

THICKNESS VARIATIONS OF THERMOFORMED ORTHODONTIC ALIGNERS ACROSS DIFFERENT TOOTH TYPES AND TOOTH SURFACE LOCATIONS: AN IN VITRO STUDY

Tran Thi Bich Van*

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

Received: 19/03/2026

Revised: 09/04/2026; Accepted: 04/06/2026

ABSTRACT

Objective: To evaluate the thickness distribution of thermoformed clear aligners according to tooth group and different locations on the same tooth.

Materials and methods: An *in vitro* experimental study was conducted on 10 clear aligners thermoformed on a 3D-printed maxillary model. The thermoplastic material used was Zendura FLX with an initial thickness of 0.76 mm. Aligner thickness was measured using an electronic micrometer at five anatomical locations on the maxillary central incisor (R1) and canine (R3), including: incisal edge/cusp tip, center of the labial surface, labial cervical region, center of the palatal surface, and palatal cervical region. Data were analyzed using one-way ANOVA with Tukey HSD post hoc tests and paired t-tests.

Results: The thermoforming process significantly reduced aligner thickness and produced a non-uniform thickness distribution across the dental arch. The mean thickness in the incisor region ($344.23 \pm 4.06 \mu\text{m}$) was significantly lower than that in the canine region ($408.97 \pm 4.94 \mu\text{m}$) ($p < 0.001$). Within each tooth, aligner thickness differed significantly among anatomical locations ($p < 0.001$). The labial cervical region was the thinnest area, while the incisal edge/cusp tip and palatal surface tended to be thicker. At most corresponding locations, aligners in the canine region were thicker than those in the incisor region.

Conclusion: The thermoforming process reduces aligner thickness; however, the degree of reduction varies depending on the tooth region and location on the same tooth. Overall, aligners tend to become thinner from posterior to anterior, and within a tooth, the labial cervical region is the thinnest area.

Keywords: Clear aligners, thermoforming, aligner thickness, *in vitro* study.

*Corresponding author

Email: ttbvan@ump.edu.vn Phone: (+84) 918737697 DOI: 10.52163/yhc.v67iCD6.5365



SỰ BIẾN THIÊN ĐỘ DÀY CỦA KHAY CHỈNH NHA ÉP NHIỆT THEO CÁC LOẠI RĂNG VÀ VỊ TRÍ TRÊN BỀ MẶT RĂNG: NGHIÊN CỨU IN VITRO

Trần Thị Bích Vân*

Khoa Răng Hàm Mặt, Đại học Y Dược thành phố Hồ Chí Minh - 217 Hồng Bàng, phường Chợ Lớn, thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

Ngày nhận bài: 19/03/2026

Ngày chỉnh sửa: 09/04/2026; Ngày duyệt đăng: 04/06/2026

TÓM TẮT

Mục tiêu: Đánh giá phân bố độ dày của khay chỉnh nha trong suốt định hình nhiệt theo nhóm răng và vị trí khác nhau trên cùng một răng.

Vật liệu và phương pháp: Nghiên cứu thực nghiệm in vitro được thực hiện trên 10 khay chỉnh nha trong suốt được ép nhiệt trên mô hình hàm trên in 3D, tấm nhựa nhiệt dẻo được sửa dụng là Zendura FLX có độ dày ban đầu 0,76 mm. Độ dày khay được đo bằng Panme điện tử tại 5 vị trí giải phẫu trên răng cửa giữa hàm trên (R1) và răng nanh (R3) bao gồm: cạnh cắn/đỉnh mũi, trung tâm mặt ngoài, cổ răng mặt ngoài, trung tâm mặt trong và cổ răng mặt trong. Dữ liệu được phân tích bằng ANOVA một yếu tố với kiểm định hậu nghiệm Tukey HSD và kiểm định t-test bất cặp.

Kết quả: Quá trình định hình nhiệt làm giảm đáng kể độ dày khay và tạo ra sự phân bố độ dày không đồng đều trên cung răng. Độ dày trung bình tại vùng răng cửa (344,23 ± 4,06 µm) thấp hơn có ý nghĩa thống kê so với vùng răng nanh (408,97 ± 4,94 µm) ($p < 0,001$). Trong từng răng, độ dày khay khác biệt đáng kể giữa các vị trí giải phẫu ($p < 0,001$). Vùng cổ răng mặt ngoài là vị trí mỏng nhất, trong khi các vị trí cạnh cắn/đỉnh mũi và bề mặt trong có xu hướng dày hơn. Ở hầu hết các vị trí tương ứng, khay tại vùng răng nanh dày hơn so với vùng răng cửa.

Kết luận: Quá trình định hình nhiệt làm giảm độ dày, tuy nhiên mức giảm tùy thuộc vào vùng răng và vị trí trên cung 1 răng. Xu hướng là khay mỏng dần từ sau ra trước và trên cung 1 răng thì cổ răng mặt ngoài là vị trí mỏng nhất.

Từ khóa: Khay chỉnh nha trong suốt, định hình nhiệt, độ dày khay, nghiên cứu in vitro.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Chỉnh nha bằng khay trong suốt (clear aligner therapy) ngày càng được sử dụng rộng rãi nhờ tính thẩm mỹ, khả năng tháo lắp và sự thoải mái cho bệnh nhân. Hiện nay, phần lớn khay chỉnh nha được chế tạo bằng phương pháp định hình nhiệt (thermoforming), trong đó tấm nhựa nhiệt dẻo được gia nhiệt và ép lên mẫu hàm 3D. Tuy nhiên, quá trình này có thể làm thay đổi đáng kể độ dày của khay so với chiều dày tấm nhựa ban đầu. Sự thay đổi độ dày có ý nghĩa quan trọng về cơ sinh học làm ảnh hưởng đến sự di chuyển răng trên lâm sàng [1], [3].

Các nghiên cứu trước đây đã ghi nhận sự giảm và phân bố không đồng đều của độ dày khay trên cung răng sau định hình nhiệt. Tuy nhiên, dữ liệu thực nghiệm về phân bố độ dày tại các vị trí giải phẫu cụ thể trên từng răng vẫn còn hạn chế, và sự khác biệt giữa các nhóm răng trên cung răng chưa được làm rõ đầy đủ. Do đó, nghiên cứu này nhằm đánh giá sự thay đổi và phân bố độ dày của khay chỉnh nha trong suốt sau định hình nhiệt, đồng thời so sánh độ dày khay giữa các nhóm răng và các vị trí giải phẫu đặc trưng trên từng răng.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Thiết kế nghiên cứu

Nghiên cứu thực nghiệm in vitro.

2.2. Mẫu nghiên cứu

10 khay chỉnh nha được chế tạo từ vật liệu Zendura FLX (Bay Materials, Hoa Kỳ) có độ dày ban đầu 0,76 mm được ép trên 10 mẫu in 3D với để được chuẩn hóa có chiều cao 4 mm để có được khay chỉnh nha hoàn chỉnh, sau đó đo độ dày của khay sau ép nhiệt.

2.3. Quy trình thực hiện

- Tạo mô hình hàm 3D: các mô hình hàm trên được in bằng máy in 3D Rayshape Edge E2 (Rayshape, Trung Quốc) sử dụng nhựa nha khoa (Formlabs Inc., Hoa Kỳ), với để chuẩn hóa cao 4 mm. Sau khi in, các mô hình được làm sạch và xử lý hậu in theo hướng dẫn của nhà sản xuất.

- Định hình khay chỉnh nha: khay chỉnh nha được chế tạo từ tấm vật liệu Zendura FLX có độ dày ban đầu 0,76 mm. Tổng cộng 10 tấm vật liệu được ép trên 10 mô hình hàm trên bằng máy định hình nhiệt Druformat Scan (Drewe, Đức). Mỗi tấm vật liệu được gia nhiệt ở 220°C trong 50

*Tác giả liên hệ

Email: ttbvan@ump.edu.vn Điện thoại: (+84) 918737697 DOI: 10.52163/yhc.v67iCD6.5365

giây, sau đó ép lên mô hình và để nguội trong 60 giây theo hướng dẫn của nhà sản xuất.

- Hoàn thiện khay chỉnh nha: sau khi tạo hình, các khay được cắt theo đường viền nướu và đánh bóng bờ viền. Toàn bộ quy trình được thực hiện bởi cùng một kỹ thuật viên đã được đào tạo nhằm đảm bảo tính nhất quán.

- Đo độ dày khay: độ dày khay sau khi tạo hình được đo bằng thước kẹp điện tử Panme Syntek (MTM Precision, Trung Quốc) với khoảng đo 0-25 mm và độ phân giải 0,001 mm.



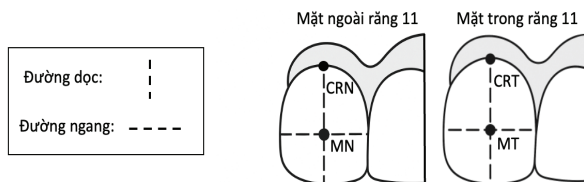
Hình 1. Vật liệu và thiết bị sử dụng trong nghiên cứu in vitro

Ghi chú: (a) Tấm nhựa Zendura FLX; (b) Máy in 3D Rayshape Edge E2; (c) Máy định hình nhiệt Druformat Scan; (d) Panme điện tử Syntek.

2.4. Phương pháp thu thập số liệu

Trên mặt ngoài R1 và R3 ở khay chỉnh nha, dùng bút lông dầu đường kính 0,3 mm vẽ 2 đường tham chiếu gồm: (1) Trục dọc là đường thẳng tưởng tượng nối điểm giữa bờ cắn (răng cửa) hoặc đỉnh mũi (răng nanh) và điểm cao nhất đường viền nướu mặt ngoài; (2) Trục ngang nối hai điểm xa nhất theo chiều gần - xa của thân răng và vuông góc với trục dọc. Sự giao nhau của các trục này ở mặt ngoài cho phép xác định 3 vị trí gồm: cạnh cắn/đỉnh mũi, trung tâm mặt ngoài, cổ răng mặt ngoài.

Tương tự với mặt trong sẽ xác định 2 vị trí gồm: trung tâm mặt trong và cổ răng mặt trong (hình 2).



Hình 2. Cách xác định các điểm mốc đo

Ghi chú: CRN: cổ răng mặt ngoài, MN: trung tâm mặt ngoài, CRT: cổ răng mặt trong, MT: trung tâm mặt trong.

2.5. Biến số nghiên cứu

Bảng 1. Tổng hợp các biến số trong nghiên cứu

STT	Tên biến	Ý nghĩa	Đơn vị	Loại biến số
1	Cạnh cắn (R1)	Độ dày khay tại cạnh cắn của răng cửa giữa hàm trên	μm	Định lượng liên tục
2	Trung tâm mặt ngoài (R1)	Độ dày khay tại trung tâm mặt ngoài của răng cửa giữa	μm	Định lượng liên tục
3	Cổ răng mặt ngoài (R1)	Độ dày khay tại cổ răng mặt ngoài của răng cửa giữa	μm	Định lượng liên tục
4	Trung tâm mặt trong (R1)	Độ dày khay tại trung tâm mặt trong của răng cửa giữa	μm	Định lượng liên tục

STT	Tên biến	Ý nghĩa	Đơn vị	Loại biến số
5	Cổ răng mặt trong (R1)	Độ dày khay tại cổ răng mặt trong của răng cửa giữa	μm	Định lượng liên tục
6	Đỉnh mũi (R3)	Độ dày khay tại đỉnh mũi của răng nanh hàm trên	μm	Định lượng liên tục
7	Trung tâm mặt ngoài (R3)	Độ dày khay tại trung tâm mặt ngoài của răng nanh	μm	Định lượng liên tục
8	Cổ răng mặt ngoài (R3)	Độ dày khay tại cổ răng mặt ngoài của răng nanh	μm	Định lượng liên tục
9	Trung tâm mặt trong (R3)	Độ dày khay tại trung tâm mặt trong của răng nanh	μm	Định lượng liên tục
10	Cổ răng mặt trong (R3)	Độ dày khay tại cổ răng mặt trong của răng nanh	μm	Định lượng liên tục

2.6. Phân tích thống kê

Phân phối chuẩn của dữ liệu được đánh giá bằng kiểm định Shapiro-Wilk và biểu đồ Q-Q. Tính đồng nhất phương sai được kiểm tra bằng kiểm định Levene khi dữ liệu phân phối chuẩn. Giá trị độ dày được mô tả bằng trung bình và độ lệch chuẩn ($\bar{X} \pm SD$). Phân tích ANOVA một chiều được sử dụng để so sánh độ dày giữa R1 và R3 cũng như giữa các vị trí trong cùng một răng. Khi phát hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê tổng thể, kiểm định hậu nghiệm Tukey HSD được áp dụng. Kiểm định t-test bất cặp được sử dụng để so sánh độ dày giữa R1 và R3 tại các vị trí giải phẫu tương ứng. Tất cả phân tích được thực hiện bằng phần mềm R (phiên bản 4.5.0). Giá trị $p < 0,05$ được xem là có ý nghĩa thống kê.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. So sánh độ dày khay giữa nhóm răng cửa và nhóm răng nanh

Bảng 2. So sánh độ dày khay giữa các nhóm răng

Nhóm răng	$\bar{X} \pm SD$ (μm)	Mức giảm so với độ dày ban đầu 760 μm (%)	p
R1	344,23 ± 4,06	54,71	< 0,001
R3	408,97 ± 4,94	46,19	

Độ dày trung bình của khay chỉnh nha tại vùng răng trước (R1) là 344,23 ± 4,06 μm, tương ứng với mức giảm độ dày 54,71% so với độ dày ban đầu 760 μm. Tại vùng răng nanh (R3), độ dày trung bình ghi nhận là 408,97 ± 4,94 μm, với mức giảm 46,19%.

Phân tích phương sai một yếu tố (One-way ANOVA) cho thấy sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa hai nhóm răng ($F = 717,78$; $p < 0,001$). Phân tích hậu nghiệm Tukey HSD xác nhận độ dày khay tại vùng R1 thấp hơn có ý nghĩa thống kê so với vùng R3 ($p < 0,001$).

3.2. Phân bố độ dày khay giữa các vị trí trên cùng một răng

3.2.1. Vùng răng cửa

Bảng 3. Độ dày khay tại các vị trí khác nhau trong nhóm răng cửa (R1)

Vị trí	$\bar{X} \pm SD$ (μm)	Mức giảm (%)	p*
Cạnh cắn	395,14 $\pm$ 7,80	48,01	< 0,05
Trung tâm mặt ngoài	414,43 $\pm$ 7,37	45,47	< 0,05
Cổ răng mặt ngoài	223,71 $\pm$ 13,23	70,56	< 0,05
Trung tâm mặt trong	336,43 $\pm$ 10,61	55,73	< 0,05
Cổ răng mặt trong	351,43 $\pm$ 6,35	53,76	< 0,05

*Phân tích ANOVA cho thấy sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các vị trí trong nhóm R1 ($F = 437,73$; $p < 0,05$).

Bảng 3 trình bày độ dày khay chỉnh nha tại các vị trí khác nhau của răng cửa giữa hàm trên (R1) sau khi tạo hình nhiệt. Kết quả cho thấy độ dày khay phân bố không đồng đều giữa các vị trí. Vị trí trung tâm mặt ngoài có độ dày trung bình 414,43 $\pm$ 7,37 μm , là một trong những vị trí dày nhất. Vị trí cạnh cắn đạt 395,14 $\pm$ 7,80 μm , trong khi trung tâm mặt trong mỏng hơn với 336,43 $\pm$ 10,61 μm .

Cổ răng mặt ngoài là vị trí có độ dày thấp nhất (223,71 $\pm$ 13,23 μm) và cũng ghi nhận mức giảm lớn nhất (70,56%) so với độ dày ban đầu của vật liệu, cho thấy đây là vùng chịu sự kéo giãn vật liệu mạnh nhất trong quá trình tạo hình nhiệt.

Các vị trí khác cũng ghi nhận sự giảm độ dày đáng kể, gồm trung tâm mặt trong giảm 55,73%, cạnh cắn giảm 48,01% và trung tâm mặt ngoài giảm 45,47%, cho thấy quá trình tạo hình nhiệt làm giảm độ dày vật liệu ở tất cả các vị trí, với mức độ khác nhau tùy thuộc vào đặc điểm hình thái răng. Sự khác biệt về độ dày giữa các vị trí có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$). Nhìn chung, khay có xu hướng mỏng nhất ở vùng cổ răng mặt ngoài, dày hơn ở trung tâm mặt ngoài và cạnh cắn, trong khi mặt trong có độ dày trung gian.

3.2.2. Vùng răng nanh

Bảng 4. Độ dày khay tại các vị trí khác nhau trong nhóm răng nanh hàm trên (R3)

Vị trí	$\bar{X} \pm SD$ (μm)	Mức giảm (%)	p
Đỉnh múi	414,57 $\pm$ 11,77	45,45	< 0,05
Trung tâm mặt ngoài	374,86 $\pm$ 4,60	50,68	< 0,05
Cổ răng mặt ngoài	308,86 $\pm$ 8,07	59,36	< 0,05
Trung tâm mặt trong	490,43 $\pm$ 9,90	35,47	< 0,05
Cổ răng mặt trong	456,14 $\pm$ 8,95	39,98	< 0,05

Bảng 4 trình bày độ dày khay chỉnh nha tại các vị trí khác nhau trên răng nanh hàm trên (R3) sau khi tạo hình nhiệt. Kết quả cho thấy độ dày khay phân bố không đồng đều giữa các vị trí.

Vị trí trung tâm mặt trong có độ dày lớn nhất (490,43 $\pm$ 9,90 μm) và mức giảm thấp nhất (35,47%) so với độ dày ban đầu của vật liệu. Cổ răng mặt trong cũng có độ dày tương đối lớn (456,14 $\pm$ 8,95 μm), với mức giảm 39,98%.

Ở mặt ngoài, đỉnh múi có độ dày 414,57 $\pm$ 11,77 μm (giảm 45,45%), trong khi trung tâm mặt ngoài đạt 374,86 $\pm$ 4,60 μm với mức giảm 50,68%. Cổ răng mặt ngoài là vị trí mỏng nhất (308,86 $\pm$ 8,07 μm) và có mức giảm lớn nhất (59,36%), cho thấy vùng này chịu sự kéo giãn vật liệu mạnh nhất trong quá trình tạo hình nhiệt.

Phân tích ANOVA cho thấy sự khác biệt về độ dày giữa các vị trí trong nhóm R3 có ý nghĩa thống kê ($F = 435,95$; $p < 0,05$). So sánh hậu kiểm Tukey HSD cũng ghi nhận các khác biệt đều có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$).

Nhìn chung, sau tạo hình nhiệt, khay chỉnh nha tại răng nanh có xu hướng dày hơn ở mặt trong và mỏng hơn ở vùng cổ răng mặt ngoài.

3.3. So sánh độ dày khay cùng vị trí giữa vùng răng cửa (R1) và vùng răng nanh (R3)

Bảng 5. So sánh độ dày khay giữa R1 và R3 tại cùng vị trí

Vị trí	Độ dày vùng R1 (μm)	Độ dày vùng R3 (μm)	Chênh lệch trung bình (R3-R1)	95% CI	p
Cạnh cắn/đỉnh múi	395,14	414,57	19,43	6,82 ÷ 32,04	< 0,05
Trung tâm mặt ngoài	414,43	374,86	-39,57	-47,70 ÷ -31,44	< 0,001
Cổ răng mặt ngoài	223,71	308,86	85,14	75,28 ÷ 95,01	< 0,001
Trung tâm mặt trong	336,43	490,43	154,00	136,76 ÷ 171,24	< 0,001
Cổ răng mặt trong	351,43	456,14	104,71	96,08 ÷ 113,35	< 0,001

Phân tích t-test độc lập được thực hiện để so sánh độ dày khay giữa R1 và R3 tại các vị trí tương ứng gồm cạnh cắn/đỉnh múi, trung tâm mặt ngoài, cổ răng mặt ngoài, trung tâm mặt trong và cổ răng mặt trong. Kết quả cho thấy sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ở tất cả các vị trí ($p < 0,05$).

Cụ thể, tại cạnh cắn/đỉnh múi, độ dày khay ở R3 (414,57 μm) cao hơn R1 (395,14 μm) với chênh lệch trung bình 19,43 μm ($p < 0,05$). Ở trung tâm mặt ngoài, độ dày khay tại R1 (414,43 μm) lớn hơn R3 (374,86 μm) với chênh lệch -39,57 μm ($p < 0,001$). Ngược lại, tại cổ răng mặt ngoài, trung tâm mặt trong và cổ răng mặt trong, độ dày khay ở R3 cao hơn đáng kể so với R1, với chênh lệch trung bình lần lượt là 85,14 μm ; 154,00 μm ; và 104,71 μm ($p < 0,001$).

Nhìn chung, khay tại R3 dày hơn R1 ở hầu hết các vị trí, đặc biệt ở mặt trong và vùng cổ răng, trong khi tại trung tâm mặt ngoài khay ở R1 dày hơn R3 (bảng 4).

4. BÀN LUẬN

Nghiên cứu này cho thấy các khay chỉnh nha sau tạo hình nhiệt có sự phân bố độ dày không đồng đều dọc theo cung răng và trong từng răng. Vùng răng trước mỏng hơn đáng kể so với răng nanh, và trong mỗi răng, vùng cổ răng mặt ngoài là khu vực mỏng nhất, trong khi bề mặt khẩu cái/lưỡi dày hơn. Các khác biệt này đều có ý nghĩa thống kê.

Sự giảm độ dày có thể được giải thích bởi cơ chế kéo giãn vật liệu trong quá trình tạo hình nhiệt. Khi tấm nhựa nhiệt dẻo thích nghi với hình dạng 3 chiều của mô hình, các vùng có chiều cao theo trục lớn hơn, như răng trước, sẽ

chịu kéo giãn nhiều hơn và do đó trở nên mỏng hơn. Ngoài ra, hình thái lẹm ở vùng cổ răng mặt ngoài làm tăng mức độ kéo giãn của vật liệu, khiến khu vực này thường là vị trí mỏng nhất của khay.

Những kết quả này phù hợp với các nghiên cứu trước đã ghi nhận sự giảm độ dày của khay sau tạo hình nhiệt [1-2]. Tuy nhiên, mức độ giảm có thể khác nhau tùy thuộc vào vật liệu, độ dày ban đầu, nhiệt độ tạo hình và phương pháp đo. Sự khác biệt giữa các vật liệu như PET-G và TPU cũng có thể ảnh hưởng đến đặc tính thư giãn ứng suất và khả năng duy trì lực của khay [2], [5].

Từ góc độ cơ sinh học, độ dày khay ảnh hưởng trực tiếp đến độ cứng và hệ thống lực tác động lên răng. Các nghiên cứu phần tử hữu hạn cho thấy những thay đổi nhỏ về độ dày cũng có thể làm thay đổi đáng kể tỷ lệ moment/lực [3], [6]. Việc vùng cổ răng là khu vực mỏng nhất có thể góp phần giải thích khả năng kiểm soát chân răng còn hạn chế, khi các tổng quan hệ thống cho thấy mức di chuyển chân răng của khay trong suốt chỉ đạt khoảng 30-70% so với kế hoạch điều trị [4].

Về mặt lâm sàng, kết quả này nhấn mạnh vai trò của các chiến lược hỗ trợ như attachment, power ridge và chỉnh lổ. Đồng thời, hiện nay công nghệ in trực tiếp khay chỉnh nha cho phép điều chỉnh phân bố độ dày theo thiết kế, và việc tăng độ dày vùng cổ răng có thể giúp cải thiện kiểm soát chân răng và độ ổn định lực [7].

Nghiên cứu này vẫn có một số hạn chế, bao gồm việc chỉ sử dụng một mô hình hàm chuẩn hóa và không đo trực tiếp hệ thống lực. Các nghiên cứu tương lai cần kết hợp thử nghiệm cơ học, mô phỏng phần tử hữu hạn và dữ liệu lâm sàng để làm rõ hơn mối liên hệ giữa độ dày khay và hiệu quả di chuyển răng.

5. KẾT LUẬN

Quá trình định hình nhiệt làm giảm đáng kể độ dày của khay chỉnh nha Zendura FLX so với độ dày ban đầu và tạo ra sự phân bố độ dày không đồng đều trên cung răng. Độ dày khay tại vùng răng cửa thấp hơn có ý nghĩa thống kê so với vùng răng nanh. Trong từng răng, độ dày khay khác biệt rõ rệt giữa các vị trí giải phẫu, trong đó vùng cổ răng mặt

ngoài là vị trí mỏng nhất, còn các vị trí cạnh cắn/dính mũi và mặt trong có xu hướng dày hơn. Những thay đổi này có thể ảnh hưởng đến đặc tính cơ sinh học và hiệu quả lực chỉnh nha của khay trong suốt.

6. TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Alexandropoulos A, Al Jabbari Y.S, Zinelis S, Eliades T. Chemical and mechanical characteristics of contemporary thermoplastic orthodontic materials. *Aust Orthod J*, 2015, 31 (2): 165-170.
- [2] Lombardo L, Martines E, Mazzanti V, Arreghini A, Mollica F, Siciliani G. Stress relaxation properties of four orthodontic aligner materials: A 24-hour in vitro study. *Angle Orthod*, 2017, 87 (1): 11-18. doi: 10.2319/113015-813.1.
- [3] Elkholy F, Schmidt F, Jäger R, Lapatki B.G. Forces and moments delivered by thermoplastic aligners: a finite element study. *J Orofac Orthop*, 2015, 76 (6): 437-447. doi: 10.1007/s00056-015-0307-3.
- [4] Cobourne M.T, DiBiase A.T. Clinical effectiveness of clear aligner therapy in torque control: A systematic review. *J Orthod*, 2023, 50 (1): 45-56. doi: 10.1111/ocr.12353.
- [5] Ryokawa H, Miyazaki Y, Fujishima A, Miyazaki T, Maki K. The mechanical properties of dental thermoplastic materials in a simulated intraoral environment. *Orthod Waves*, 2006, 65 (2): 64-72. doi: 10.1016/j.odw.2006.03.003.
- [6] Simon M, Keilig L, Schwarze J, Jung B.A, Bourauel C. Treatment outcome and efficacy of an aligner technique - regarding incisor torque, premolar derotation and molar distalization. *BMC Oral Health*, 2014, 14: 68. doi: 10.1186/1472-6831-14-68.
- [7] Jindal P, Juneja M, Siena F.L, Breedon P. Mechanical and geometric properties of direct-printed orthodontic aligners. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2020, 158 (3): e1-e12. doi: 10.1016/j.ajodo.2019.05.012.

