

# EFFECT OF TRIMLINE DESIGN AND ATTACHMENTS ON THE RETENTION FORCE OF CLEAR ALIGNERS: AN IN VITRO STUDY

Tran Thi Bich Van

Faculty of Odonto-Stomatology, University of Medicine and Pharmacy at Ho Chi Minh City - 652 Nguyen Trai, Cho Lon Ward, Ho Chi Minh City, Vietnam

Received: 13/04/2026

Revised: 12/05/2026; Accepted: 18/06/2026

## ABSTRACT

**Objective:** Clear aligner therapy has become increasingly popular due to its esthetic advantages and patient convenience. However, the effectiveness of tooth movement largely depends on the fit of the aligner on the dental arch, which is closely related to its retention. This study aimed to evaluate the effects of trimline design and the presence of attachments on the retention force of clear aligners under in vitro conditions.

**Methods:** An in vitro experimental study was conducted using clear aligners fabricated from thermoplastic material (Zendura, BayMaterials, USA) on standardized 3D-printed maxillary models. Three trimline designs were investigated: scalloped gingival margin, straight cut at the gingival zenith, and straight cut above the gingival zenith. Each design was tested under two conditions: with and without attachments, resulting in six experimental groups. Retention force was measured using a universal testing machine (UTM) by vertically dislodging the aligners from the dental model at a constant crosshead speed. Data were analyzed using two-way ANOVA followed by Tukey post hoc tests, with a significance level set at  $p < 0.05$ .

**Results:** Retention force differed significantly among trimline designs and with the presence of attachments. The scalloped margin without attachments showed the lowest retention force ( $3.21 \pm 0.97$  N), whereas the high trimline with attachments demonstrated the highest retention force ( $26.57 \pm 1.85$  N). Within the same trimline design, the use of attachments increased retention, particularly in the scalloped and high trimline groups. Additionally, both with and without attachments, the high trimline consistently exhibited greater retention than the straight and scalloped designs.

**Conclusion:** Both trimline design and the presence of attachments significantly influence the retention of clear aligners. The high trimline provides the greatest retention, while the scalloped design yields the lowest. The use of attachments can enhance aligner retention, especially in designs with inherently lower retention.

**Keywords:** clear aligner, retention force, trimline design, attachment, orthodontics.

---

\*Corresponding author

Email: ttbvan@ump.edu.vn Phone: (+84) 918737697 DOI: 10.52163/yhc.v67i6.5516

# ẢNH HƯỞNG CỦA THIẾT KẾ ĐƯỜNG VIỀN KHAY VÀ ATTACHMENT ĐẾN LỰC LƯU GIỮ CỦA KHAY CHỈNH NHA TRONG SUỐT: NGHIÊN CỨU IN VITRO

Trần Thị Bích Vân<sup>1</sup>

Khoa Răng Hàm Mặt, trường Đại học Y Dược Thành phố Hồ Chí Minh - 652 Nguyễn Trãi, phường Chợ Lớn, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

Ngày nhận bài: 13/04/2026

Ngày chỉnh sửa: 12/05/2026; Ngày duyệt đăng: 18/06/2026

## TÓM TẮT

**Mục tiêu:** Chỉnh nha bằng khay trong suốt ngày càng phổ biến nhờ tính thẩm mỹ và sự thuận tiện cho bệnh nhân. Tuy nhiên, hiệu quả di chuyển răng phụ thuộc nhiều sự khít sát của khay trên cung răng và điều này phản ánh phần nào vào khả năng lưu giữ của khay trên cung răng. Nghiên cứu này nhằm đánh giá ảnh hưởng của thiết kế đường viền cắt khay và sự hiện diện của attachment đến lực lưu giữ của khay chỉnh nha trong điều kiện in vitro.

**Phương pháp:** Nghiên cứu thực nghiệm in vitro được thực hiện trên các khay chỉnh nha trong suốt chế tạo từ vật liệu nhựa nhiệt dẻo ép nhiệt Zendura (Bay, Hoa Kỳ) trên mẫu hàm in 3D. Ba thiết kế đường viền khay được khảo sát gồm: viền vỏ sò, viền ngang đỉnh nướu và viền cao trên đỉnh nướu. Mỗi thiết kế được thử nghiệm trong hai điều kiện: có attachment và không có attachment, tạo thành sáu nhóm nghiên cứu. Lực lưu giữ của khay được đo bằng máy thử nghiệm vạn năng (Universal Testing Machine – UTM) bằng cách kéo khay theo phương thẳng đứng khỏi mô hình răng với tốc độ không đổi. Dữ liệu được trình bày được phân tích bằng phép kiểm two-way ANOVA kết hợp kiểm định hậu nghiệm Tukey với mức ý nghĩa thống kê  $p < 0,05$ .

**Kết quả:** Lực lưu giữ của khay khác biệt đáng kể giữa các thiết kế viền khay và sự hiện diện attachment. Nhóm viền vỏ sò không attachment có lực lưu giữ thấp nhất ( $3,21 \pm 0,97$  N), trong khi nhóm viền cao có attachment cho lực lưu giữ cao nhất ( $26,57 \pm 1,85$  N). Ở cùng một thiết kế viền khay, việc sử dụng attachment làm tăng lực lưu giữ, đặc biệt rõ rệt ở thiết kế viền vỏ sò và viền cao. Ngoài ra, trong cả hai điều kiện có và không có attachment, thiết kế viền cao cho lực lưu giữ lớn hơn so với viền ngang và viền vỏ sò.

**Kết luận:** Thiết kế đường viền khay và sự hiện diện của attachment đều ảnh hưởng đáng kể đến lực lưu giữ của khay chỉnh nha trong suốt. Thiết kế viền cao cho lực lưu giữ lớn nhất, trong khi viền vỏ sò cho lực lưu giữ thấp nhất. Việc sử dụng attachment có thể cải thiện khả năng lưu giữ của khay, đặc biệt khi thiết kế viền khay có lực lưu giữ thấp.

**Từ khóa:** khay chỉnh nha trong suốt, lực lưu giữ khay, thiết kế viền khay, attachment, clear aligner.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Chỉnh nha bằng khay trong suốt (clear aligner) ngày càng được sử dụng rộng rãi nhờ tính thẩm mỹ cao và sự thuận tiện cho bệnh nhân. Tuy nhiên, hiệu quả điều trị của phương pháp này phụ thuộc nhiều vào khả năng lưu giữ của khay trên cung răng, vì lực chỉnh nha chỉ được truyền hiệu quả khi khay bám sát và ổn định trên răng [8].

Nhiều yếu tố có thể ảnh hưởng đến lực lưu giữ của khay, trong đó thiết kế đường viền cắt khay và sự hiện diện của attachment được xem là hai yếu tố quan trọng [2,6]. Đường viền khay có thể được thiết kế theo nhiều dạng khác nhau như viền vỏ sò, viền ngang hoặc viền mở rộng trên đỉnh nướu, mỗi thiết kế có thể ảnh hưởng khác nhau đến diện tích tiếp xúc giữa khay và răng cũng như khả năng tận dụng các vùng lẹm tự nhiên của răng [1,7]. Bên cạnh đó,

attachment thường được sử dụng để cải thiện khả năng truyền lực để di chuyển răng và tăng độ lưu giữ của khay [4].

Mặc dù đã có một số nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố này, nhưng bằng chứng về sự kết hợp giữa thiết kế đường viền khay và attachment đối với lực lưu giữ của khay vẫn còn hạn chế [3]. Do đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá ảnh hưởng của thiết kế đường viền cắt khay và sự hiện diện của attachment đến lực lưu giữ của khay chỉnh nha trong suốt trong điều kiện in vitro.

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Thiết kế nghiên cứu

Nghiên cứu được thiết kế theo dạng thực nghiệm in vitro nhằm đánh giá ảnh hưởng của thiết kế đường viền cắt

\*Tác giả liên hệ

Email: ttbvan@ump.edu.vn Điện thoại: (+84) 918737697 DOI: 10.52163/yhc.v67i6.5516

khay và sự hiện diện của attachment đến lực lưu giữ của khay chỉnh nha trong suốt. Các phép đo lực lưu giữ được thực hiện bằng máy Universal Testing Machine (UTM) trong điều kiện tiêu chuẩn hóa.

## 2.2. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là các khay chỉnh nha trong suốt được chế tạo trên mô hình răng hàm trên in 3D tiêu chuẩn. Các khay được thiết kế với ba kiểu đường viền cắt khay khác nhau gồm:

Viền vỏ sò (scalloped gingival margin)

Viền ngang đỉnh nướu (straight cut at gingival zenith)

Viền cao trên đỉnh nướu (straight cut above gingival zenith)

Mỗi thiết kế viền khay được thử nghiệm trong hai điều kiện:

Không có attachment

Có attachment

Tổng cộng có 6 nhóm thử nghiệm:

Viền vỏ sò

Viền vỏ sò + attachment

Viền ngang

Viền ngang + attachment

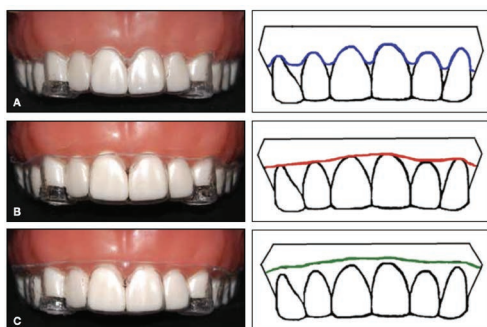
Viền cao

Viền cao + attachment

## 2.3. Chuẩn bị mẫu nghiên cứu

Mô hình răng hàm trên được thiết kế bằng phần mềm CAD và in bằng công nghệ in 3D với vật liệu nhựa resin nha khoa. Các attachment được thiết kế và gắn vào các răng theo kế hoạch nghiên cứu.

Khay chỉnh nha được chế tạo từ vật liệu nhựa nhiệt dẻo Zendura (Bay, hoa Kỳ) bằng phương pháp ép nhiệt trên mẫu hàm in 3D, sau đó được cắt theo ba thiết kế đường viền khay đã xác định. Quy trình chế tạo khay được chuẩn hóa nhằm đảm bảo độ dày và độ khít sát của khay trên mẫu hàm.



Hình 1. Các loại đường viền khay

A: Đường viền cắt theo viền nướu,

B: Đường viền cắt thẳng ngang đỉnh nướu,

C: Đường viền cắt thẳng trên đỉnh nướu 2mm

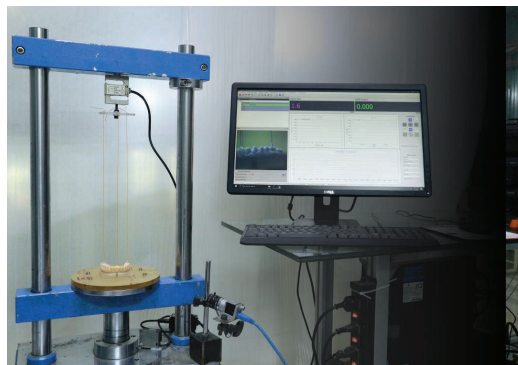
## 2.4. Đo lực lưu giữ khay

Lực lưu giữ của khay được đo bằng máy thử nghiệm vạn năng UTM. Mẫu hàm được cố định trên bệ máy thử nghiệm, trong khi khay chỉnh nha được gắn với hệ thống kéo thông qua dây hoặc móc cố định.

Trong quá trình thử nghiệm, khay được kéo ra khỏi mẫu hàm theo phương thẳng đứng vuông góc với mặt phẳng

nhai với tốc độ kéo không đổi. Lực tối đa cần thiết để tháo khay khỏi mẫu hàm được ghi nhận và được xem là lực lưu giữ của khay.

Mỗi nhóm mẫu được đo lặp lại nhiều lần để giảm sai số và giá trị trung bình được sử dụng cho phân tích thống kê.



Hình 2. Thử nghiệm Pull-off Test trên máy đo vạn năng UTM, hướng vuông góc với mặt nhai, tốc độ kéo 5mm/phút, đo lặp lại 3 lần/khay

## 2.5. Biến số nghiên cứu

Biến số độc lập gồm:

Thiết kế đường viền khay (viền vỏ sò, viền ngang, viền cao)

Sự hiện diện của attachment (có hoặc không)

Biến số phụ thuộc:

Lực lưu giữ của khay (đơn vị: Newton, N)

## 2.6. Phân tích thống kê

Dữ liệu được trình bày dưới dạng giá trị trung bình  $\pm$  độ lệch chuẩn (mean  $\pm$  SD).

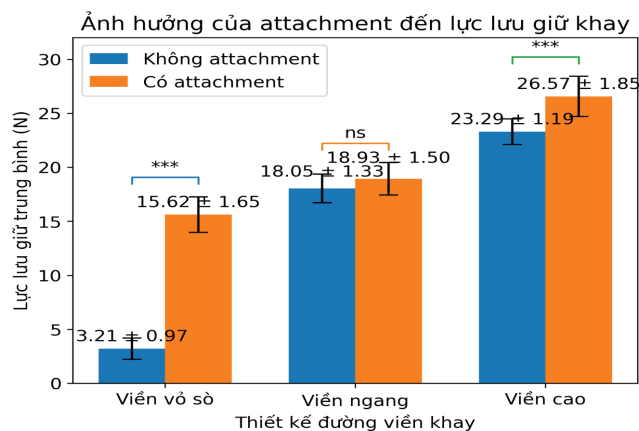
Sự khác biệt giữa các nhóm được phân tích bằng two-way analysis of variance (two-way ANOVA) nhằm đánh giá ảnh hưởng của hai yếu tố: thiết kế đường viền khay và sự hiện diện của attachment. Khi có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê, các phép so sánh cặp được thực hiện bằng kiểm định hậu nghiệm Tukey.

Ngưỡng ý nghĩa thống kê được xác định là  $p < 0,05$ .

## 3. KẾT QUẢ

### 3.1. So sánh lực lưu giữ khay giữa nhóm có và không có attachment

Biểu đồ 1. So sánh lực lưu giữ khay giữa nhóm có và không có attachment



- Two-way ANOVA,  $p < 0,05$
- Kiểm định hậu nghiệm Tukey,  $p < 0,05$

Biểu đồ 1 so sánh lực lưu giữ trung bình của khay được so sánh giữa nhóm có attachment và không có attachment ở ba thiết kế đường viền khay khác nhau (viền vỏ sò, viền ngang và viền cao). Phân tích thống kê được thực hiện bằng two-way ANOVA (yếu tố: thiết kế viền khay và sự hiện diện của attachment), sau đó so sánh cặp bằng kiểm định hậu nghiệm Tukey với mức ý nghĩa thống kê  $p < 0.05$ .

Kết quả cho thấy ở thiết kế viền vỏ sò, lực lưu giữ của nhóm có attachment ( $15.62 \pm 1.65$  N) cao hơn đáng kể so với nhóm không có attachment ( $3.21 \pm 0.97$  N) ( $p < 0.001$ ).

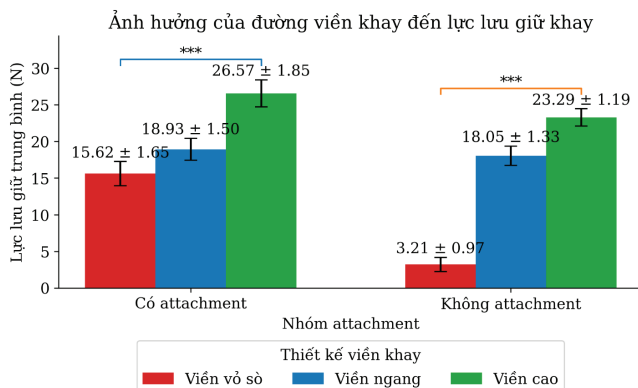
Ở thiết kế viền ngang, lực lưu giữ giữa hai nhóm không khác biệt có ý nghĩa thống kê ( $18.93 \pm 1.50$  N so với  $18.05 \pm 1.33$  N;  $p > 0.05$ ).

Ngược lại, ở thiết kế viền cao, nhóm có attachment ( $26.57 \pm 1.85$  N) cho lực lưu giữ cao hơn có ý nghĩa thống kê so với nhóm không có attachment ( $23.29 \pm 1.19$  N) ( $p < 0.001$ ).

Nhìn chung, sự hiện diện của attachment làm tăng lực lưu giữ của khay, đặc biệt rõ rệt ở thiết kế viền vỏ sò và viền cao, trong khi viền ngang không cho thấy sự khác biệt đáng kể giữa hai nhóm.

### 3.2. So sánh lực lưu giữ khay giữa các nhóm có đường viền cắt khay khác nhau

Biểu đồ 2. So sánh lực lưu giữ khay giữa các nhóm có đường viền cắt khay khác nhau



- Two-way ANOVA,  $p < 0,05$
- Kiểm định hậu nghiệm Tukey,  $p < 0,05$

Biểu đồ 2 cho thấy ảnh hưởng của thiết kế đường viền khay đến lực lưu giữ khay được phân tích ở hai nhóm có attachment và không có attachment. Dữ liệu được trình bày dưới dạng giá trị trung bình  $\pm$  độ lệch chuẩn (mean  $\pm$  SD). Phân tích thống kê được thực hiện bằng two-way ANOVA (hai yếu tố: thiết kế đường viền khay và sự hiện diện của attachment), sau đó so sánh cặp bằng kiểm định hậu nghiệm Tukey, với mức ý nghĩa thống kê  $p < 0.05$ .

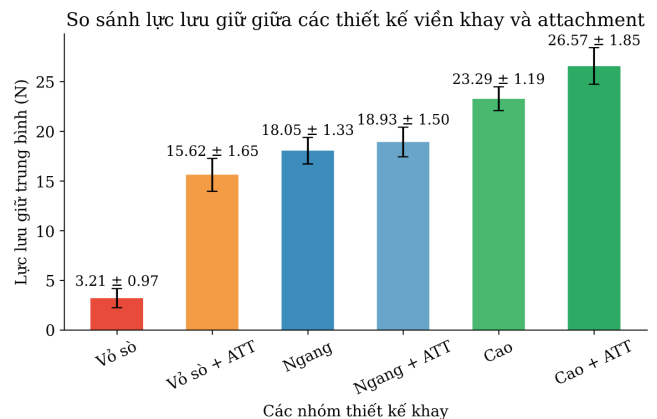
Trong nhóm có attachment, lực lưu giữ tăng dần theo thiết kế đường viền khay, với giá trị lần lượt là  $15.62 \pm 1.65$  N đối với viền vỏ sò,  $18.93 \pm 1.50$  N đối với viền ngang và  $26.57 \pm 1.85$  N đối với viền cao. Sự khác biệt giữa các thiết kế viền khay có ý nghĩa thống kê ( $p < 0.001$ ), trong đó viền cao cho lực lưu giữ lớn nhất.

Tương tự, trong nhóm không có attachment, lực lưu giữ của các thiết kế viền vỏ sò, viền ngang và viền cao lần lượt là  $3.21 \pm 0.97$  N,  $18.05 \pm 1.33$  N và  $23.29 \pm 1.19$  N. Sự khác biệt giữa các thiết kế viền khay cũng có ý nghĩa thống kê ( $p < 0.001$ ), với viền cao cho lực lưu giữ cao nhất, tiếp theo là viền ngang, trong khi viền vỏ sò cho lực lưu giữ thấp nhất.

Nhìn chung, thiết kế viền cao cho lực lưu giữ khay lớn nhất ở cả hai nhóm, trong khi viền vỏ sò cho lực lưu giữ thấp nhất, đặc biệt rõ rệt ở nhóm không có attachment.

### 3.3. So sánh lực lưu giữ khay giữa 6 nhóm có đường viền khay và attachment khác nhau

Bảng 3. So sánh lực lưu giữ khay giữa các nhóm có đường viền khay và attachment khác nhau



- Two-way ANOVA,  $p < 0,05$
- Kiểm định hậu nghiệm Tukey,  $p < 0,05$

Biểu đồ 3 so sánh lực lưu giữ trung bình của khay được so sánh giữa sáu nhóm thiết kế bao gồm: viền vỏ sò, viền vỏ sò + attachment, viền ngang, viền ngang + attachment, viền cao và viền cao + attachment. Dữ liệu được trình bày dưới dạng giá trị trung bình  $\pm$  độ lệch chuẩn và phân tích bằng two-way ANOVA với hai yếu tố là thiết kế đường viền khay và sự hiện diện của attachment, sau đó tiến hành so sánh hậu nghiệm Tukey với mức ý nghĩa thống kê  $p < 0.05$ .

Kết quả cho thấy lực lưu giữ của khay tăng dần theo thiết kế đường viền và sự hiện diện của attachment. Nhóm viền vỏ sò không attachment có lực lưu giữ thấp nhất ( $3.21 \pm 0.97$  N), trong khi nhóm viền cao có attachment cho lực lưu giữ cao nhất ( $26.57 \pm 1.85$  N). Ở cùng một thiết kế viền khay, việc bổ sung attachment làm tăng lực lưu giữ, cụ thể: viền vỏ sò + attachment ( $15.62 \pm 1.65$  N) cao hơn so với viền vỏ sò ( $3.21 \pm 0.97$  N); viền ngang + attachment ( $18.93 \pm 1.50$  N) cao hơn viền ngang ( $18.05 \pm 1.33$  N); và viền cao + attachment ( $26.57 \pm 1.85$  N) cao hơn viền cao ( $23.29 \pm 1.19$  N).

Ngoài ra, trong cả hai điều kiện có và không có attachment, thiết kế viền cao đều cho lực lưu giữ lớn hơn so với viền ngang và viền vỏ sò. Điều này cho thấy thiết kế đường viền khay và sự hiện diện của attachment đều có ảnh hưởng đáng kể đến lực lưu giữ của khay.

## 4. BÀN LUẬN

Nghiên cứu này nhằm đánh giá ảnh hưởng của thiết kế đường viền cắt khay và sự hiện diện của attachment đến lực lưu giữ của khay chỉnh nha trong suốt. Kết quả cho

thấy cả hai yếu tố đều ảnh hưởng đáng kể đến lực lưu giữ, trong đó viền cao cho giá trị lớn nhất, tiếp theo là viền ngang và thấp nhất là viền vô sò. Việc sử dụng attachment giúp tăng lực lưu giữ ở một số thiết kế viền khay.

#### 4.1. Ảnh hưởng của thiết kế đường viền khay

Lực lưu giữ tăng dần từ viền vô sò → viền ngang → viền cao ở cả hai nhóm có và không có attachment, cho thấy mức độ mở rộng viền khay đóng vai trò quan trọng. Viền khay mở rộng về phía chóp răng làm tăng diện tích tiếp xúc và khả năng tận dụng các vùng undercut, từ đó cải thiện lực lưu giữ.

Kết quả này phù hợp với nghiên cứu của Cowley (2012), trong đó viền thẳng mở rộng cho lực lưu giữ cao hơn viền vô sò [1]. Các nghiên cứu gần đây cũng cho thấy viền cắt mở rộng giúp tăng lực và cải thiện truyền lực chỉnh nha [6,7].

Về cơ chế, viền khay mở rộng làm tăng độ cứng tại vùng cổ răng, giảm biến dạng và tăng khả năng bám giữ; ngược lại, viền vô sò thường mỏng hơn do quá trình ép nhiệt, dẫn đến giảm lực lưu giữ [5]. Điều này cũng được ghi nhận trong các tổng quan gần đây về hiệu quả sinh cơ học của thiết kế viền khay [7].

#### 4.2. Ảnh hưởng của attachment

Attachment làm tăng lực lưu giữ ở viền vô sò và viền cao, nhưng không có ý nghĩa ở viền ngang, cho thấy hiệu quả của attachment phụ thuộc vào thiết kế viền khay.

Cơ chế chính là tạo các vùng lẹm nhân tạo, tăng diện tích tiếp xúc và giúp khay bám chắc hơn vào cung răng [4], đồng thời đóng vai trò điểm tựa để truyền lực hiệu quả [3,5]. Tuy nhiên, khi viền khay đã đủ lưu giữ, vai trò bổ sung của attachment có thể không đáng kể.

Kết quả này gợi ý rằng tối ưu thiết kế viền khay có thể giảm nhu cầu sử dụng attachment, góp phần cải thiện thẩm mỹ và sự thoải mái cho bệnh nhân.

#### 4.3. Ý nghĩa lâm sàng

Viền cao cung cấp lực lưu giữ tốt nhất, giúp tăng độ ổn định và hiệu quả truyền lực, nhưng có thể gây khó chịu khi tháo lắp. Ngược lại, viền vô sò thoải mái và thẩm mỹ hơn nhưng cần hỗ trợ thêm bằng attachment. Do đó, lựa chọn

thiết kế viền khay cần cân bằng giữa hiệu quả sinh cơ học và sự thoải mái của bệnh nhân.

#### 4.4. Hạn chế

Nghiên cứu in vitro chưa phản ánh đầy đủ điều kiện lâm sàng như nước bọt, lực nhai và biến dạng theo thời gian. Ngoài ra, thử nghiệm kéo theo một hướng không phản ánh hoàn toàn lực đa chiều trong miệng. Vì vậy, cần có thêm các nghiên cứu in vivo để xác nhận kết quả.

### 5. TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Cowley DP, Mah J, O'Toole B. The effect of gingival-margin design on the retention of thermoformed aligners. *J Clin Orthod*. 2012.
- [2] Takara Y, Haga S, Kimura H, et al. Mechanical analysis of factors affecting clear aligner removability. *Dent Mater J*. 2022;41(4):534–544.
- [3] Cremonini F, Cappelletti M, Bruculeri L, et al. An in vitro comparison of retention force between thermoformed and 3D-printed aligners. *Appl Sci*. 2025;15(3):1345.
- [4] Dasy H, Dasy A, Asatrian G, et al. Effects of variable attachment shapes and aligner material on aligner retention. *Angle Orthod*. 2015;85(6):934–940.
- [5] Hertan E, McCray J, Bankhead B, et al. Force profile assessment of direct-printed aligners versus thermoformed aligners. *Prog Orthod*. 2022;23(1):49.
- [6] Elshazly TM, Salvatori D, Elattar H, et al. Effect of trimming line design and edge extension of orthodontic aligners on force transmission. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2023;140:105741.
- [7] Nakornnoi T, Srirodjanakul W, Chintavalakorn R, et al. Biomechanical effects of clear aligner trimline designs: a systematic review. *BMC Oral Health*. 2024;24(1):1523.
- [8] Mantovani E, Castroflorio T, Rossini G, et al. Scanning electron microscopy evaluation of aligner fit on teeth. *Angle Orthod*. 2018;88(5):596–601.