt hơn đáng kể so với trâm được chế tạo từ hợp kim NiTi thông thường. Việc thay đổi kiểu di chuyển dọc trục không tạo ra sự khác biệt có ý nghĩa về độ bền mỏi ở cả hai hệ thống trâm.

Từ khóa: Tính kháng mỏi chu kỳ, trâm xoay nickel-titanium.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sửa soạn hệ thống ống tủy là một bước quan trọng mang tính quyết định đến sự thành công của điều trị nội nha. Mặc dù sự ra đời của hợp kim nickel-titanium (NiTi) đã tạo ra một cuộc cách mạng trong việc tạo dạng các ống tủy cong nhưng biến chứng gãy dụng cụ do sự mỏi chu kỳ vẫn là một thách thức lâm sàng lớn, ảnh hưởng trực tiếp đến tiên lượng điều trị. Gãy trâm do mỏi chu kỳ có nguyên nhân chủ yếu do các chu kỳ căng - nén lặp đi lặp lại khi dụng cụ xoay trong các ống tủy chân răng cong, trâm có thể gãy đột ngột và không có dấu hiệu báo trước trong quá trình sử dụng. Để hạn chế nguy cơ này, các nhà sản xuất đã liên tục cải tiến thiết kế và công nghệ luyện kim nhằm tăng tính kháng mỏi chu kỳ của dụng cụ. Thị trường nội nha gần đây ghi nhận sự xuất hiện của các hệ thống trâm "mô phỏng thiết kế" (replica-like files), được xem như những lựa chọn thay thế cho các thương hiệu chính hãng với ưu điểm là giá thành thấp hơn, tuy nhiên độ an toàn cơ học của chúng vẫn còn là một dấu hỏi lớn. Các thử nghiệm mỏi chu kỳ đối với trâm quay NiTi giúp xác định tính kháng gãy do mỏi của các trâm này bằng cách đánh giá độ bền của chúng dưới các điều kiện ứng suất lặp lại. Phần lớn các nghiên cứu trước đây vẫn tồn tại nhiều hạn chế khi thực hiện trong điều kiện tĩnh, ở nhiệt độ phòng và sử dụng ống tủy nhân tạo song song. Cụ thể, việc gia tăng nhiệt độ từ nhiệt độ phòng lên nhiệt độ cơ thể đã được chứng minh làm giảm đáng kể tính kháng mỏi chu kỳ của dụng cụ [1]. Bên cạnh đó, các thử nghiệm tĩnh hoàn toàn thất bại trong việc mô phỏng động học thực tế trên lâm sàng. Chuyển động mổ không chỉ cho phép phân bố ứng suất mà còn thay đổi điểm uốn tối đa liên tục dọc theo trục của trâm trong suốt quá trình thử nghiệm, phản ánh tốt hơn cách trâm nội nha được sử dụng trong lâm sàng [2]. Đặc biệt, việc sử dụng các ống tủy nhân tạo song song có đường kính cố định (thường từ 1,4-2 mm) khiến trâm xoay lỏng lẻo, tạo ra các quỹ đạo ứng suất không ổn định và làm sai lệch kết quả. Việc sử dụng các ống tủy nhân tạo phù hợp với kích thước và độ thuôn của từng loại trâm tạo ra quỹ đạo quay chính xác và đáng tin cậy hơn [3].

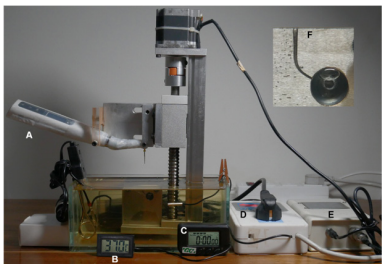
Tại Việt Nam, các nghiên cứu gần đây của Trần Thuận Lộc và cộng sự (2023) [4], Phạm Văn Khoa (2023) [5] đã áp dụng mô hình thử nghiệm tính kháng mỏi chu kỳ động có kiểm soát nhiệt độ cơ thể và ghi nhận sự khác biệt về độ bền của dụng cụ khi thay đổi quỹ đạo di chuyển từ tới lui liên tục sang bước tiến. Trên cơ sở đó, chúng tôi thực hiện nghiên cứu nhằm so sánh tính kháng mỏi chu kỳ động của hai hệ thống trâm quay NiTi đại diện cho hai loại dây NiTi khác nhau: trâm MTF T1 (Perfect Endo) làm từ hợp kim NiTi thông thường, và trâm TG6 T1 (Perfect Endo) được làm từ hợp kim NiTi xử lý nhiệt Gold.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu in vitro, người đánh giá độc lập được tiến hành từ tháng 4/2025 đến tháng 4/2026 tại Đại học Y Dược thành phố Hồ Chí Minh trên tổng số 40 trâm quay NiTi nội nha mới, chưa qua sử dụng, có cùng chiều dài 25 mm và kích thước 20/.07, bao gồm: trâm MTF T1 (hợp kim NiTi thông thường) và trâm TG6 T1 (hợp kim NiTi xử lý nhiệt Gold). Tổng cộng 40 trâm được phân bổ vào các thử nghiệm: 20 trâm (10 TG6 T1 và 10 MTF T1) cho thử nghiệm động với kiểu vận động tới lui liên tục, và 20 trâm (10 TG6 T1 và 10 MTF T1) cho thử nghiệm động với kiểu vận động bước tiến.

Hệ thống thử nghiệm (xem hình 1) bao gồm một ống tủy nhân tạo hình chữ J bằng thép không gỉ được mô tả bởi La Rosa G.R.M và cộng sự (2021) phù hợp với kích thước của trâm, bán kính cong 5 mm, góc cong 60 độ, tâm đoạn cong cách chóp 5 mm, gắn cố định trên một bàn vận động kim loại [6]. Phần di động của hệ thống giữ tay khoan nội nha E-Connect S (Eighteeth, Changzhou Sifary Medical Technology Co., Ltd., Changzhou, Jiangsu, China). Bàn vận động được vận hành tự động qua hai chế độ: MODE1 thực hiện chuyển động tới lui liên tục với biên độ cố định 5 mm, và MODE2 thực hiện chuyển động bước tiến với bước tiến tăng 1 mm sau mỗi chu kỳ. Nhằm mô phỏng điều kiện lâm sàng và giảm thiểu ma sát, toàn bộ mô hình ống tủy được ngâm ngập trong bể thủy tinh chứa dầu bôi trơn. Nhiệt độ của bể dầu được kiểm soát ổn định ở mức 37°C ± 0,5°C thông qua hệ thống cuộn điện trở gia nhiệt, hộp điều khiển và nhiệt kế điện tử độc lập.

*Tác giả liên hệ
Email: tranthuanloc@ump.edu.vn **Điện thoại:** (+84) 933298988 **DOI:** 10.52163/yhc.v67i9.6636



A: Máy nội nha E-Connect S; B: Nhiệt kế điện tử với đầu dò được ngâm trong bể dầu; C: Đồng hồ điện tử; D: Hộp điều khiển nhiệt độ; E: Hộp điều khiển bàn vận động; F: Ống tủy thép được thiết kế (theo mô tả của La Rosa G.R.M và cộng sự [6]).

Hình 1. Hệ thống thử nghiệm tính kháng mỏi chu kỳ động

Nhằm loại bỏ các sai lệch do thao tác thủ công từ con người, hệ thống tay khoan được điều khiển tự động theo quỹ đạo cố định, đồng thời trục của trâm được điều chỉnh sao cho trùng với trục của ống tủy, đầu trâm được đưa đến vị trí điểm bắt đầu của đoạn cong. Ở cả kiểu vận động dọc trục, hai loại trâm TG6 T1 và MTF T1 đều được vận hành với motor nội nha E Connect-S ở chế độ ATC (adaptive torque control), tốc độ quay 300 vòng/phút và lực vặn xoắn giới hạn ở 1,5 N/cm. Toàn bộ quá trình từ khi bắt đầu cho đến khi dụng cụ gãy được ghi hình liên tục bằng máy ảnh kỹ thuật số Panasonic Lumix DMC-GX85. Thời gian quay đến khi gãy (TtF) được đo bằng đồng hồ bấm giờ điện tử với độ chính xác 1/100 giây. Biến số chính là số vòng quay đến khi gãy (NCF) được tính toán bằng cách nhân thời gian với tốc độ quay tương ứng của từng loại trâm.

Dữ liệu thu thập được quản lý bằng phần mềm Microsoft Excel và phân tích thống kê bằng Stata 14.2. Dùng kiểm định t cho hai mẫu độc lập để so sánh sự khác biệt giữa hai hệ thống trâm (TG6 T1 và MTF T1) trong vận động tới lui liên tục, trong vận động bước tiến, hoặc giữa hai kiểu vận động trên cùng một hệ thống trâm. Mức ý nghĩa thống kê được lựa chọn cho toàn bộ nghiên cứu là $p < 0,05$.

Nghiên cứu được thực hiện hoàn toàn trên đối tượng là trâm quay NiTi, không thực hiện bất kỳ can thiệp nào trên con người hay động vật nên không ảnh hưởng đến vấn đề y đức và thuộc tiêu chuẩn miễn trừ xét duyệt.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Số vòng quay đến khi gãy (NCF) đại diện cho khả năng kháng mỏi chu kỳ của dụng cụ. Thử nghiệm được tiến hành trên 2 nhóm trâm (TG6 T1 và MTF T1) ở vận động tới lui liên tục và vận động bước tiến, kết quả được trình bày tại bảng 1. Kiểm định Shapiro-Wilk cho thấy số liệu của các nhóm trâm đều có phân phối chuẩn.

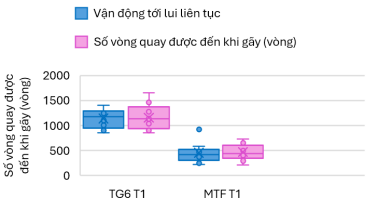
Bảng 1. Kết quả thử nghiệm số vòng quay được đến khi gãy ở vận động tới lui liên tục và vận động bước tiến

Nhóm trâm	Thử nghiệm	n	Trung bình	Độ lệch chuẩn	Giá trị nhỏ nhất	Giá trị lớn nhất
TG6 T1	Tới lui liên tục	10	1164,5	195,58	850	1405
	Bước tiến	10	1193,5	272,31	855	1650
MTF T1	Tới lui liên tục	10	437,5	204,05	220	925
	Bước tiến	10	490,5	168,60	215	735

Ở vận động tới lui liên tục, kiểm định t cho thấy sự khác biệt có ý nghĩa thống kê về NCF giữa hai hệ thống trâm ($p < 0,001$). Khả năng kháng mỏi của trâm TG6 T1 cao hơn đáng kể so với trâm MTF T1.

Ở vận động bước tiến, kiểm định t cho thấy sự khác biệt có ý nghĩa thống kê về NCF giữa hai hệ thống trâm ($p < 0,001$). Tính kháng mỏi chu kỳ của trâm TG6 T1 cao hơn đáng kể so với trâm MTF T1.

So sánh giữa hai kiểu vận động không ghi nhận sự khác biệt có ý nghĩa thống kê về NCF đối với trâm TG6 T1 ($p = 0,788$) và trâm MTF T1 ($p = 0,535$) ở thử nghiệm động tới lui liên tục và thử nghiệm động bước tiến.



Hình 2. Số vòng quay được đến khi gãy của các nhóm trâm ở hai loại thử nghiệm tính kháng mỏi chu kỳ động

4. BÀN LUẬN

Trong thử nghiệm, nhóm trâm TG6 T1 và MTF T1 được sử dụng với chế độ ATC với tốc độ 300 vòng/phút, giá trị mô-men xoắn (torque) thiết lập là 1,5 N/cm theo khuyến cáo của nhà sản xuất. Trâm sẽ vận động theo chuyển động quay liên tục cho đến khi giá trị mô-men xoắn đo được vượt quá mức 1,5 N/cm; khi đó, trâm sẽ được chuyển sang chuyển động quay qua lại theo các góc có sẵn trong chương trình cho đến khi mô-men xoắn đo được thấp hơn mức 1,5 N/cm, tại thời điểm đó chuyển động sẽ trở lại dạng quay liên tục. Vì giá trị mô-men xoắn thực tế trong suốt quá trình thử nghiệm không đạt ngưỡng 1,5 N/cm, motor không kích hoạt chuyển động quay qua lại mà vẫn tiếp tục duy trì vận động quay liên tục. Điều này giúp loại trừ hoàn toàn biến số đứt gãy do ứng suất xoắn, khẳng định dụng cụ gãy thuần túy do mỏi chu kỳ.

Sự khác biệt về tính kháng mỏi chu kỳ của hệ thống trâm TG6 T1 (mô phỏng theo ProTaper Gold) so với MTF T1 (mô phỏng theo ProTaper Universal) dưới cả hai kiểu vận động dọc trục đã minh chứng cho vai trò của công nghệ xử lý nhiệt đối với độ bền của hợp kim NiTi. Kết quả của nghiên cứu này hoàn toàn đồng thuận với các y văn trên thế giới: Ruiz-Sánchez C và cộng sự (2020) [7] cũng như Hiran-Us S và cộng sự (2023) [8] đều chỉ ra rằng hệ thống trâm xử lý nhiệt Gold thể hiện tính kháng mỏi chu kỳ cao hơn so với các hệ thống làm từ NiTi thông thường. Tại mức nhiệt độ 37°C ± 0,5°C của môi trường ống tủy nhân tạo, trâm MTF T1 làm từ NiTi thông thường chủ yếu tồn tại ở pha austenite, trong khi mạng tinh thể của trâm TG6 T1 không tồn tại ở pha austenite mà duy trì chủ yếu ở pha martensite ổn định cùng pha R. Dưới tác động của ứng suất căng - nén lặp lại, mạng tinh thể austenite không thể biến dạng dẻo để hấp thụ năng lượng, sự tích tụ ứng suất cơ học này khiến các vết nứt dễ dàng khởi phát tại các điểm tập trung ứng suất trên bề mặt kim loại. Ở cùng một cường độ ứng suất, tốc độ lan truyền vết nứt mỏi của cấu trúc austenite nhanh hơn nhiều so với cấu trúc martensite [9], điều này giải thích cho việc hợp kim NiTi thông thường có tính kháng mỏi chu kỳ thấp hơn đáng kể so với hợp kim NiTi xử lý nhiệt Gold.

Việc thay đổi quỹ đạo di chuyển từ tới lui liên tục sang vận động bước tiến không mang lại sự cải thiện về độ bền mỏi cho các hệ thống trâm mô phỏng thiết kế. Khác với kết quả nghiên cứu của chúng tôi, nghiên cứu của Phạm Văn Khoa (2023) [5] trên các trâm chính hãng chứng minh rằng việc áp dụng quỹ đạo di chuyển bước tiến với biên độ thay đổi giúp gia tăng đáng kể tính kháng mỏi chu kỳ của dụng cụ so với động tác tới lui liên tục với biên độ cố định. Trong nghiên cứu của chúng tôi, độ lệch chuẩn của giá trị NCF trong các nhóm thử nghiệm, đặc biệt là nhóm MTF T1 khá lớn. Hiện tượng phân tán dữ liệu này gợi ý rằng chất lượng sản xuất giữa các trâm trong cùng một lô hàng của các hệ thống trâm mô phỏng thiết kế có thể không đồng đều. Nghiên cứu của Fochesato N (2024) [10] quan sát trâm TG6 dưới kính hiển vi điện tử quét (SEM) cho thấy trâm này bộc lộ rõ các khiếm khuyết bề mặt, với cấu trúc rất không đồng nhất và bị ô nhiễm bởi các tạp chất. Phân tích phổ tán sắc năng lượng tia X (EDS) phát hiện nhiều thành phần ngoại lai bám trên bề mặt trâm TG6. Tại phần thân xoắn trung tâm, có sự xuất

hiện với tỷ lệ đáng kể (< 15%) của magie, barium và silic. Sự hiện diện của các tạp chất này phá vỡ tính liên tục và đồng nhất của cấu trúc tinh thể, tạo ra các điểm có sức bền kém nhất ngay trong lõi kim loại. Các khiếm khuyết này có thể đóng vai trò như các điểm tập trung ứng suất, vốn có thể trở thành nguồn gốc của một vết nứt mỏi. Do đó, khi trâm hoạt động, dù quỹ đạo di chuyển là tới lui liên tục hay bước tiến, các vết nứt mỏi vẫn đều ưu tiên khởi phát ngay tại các điểm này. Sự gãy do mỏi chu kỳ của trâm mô phỏng thiết kế trong nghiên cứu này dường như bị chi phối bởi các khiếm khuyết bề mặt của trâm trong quá trình sản xuất hơn là sự khác biệt giữa các quỹ đạo di chuyển dọc trục. Để củng cố và làm rõ hơn nữa kết luận về hành vi đứt gãy của các trâm mô phỏng thiết kế này, những nghiên cứu trong tương lai cần kết hợp với các phân tích hình thái vi thể bề mặt dưới kính hiển vi điện tử quét (SEM) để đánh giá sự khiếm khuyết bề mặt của từng trâm trước khi thử nghiệm.

5. KẾT LUẬN

Trong phạm vi nghiên cứu đánh giá tính kháng mỏi chu kỳ động của hai hệ thống trâm quay NiTi trong ống tủy thép cong hình chữ J ở nhiệt độ cơ thể, kết quả cho thấy ở cả hai kiểu vận động dọc trục, trâm được chế tạo từ hợp kim NiTi xử lý nhiệt Gold thể hiện khả năng kháng mỏi cao hơn đáng kể so với trâm được chế tạo từ hợp kim NiTi thông thường. Việc thay đổi kiểu di chuyển dọc trục không tạo ra sự khác biệt có ý nghĩa về độ bền mỏi ở cả hai hệ thống trâm mô phỏng thiết kế được thử nghiệm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Savitha S, Sharma S, Kumar V, Chawla A, Vanamail P, Logani A. Effect of body temperature on the cyclic fatigue resistance of the nickel-titanium endodontic instruments: a systematic review and meta-analysis of in vitro studies. J Conserv Dent, 2022, 25 (4): 338-46. doi: 10.4103/jcd.jcd_55_22

[2] Hülsmann M, Donnermeyer D, Schäfer E. A critical appraisal of studies on cyclic fatigue resistance of engine-driven endodontic instruments. Int Endod J, 2019, 52 (10): 1427-45. doi: 10.1111/iej.13182

[3] Schäfer E, Bürklein S, Donnermeyer D. A critical analysis of research methods and experimental models to study the physical properties of NiTi instruments and their fracture characteristics. Int Endod J, 2022, 55 (Suppl 1): 72-94. doi: 10.1111/iej.13673

[4] Trần Thuận Lộc, Lê Hoàng Lan Anh, Nguyễn Thu Thủy, Phạm Văn Khoa. Tính kháng mỏi chu kỳ tĩnh và động của hệ thống trâm quay Nickel - Titanium. Tạp chí Y học Việt Nam, 2022, 520 (1B): 375-378. doi: 10.51298/vmj.v520i1B.3925

[5] Pham Van Khoa. Dynamic cyclic fatigue resistance of NiTi instruments in a double-curved stainless steel canal with variable distances of displacement. Frontiers in Materials, 2023: 1-6. doi: 10.3389/fmats.2023.1181356

[6] La Rosa G.R.M, Palermo C, Ferlito S, Isola G, Indelicato F, Pedullà E. Influence of surrounding temperature and angle of file access on cyclic fatigue resistance of two single file nickel-titanium instruments. Aust Endod J, 2021, 47 (2): 260-264. doi: 10.1111/aej.12473

[7] Ruiz-Sánchez C, Faus-Llácer V, Faus-Matoses I, Zubizarreta-Macho Á, Sauro S, Faus-Matoses V. The influence of NiTi alloy on the cyclic fatigue resistance of endodontic files. J Clin Med, 2020, 9 (11). doi: 10.3390/jcm9113755

[8] Hiran-Us S, Morakul S. Effect of temperatures on cyclic fatigue resistance of 3 different Ni-Ti alloy files. Int Dent J, 2023, 73 (6): 904-909. doi: 10.1016/j.identj.2023.06.008

[9] Shen Y, Zhou H.M, Zheng Y.F, Peng B, Haapasalo M. Current challenges and concepts of the thermomechanical treatment of nickel-titanium instruments. J Endod, 2013, 39 (2): 163-172. doi: 10.1016/j.joen.2012.11.005

[10] Fochesato N. Caratterizzazione ultrastrutturale e composizionale di nuovi strumenti endodontici rotanti in nichel-titanio. Laurea magistrali a ciclo unico, Università degli Studi di Padova, 2024.