

ĐÁNH GIÁ ĐỘ BỀN UỐN CỦA CÁC LOẠI PHỤC HÌNH KỸ THUẬT SỐ CHO RĂNG SỮA

Kiều Quốc Thoại¹, Nguyễn Ngọc Thuỳ Vân^{1,2} và Huỳnh Công Nhật Nam^{1,✉}

¹Đại học Y Dược TP. Hồ Chí Minh

²Trường Đại học Trà Vinh

Phục hồi răng cửa sữa đòi hỏi vật liệu có tính thẩm mỹ cao, chịu lực tốt và kỹ thuật chế tác ít xâm lấn. Công nghệ kỹ thuật số như CAD/CAM và in 3D đã mở ra nhiều khả năng ứng dụng trong phục hồi răng trẻ em. Nghiên cứu in vitro này được thực hiện nhằm đánh giá và so sánh độ bền uốn của bốn loại mẫu răng cửa sữa chế tác kỹ thuật số, bao gồm mẫu nhựa resin in 3D (RC), mẫu hybrid ceramic CAD/CAM (HC), mẫu nhựa PMMA CAD/CAM (PC) và mẫu zirconia CAD/CAM (ZC). Tổng cộng 20 mẫu (5 mẫu/nhóm) được thiết kế và chế tác kỹ thuật số dựa trên cùi răng cửa sữa hàm trên chuẩn bị sẵn. Độ bền uốn của mỗi mẫu được đo bằng thử nghiệm lực uốn trên máy thử cơ học vạn năng. Kết quả nghiên cứu cho thấy mẫu zirconia CAD/CAM có độ bền uốn cao nhất ($1507 \pm 632,9N$), vượt trội và có ý nghĩa thống kê ($p < 0,001$) so với tất cả các nhóm mẫu còn lại. Các mẫu RC, HC và PC không có sự khác biệt đáng kể về độ bền uốn. Kết quả cho thấy mẫu zirconia CAD/CAM có khả năng chịu lực uốn cao nhất, trong khi các mẫu nhựa vẫn đảm bảo yêu cầu về lực uốn cơ bản cho phục hồi răng cửa sữa.

Từ khoá: Độ bền uốn, Phục hình kỹ thuật số, Răng sữa, In 3D, CAD/CAM.

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Phục hồi răng cửa sữa đòi hỏi vật liệu phục hình đáp ứng nhiều tiêu chí về cơ học, độ bền và tính thẩm mỹ. Hiện nay, mẫu thép không gỉ làm sẵn (SSC) được xem là tiêu chuẩn vàng nhờ ưu điểm về độ bền cơ học, chi phí thấp và dễ sử dụng trên lâm sàng. Tuy nhiên, SSC hạn chế về thẩm mỹ do màu kim loại, chủ yếu được sử dụng cho răng cối sữa. Các kỹ thuật cải tiến như mẫu thép có mặt nhựa, mẫu thép mặt hồ hoặc mẫu khuôn nhựa cải thiện đáng kể yếu tố thẩm mỹ, nhưng vẫn tồn tại nhiều hạn chế như độ bền thấp, nguy cơ sâu răng thứ phát cao, dễ bám mảng bám, không ổn định màu sắc và thao tác lâm sàng phức tạp.^{1,2} Răng sữa không chỉ đóng vai trò trong ăn nhai mà còn giữ chức năng quan trọng trong phát âm, kích thích phát triển xương hàm, duy trì khoảng trống cho răng

vĩnh viễn và đảm bảo thẩm mỹ khuôn mặt. Do vậy, việc bảo tồn và phục hồi răng sữa hiệu quả đóng vai trò thiết yếu đối với sự phát triển thể chất và tâm lý của trẻ em.

Sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ kỹ thuật số (lấy dấu kỹ thuật số IOS, công nghệ CAD/CAM, in 3D) đã mang lại nhiều ưu điểm vượt trội trong phục hồi răng trẻ em. Các phục hình kỹ thuật số có khả năng chế tác nhanh chóng, chính xác, giảm số lần hẹn và thời gian điều trị, đồng thời hạn chế tối đa sự xâm lấn mô răng. Những nghiên cứu gần đây về đặc tính cơ học và quang học như độ bền kháng gãy, độ bền uốn, và độ ổn định màu sắc của các vật liệu phục hồi kỹ thuật số như composite CAD/CAM hay nhựa resin in 3D đã cho thấy nhiều ưu điểm rõ rệt, gợi mở khả năng ứng dụng rộng rãi trong phục hồi răng sữa. Đa số các nghiên cứu đánh giá độ bền kháng gãy. Tuy nhiên, dữ liệu so sánh trực tiếp về độ bền uốn giữa các vật liệu mới này hiện vẫn còn rất hạn chế. Do vậy, nghiên cứu này được tiến hành nhằm

Tác giả liên hệ: Huỳnh Công Nhật Nam

Đại Học Y Dược TP. Hồ Chí Minh

Email: namhuynh@ump.edu.vn

Ngày nhận: 26/04/2025

Ngày được chấp nhận: 14/05/2025

so sánh độ bền uốn của mào resin in 3D (RC), mào hybrid ceramic CAD/CAM (HC), mào PMMA CAD/CAM (PC) và mào zirconia CAD/CAM (ZC), từ đó cung cấp thêm cơ sở khoa học cho việc lựa chọn vật liệu phục hồi răng cửa sữa hiệu quả trên lâm sàng. Đây là các loại mào kỹ thuật số phổ biến trong phục hồi răng người lớn và bắt đầu được nghiên cứu, áp dụng phổ biến đối với trẻ em.^{3,4}

II. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP

1. Đối tượng

Thiết kế nghiên cứu

Đây là một nghiên cứu thực nghiệm *in-vitro* được thực hiện tại Khoa Răng Hàm Mặt, Đại học Y Dược TP. Hồ Chí Minh từ tháng 8/2024 đến tháng 4/2025. Các mẫu nghiên cứu bao gồm mào răng cửa sữa chế tác kỹ thuật số từ bốn vật liệu khác nhau, gồm:

- (1) mào nhựa resin in 3D (Seramco, Thụy Sĩ),
- (2) mào hybrid CAD/CAM (Shofu HC, Nhật Bản),
- (3) mào PMMA CAD/CAM (Adite, Trung Quốc) và
- (4) mào ceramic zirconia CAD/CAM (Adite, Trung Quốc).

Tổng số mào là 20 mẫu, chia đều thành bốn nhóm với năm mẫu mỗi nhóm ($n = 5$). Tất cả mào được thiết kế dựa trên cùi răng cửa sữa hàm trên tiêu chuẩn hóa, mô phỏng sát thực tế điều trị lâm sàng.

2. Phương pháp

Quy trình thiết kế cùi và mào răng

Một răng cửa sữa hàm trên (răng 51) được chọn và sửa soạn cùi theo tiêu chuẩn lâm sàng với đường hoàn tất bờ xuôi rộng từ 0,5 - 0,8mm, hạ thấp cạnh cắn 1mm, và độ mài tối đa thành bên là 1mm. Sau đó, cùi răng này được lấy dấu kỹ thuật số bằng máy quét 3Shape TRIOS3, dữ liệu thu được sử dụng để thiết kế mẫu cùi

chuẩn hóa trên phần mềm Exocad. Mẫu cùi kỹ thuật số này sau đó được in bằng máy in 3D SOL (Ackureta, Đà Loan) sử dụng nhựa resin curo (Ackureta, Đà Loan), có độ cứng Shore D 85 và độ bền uốn 90 MPa.

Quy trình in khuôn cùi răng được thực hiện như sau: File thiết kế cùi răng định dạng STL được nhập vào phần mềm Alpha AI để thiết lập thông số in phù hợp. Tiếp theo, khoảng 200ml nhựa resin curo được trộn đều và đổ vào khay chứa vật liệu của máy in 3D. Quá trình in được tiến hành tự động theo cài đặt đã thiết lập. Sau khi hoàn thành, mẫu cùi răng được làm sạch bằng máy CLEANI (Ackureta, Đà Loan) thông qua hai lần rửa liên tiếp, mỗi lần kéo dài 10 phút trong dung dịch cồn Isopropyl 99°. Cuối cùng, mẫu được quang trùng hợp hoàn toàn bằng thiết bị Curie với bước sóng 580nm trong thời gian 15 phút nhằm đảm bảo độ cứng tối ưu cho mẫu in.

Mào phục hình kỹ thuật số được thiết kế với độ dày tối thiểu là 1mm trên phần mềm Exocad dựa vào dữ liệu cùi đã quét. Sau khi hoàn thiện thiết kế, mào được chế tác bằng công nghệ in 3D (đối với resin) hoặc tiện kỹ thuật số CAD/CAM (đối với hybrid ceramic, PMMA và zirconia). Các mào sau khi chế tác đều được kiểm tra kỹ về độ chính xác và phù hợp với cùi trước khi thực hiện thử nghiệm đo độ bền uốn.

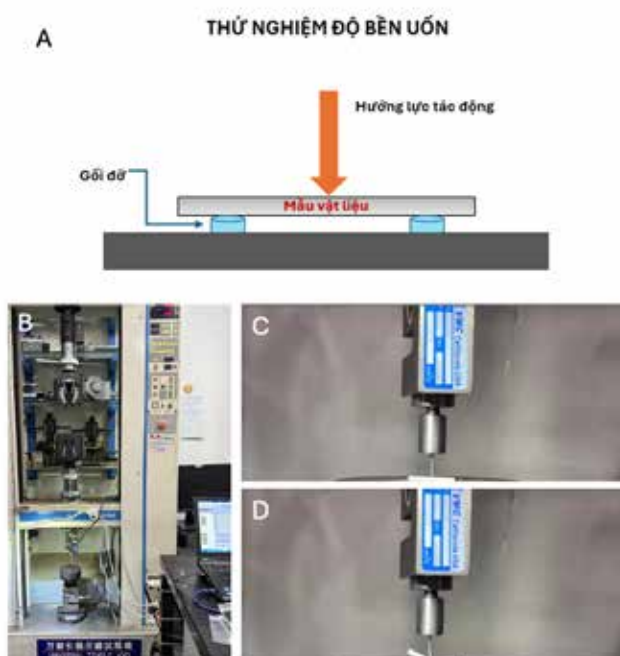
Quy trình đo độ bền uốn

Các mào sau khi chế tác được cắt thành các mẫu có kích thước 1x2x5mm bằng lưỡi cắt kim cương. Quy trình đo độ bền uốn được thực hiện trên máy thử lực cơ học (máy thử vạn năng TCM 50K-NB, công ty MinebeaMitsumi (NMB), Nhật Bản) theo quy trình tiêu chuẩn với cảm biến lực (Loadcell VMC California USA, Mỹ) và cảm biến đo chuyển vị đầu thu SCXI (Hình 1) với tem hiệu chuẩn iLAS24 - 0299/1. Hướng tác động lực được điều chỉnh vuông góc với mẫu, mô phỏng lực uốn từ phía bên.

Đầu ép dạng trụ thép được đặt tiếp xúc vào bề mặt của mẫu thử và di chuyển với tốc độ không đổi 1 mm/phút cho đến khi mẫu bị gãy vỡ. Lực tối đa tại thời điểm gãy được ghi nhận (đơn vị: N Newton) làm giá trị độ bền uốn và chuyển vị tương ứng- mẫu bị biến dạng trước khi chuyển từ tình trạng nguyên vẹn sang bị phá hủy (đơn vị mm). Toàn bộ phép đo được tiến hành tại Trung tâm Kiểm định Vật liệu & Kết cấu Công trình LAS-XD58.037 (Công ty CP Nghiên cứu Kỹ thuật và Ứng dụng Công nghệ Xây dựng Bách Khoa).

Phân tích thống kê

Dữ liệu thu được được trình bày dưới dạng giá trị trung bình $\pm$ độ lệch chuẩn (SD). So sánh giá trị giữa các nhóm vật liệu được thực hiện bằng phép phân tích phương sai một chiều (one-way ANOVA), tiếp theo là phép kiểm hậu kiểm Tukey để đánh giá sự khác biệt giữa các cặp nhóm vật liệu với nhau. Giá trị p nhỏ hơn 0,05 được xem là có ý nghĩa thống kê. Tất cả các phân tích thống kê được tiến hành sử dụng phần mềm GraphPad Prism phiên bản 10.2.



Hình 1. Quy trình đánh giá độ bền uốn. A Sơ đồ đánh giá độ bền uốn. B Máy thử lực. C Mẫu vật trước thời điểm gãy. D Mẫu vật khi chịu tải lực lớn nhất và gãy

III. KẾT QUẢ

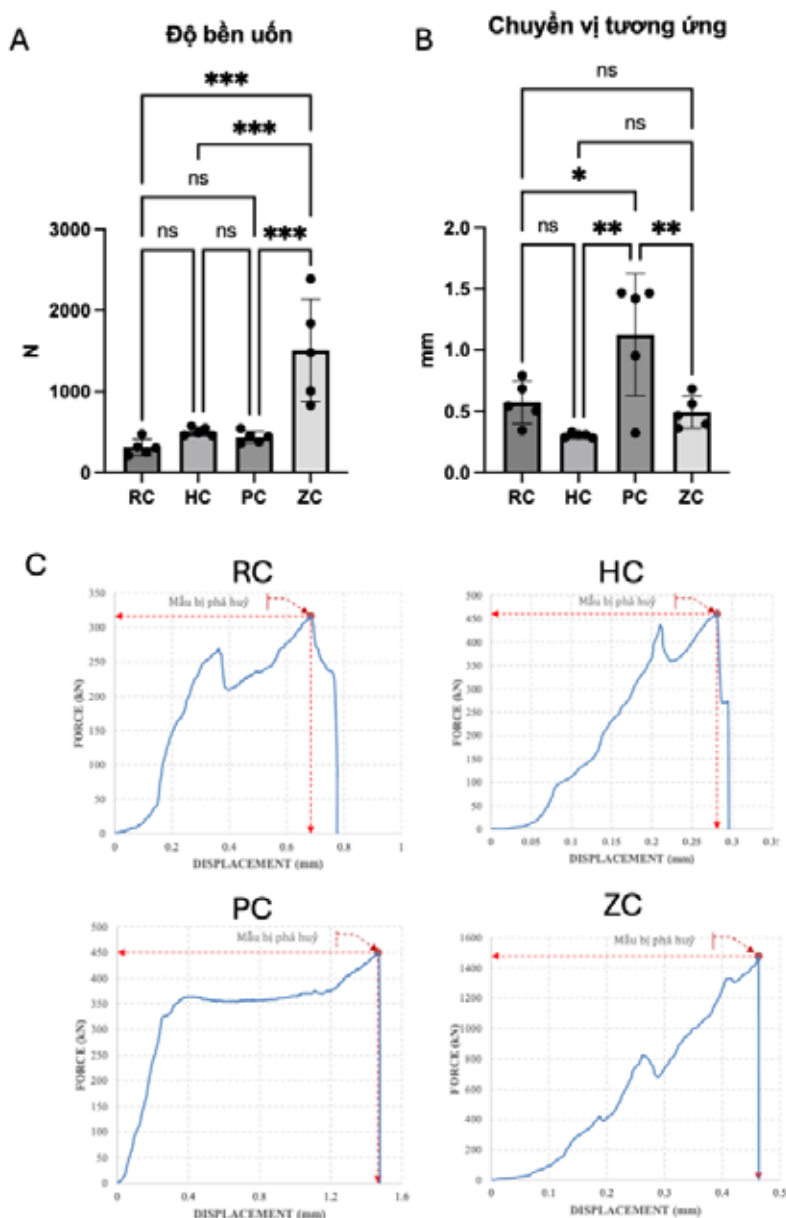
Mão Zirconia CAD/CAM có độ bền uốn vượt trội so với các mẫu có thành phần nhựa

Kết quả cho thấy độ bền uốn của mẫu resin in 3D, mẫu hybrid ceramic CAD/CAM, mẫu PMMA CAD/CAM và mẫu zirconia CAD/CAM lần lượt là $312,2 \pm 99,96\text{N}$; $506,4 \pm 52,03\text{N}$; $434,2 \pm 73,54\text{N}$ và $1507 \pm 632,9\text{N}$. Mặc dù, mẫu

resin in 3D có độ bền uốn thấp nhất, tiếp theo là mẫu PMMA CAD/CAM và hybrid ceramic CAD/CAM, tuy nhiên không có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê. Mẫu zirconia CAD/CAM có độ bền uốn cao vượt trội, gấp 3-4 lần so với các loại vật liệu còn lại (hình 2A).

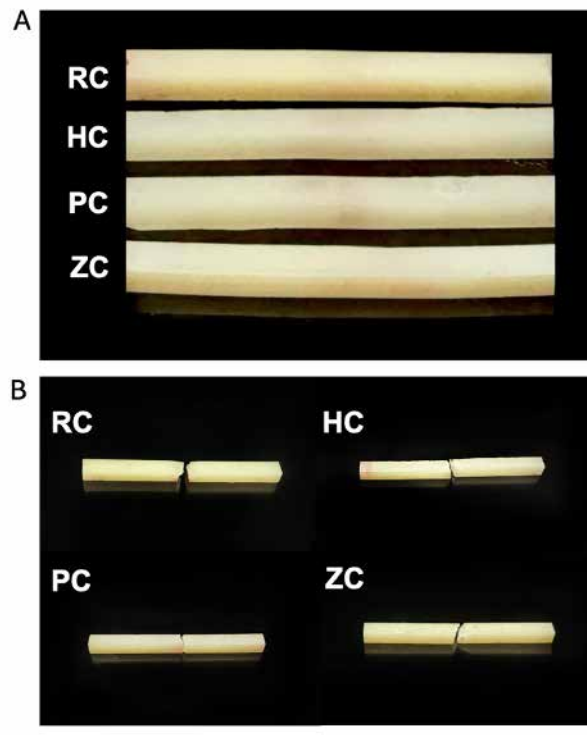
Xét về chuyển vị tương ứng khi các vật liệu bắt đầu bị phá hủy, 4 loại vật liệu RC, HC PC và ZC có giá trị lần lượt là $0,5724 \pm 0,725\text{mm}$; $0,3030 \pm 0,01984\text{mm}$; $1,125 \pm 0,4983\text{mm}$ và

$0,4924 \pm 0,1308\text{mm}$. Trong đó, PMMA (PC) cao nhất và khác biệt có ý nghĩa thống kê so với các mẫu còn lại cho thấy vật liệu có độ đàn hồi cao nhất (hình 2B).



Hình 2. Mão zirconia CAD/CAM có độ bền uốn vượt trội so với các loại vật liệu còn lại
 Mão resin in 3D (RC), mão hybrid ceramic CAD/CAM (HC), mão PMMA CAD/CAM (PC) và
 mão zirconia CAD/CAM (ZC). A Độ bền uốn (tải trọng lớn nhất). B Chuyển vị tương ứng.

C Đồ thị biểu diễn mô hình gãy vỡ của 4 loại vật liệu dưới tác dụng lực
 (N: Newton; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns: không có ý nghĩa thống kê)



Hình 3. A Tình trạng ban đầu và B Hình thái gãy vỡ của vật liệu resin in 3D (RC), mao hybrid ceramic CAD/CAM (HC), mao PMMA CAD/CAM (PC) và mao zirconia CAD/CAM (ZC)

Hình thái gãy vỡ

Hình thái và quá trình gãy vỡ của vật liệu được thể hiện trong hình 2C và hình 3.

Mao resin in 3D (RC): Quan sát cho thấy các nhựa in 3D thường nứt vỡ tách thành 2 mảnh lớn, đường nứt không liên tục có dấu hiệu bề không thẳng đều, tạo nhiều mảnh vụn nhỏ. Mô hình lực cho thấy có 2 đỉnh lực chứng tỏ độ biến dạng của vật liệu nhựa.

Mao hybrid ceramic CAD/CAM (HC): Các mao sứ lai có xu hướng gãy vỡ tương tự nhóm RC, với vết nứt lớn chia tách thân vật liệu. Mặc dù là vật liệu có tăng cường hạt sứ, đa số nhóm HC sau thử nghiệm cũng tách thành hai mảnh chính, mép gãy sắc cạnh hơn so với mao nhựa do tính giòn cao hơn. Mô hình lực cho thấy có 2 đỉnh lực gần nhau chứng tỏ khả năng đàn hồi thấp hơn so với nhóm RC.

Mao PMMA CAD/CAM (PC): Hình thái gãy vỡ của nhóm PMMA tương tự mao nhựa in 3D. Mao PC chủ yếu nứt vỡ thành hai phần lớn, đường gãy gồ ghề. Bề mặt gãy cho thấy dấu hiệu dẻo nhẹ trước khi đứt gãy, thể hiện đặc tính đàn hồi cao. Chuyển vị tương ứng rất cao và mô hình lực với vùng chịu lực có khoảng chuyển vị rộng cho thấy vật liệu có tính đàn hồi cao và mềm trước khi bị phá hủy.

Mao zirconia CAD/CAM (ZC): Khác với các nhóm trên, các nhóm zirconia biểu hiện kiểu gãy giòn hoàn toàn. Tất cả mẫu ZC đều vỡ rời với mảnh vỡ sắc nhọn. Một số mẫu ZC bị nứt vỡ thành mảnh lớn tương tự các nhóm khác, trong khi nhiều mẫu khác gãy vụn thành nhiều mảnh nhỏ hơn. Sự khác biệt về kiểu gãy này tương ứng với độ phân tán kết quả độ bền uốn lớn trong nhóm ZC. Mô hình lực với 1 đỉnh lực cao cuối cùng cho thấy vật liệu có độ cứng cao, đàn hồi thấp.

IV. BÀN LUẬN

Trong quá trình phục hình hoạt động chức năng, mào răng sữa chịu cả lực nén thẳng đứng từ phía cắn (độ kháng gãy) lẫn lực uốn từ phía bên (độ bền uốn). Nghiên cứu này tập trung đánh giá độ bền uốn – tức khả năng chịu lực theo phương ngang của mào răng. Nghiên cứu chỉ tập trung vào các loại vật liệu cho phục hồi mào theo quy trình chế tác kỹ thuật số. Kết quả thu được cho thấy mào zirconia CAD/CAM có độ bền uốn vượt trội so với các vật liệu nền nhựa. Sự khác biệt này phù hợp với đặc tính cơ học ưu việt của zirconia: vật liệu gốm này có độ bền uốn và độ cứng cao hơn hẳn so với polymer.⁵ Trong nghiên cứu này, giá trị $\sim 1507\text{N}$ của nhóm mào zirconia CAD/CAM nằm trong giới hạn trên của các nghiên cứu trước, khẳng định zirconia có độ bền uốn vượt xa yêu cầu lực nhai của trẻ em. Tuy nhiên, cũng cần lưu ý rằng độ lệch chuẩn của nhóm ZC khá lớn, phản ánh sự không đồng nhất về cách thức gãy vỡ của các mẫu zirconia. Một số mẫu ZC có thể xuất hiện vết nứt vi mô và gãy ở mức tải thấp hơn so với các mẫu khác (vốn chịu lực cao mới vỡ hoàn toàn). Hình thái gãy vỡ quan sát cho thấy mào ZC thường gãy vụn nhiều mảnh hơn, trong khi các mào nền nhựa có xu hướng nứt tách thành mảnh lớn – điều này có thể lý giải tại sao giá trị chịu lực của nhóm ZC phân tán rộng. Ngược lại với zirconia, các vật liệu gốc nhựa (RC, PC) và vật liệu sứ lai (HC) có độ bền uốn thấp hơn đáng kể. Điều bất ngờ là mào hybrid ceramic (HC) – dù vật liệu khối có độ bền uốn khoảng 150 - 200MPa, cao hơn nhiều so với resin in 3D ($\sim 90\text{MPa}$) hoặc PMMA – lại không thể hiện rõ ưu thế về khả năng chịu lực so với các mào nhựa (theo công bố của nhà sản xuất tại shofu.com). Ở độ dày 1 mm của mẫu thử, cả ba nhóm RC, PC, HC đều cho giá trị tải gãy quanh mức 300 - 500N và không khác biệt thống kê. Nguyên nhân có thể do giới hạn độ

dày khiến vật liệu cứng hơn (HC) không phát huy toàn bộ khả năng, đồng thời cả ba loại đều thuộc hệ thống nhựa polymer nên đặc tính gãy vỡ tương đồng. Kết quả này gợi ý rằng trong thực hành, các mào nhựa in 3D, PMMA hay sứ lai đều có khả năng chống chịu lực uốn tương đương nhau khi được thiết kế đủ độ dày.

Ngoài đánh giá độ bền uốn dựa trên giá trị lực tác động tối đa gây phá hủy vật liệu, nghiên cứu này còn ghi nhận chuyển vị tương ứng – tức độ sâu mà đầu tác động của máy thử lực di chuyển vào mẫu mào tại thời điểm vật liệu bị phá hủy. Chuyển vị tương ứng phản ánh đặc tính biến dạng đàn hồi hoặc dẻo của vật liệu trước khi đạt đến ngưỡng chịu lực tối đa và bắt đầu gãy vỡ. Kết quả cho thấy mào PMMA CAD/CAM (PC) có chuyển vị tương ứng lớn nhất ($1,125 \pm 0,4983\text{mm}$), vượt trội đáng kể so với các nhóm mào còn lại. Giá trị chuyển vị lớn này chứng tỏ vật liệu PMMA có đặc tính đàn hồi và dẻo cao, cho phép vật liệu biến dạng nhiều hơn trước khi gãy vỡ hoàn toàn. Đặc tính này có lợi trong phục hồi răng cửa sữa, giúp vật liệu hấp thụ một phần lực tác động trong quá trình ăn nhai hoặc va chạm, giảm thiểu nguy cơ gãy vỡ đột ngột và tổn thương mô mềm kế cận. Trong khi đó, mào hybrid ceramic CAD/CAM (HC), mào zirconia CAD/CAM (ZC) và mào resin in 3D (RC) có chuyển vị tương ứng ở mức trung bình. Kết hợp với lực tối đa của độ bền uốn cho thấy mào zirconia CAD/CAM (ZC) có độ cứng và độ giòn cao, ít chịu biến dạng trước khi phá hủy. Điều này có thể là hạn chế khi chịu tác động lực đột ngột, dễ dẫn đến các vết nứt nhỏ hoặc mẻ cạnh mào trong điều kiện sử dụng lâm sàng.

Về ý nghĩa lâm sàng, tất cả các loại mào kỹ thuật số được thử nghiệm đều có độ bền uốn vượt quá lực nhai thông thường của trẻ nhỏ. Nghiên cứu của Abushanan et al. (2022) kết luận rằng ngay cả mào zirconia làm sẵn có lực

gãy thấp nhất (~ 339N) cũng đủ chịu được lực ăn nhai của trẻ em.⁶ Tương tự, Aktas và cộng sự (2024) xác định các mão nhựa in 3D khi gắn bằng xi măng phù hợp hoàn toàn có thể chịu được lực nhai ở trẻ em.⁷ Angelis (2024) nghiên cứu độ bền uốn trên nhiều loại và thương hiệu mão nhựa in 3D và CAD/CAM PMMA cho thấy độ bền uốn có giá trị 100-200 Mpa.⁸ Phân tích tổng hợp cho thấy mão nhựa in 3D có độ bền uốn tương đương hoặc thấp hơn mão nhựa tiện CAD/CAM.⁹ Do đó, trong nghiên cứu của chúng tôi, dù nhóm mão nhựa (RC, PC) có giá trị tuyệt đối thấp hơn zirconia, chúng vẫn nằm trên ngưỡng lực nhai sinh lý (khoảng 78 - 182N đối với trẻ 6 - 10 tuổi) và được đánh giá là đủ bền cho sử dụng lâm sàng.¹⁰ Nhìn chung, mão nhựa in 3D và mão PMMA CAD/CAM là các lựa chọn kinh tế, dễ thực hiện, đặc biệt phù hợp cho răng sữa do thời gian lưu giữ trên cung răng không dài. Trong khi đó, mão sứ lai CAD/CAM và đặc biệt là mão zirconia CAD/CAM tuy chi phí cao hơn nhưng có ưu thế về thẩm mỹ và độ bền, thích hợp khi phụ huynh có yêu cầu phục hồi chất lượng cao hoặc trường hợp đòi hỏi khả năng chịu lực tốt (ví dụ trẻ nghiến răng, chấn thương). Mão nhựa in 3D cho răng sữa (đặc biệt in bằng công nghệ DLP) khi gắn bằng xi măng resin có sức bền đủ đáp ứng chức năng nhai cho đến khi răng sữa rụng tự nhiên, do đó các mão nền polymer (nhựa in 3D, PMMA) hoàn toàn có thể sử dụng làm giải pháp phục hình lâu dài cho răng cửa sữa.⁷

Một lợi điểm khác của phục hình kỹ thuật số là rút ngắn thời gian điều trị và giảm số lần hẹn, từ đó tăng khả năng hợp tác của trẻ. Với quy trình CAD/CAM tại chỗ, mão nhựa in 3D và mão zirconia CAD/CAM (sau khi nung sứ) có thể hoàn tất trong một buổi hẹn nếu phòng khám trang bị máy in 3D, máy tiện và lò nung thích hợp. Mão PMMA CAD/CAM thường được thực hiện tại labo nhưng cũng có thể hoàn thành trong ngày nhờ máy tiện nhanh.

Tuỳ điều kiện trang thiết bị và kinh phí, bác sĩ có thể linh hoạt lựa chọn loại mão kỹ thuật số phù hợp, vừa đảm bảo hiệu quả phục hình vừa đáp ứng yêu cầu thẩm mỹ và độ bền cho từng trường hợp.

V. KẾT LUẬN

Trong điều kiện nghiên cứu *in vitro*, mão zirconia CAD/CAM cho rằng cửa sữa thể hiện độ bền uốn cao vượt trội so với các loại mão kỹ thuật số khác, phản ánh khả năng chịu lực rất tốt của vật liệu. Tuy nhiên, các mão polymer kỹ thuật số (nhựa in 3D, PMMA) và mão sứ lai CAD/CAM tuy có độ bền uốn thấp hơn nhưng vẫn nằm trong giới hạn an toàn để có thể sử dụng, đủ bền để duy trì trên răng sữa cho đến khi trẻ thay răng. Việc lựa chọn loại mão phục hình kỹ thuật số nên cân nhắc cân bằng giữa yêu cầu thẩm mỹ, độ bền mong muốn và điều kiện thực tế (trang thiết bị, chi phí) của từng trường hợp. Nghiên cứu này góp phần khẳng định tiềm năng ứng dụng các công nghệ CAD/CAM và in 3D trong phục hình răng sữa, mở ra hướng tiếp cận mới giúp cải thiện chất lượng điều trị nha khoa trẻ em.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu được tài trợ một phần kinh phí bởi ĐH. Y Dược TP. Hồ Chí Minh, theo hợp đồng số 151/2024/HĐ-ĐHYD, ngày 17/04/2024).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Holsinger DM, Wells MH, Scarbecz M, Donaldson M. Clinical evaluation and parental satisfaction with pediatric zirconia anterior crowns. *Pediatric dentistry*. 2016; 38(3): 192-197.
2. Clark L, Wells MH, Harris EF, Lou J. Comparison of Amount of Primary Tooth Reduction Required for Anterior and Posterior Zirconia and Stainless Steel Crowns. *Pediatr Dent*. Jan-Feb 2016; 38(1): 42-6.

3. Gill A, Garcia M, Won An S, Scott J, Seminario AL. Clinical comparison of three esthetic full-coverage restorations in primary maxillary incisors at 12 months. *Pediatric dentistry*. 2020; 42(5): 367-372.
4. Vaghela LL, Patel MC, Bhatt RK, Patel CN, Joshi KR. Clinical performance and parental satisfaction with composite strip crown and prefabricated zirconia crown for primary anterior teeth: a randomized clinical trial. *J Contemp Dent Pract*. 2021; 22(12): 1462-70.
5. Kist S, Stawarczyk B, Kollmuss M, Hickel R, Huth KC. Fracture load and chewing simulation of zirconia and stainless-steel crowns for primary molars. *European journal of oral sciences*. Aug 2019; 127(4): 369-375. doi:10.1111/eos.12645.
6. Abushanan A, Sharanesha RB, Aljuaid B, Alfaifi T, Aldurayhim A. Fracture Resistance of Primary Zirconia Crowns: An In Vitro Study. *Children (Basel)*. Jan 5 2022; 9(1)doi:10.3390/children9010077.
7. Aktas N, Bankoglu Güngör M. Effects of 3D-Printing Technology and Cement Type on the Fracture Resistance of Permanent Resin Crowns for Primary Teeth. *Int J Prosthodont*. 2024; 37(7): 195-202. doi:10.11607/ijp.8927.
8. De Angelis F, D'Amario M, Jahjah A, et al. Flexural Properties of Three Novel 3D-Printed Dental Resins Compared to Other Resin-Based Restorative Materials. *Prosthesis*. 2024; 6(3): 619-630.
9. Saini RS, Gurumurthy V, Quadri SA, et al. The flexural strength of 3D-printed provisional restorations fabricated with different resins: a systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health*. Jan 10 2024; 24(1): 66. doi:10.1186/s12903-023-03826-x.
10. Bani-Hani T, Al-Fodeh RS, Al-Wahadni AM, Abu-Alhaija ES, Al-Hakam M. An In-Vitro Investigation into the Fracture Resistance of Prefabricated and Custom-Made Zirconia Crowns for Permanent Molars in Children. *Dentistry Journal*. 2025; 13(2): 64.

Summary

EVALUATION OF FLEXURAL STRENGTH OF DIGITAL RESTORATIONS FOR PRIMARY TEETH

Restoration of primary anterior teeth requires materials with high aesthetics, good mechanical properties, and minimally invasive fabrication techniques. Digital technologies such as CAD/CAM and 3D printing have opened up numerous applications in pediatric dental restorations. This in vitro study was conducted to evaluate and compare the flexural strength of four types of digitally fabricated primary anterior crowns: 3D-printed resin crowns (RC), CAD/CAM hybrid ceramic crowns (HC), CAD/CAM PMMA crowns (PC), and CAD/CAM zirconia crowns (ZC). A total of 20 crowns (5 crowns/group) were designed and digitally fabricated based on a standardized prepared primary maxillary incisor. The flexural strength of each crown was measured using a flexural force test on a universal mechanical testing machine. The results showed that CAD/CAM zirconia crowns had the highest flexural strength ($1507 \pm 632.9\text{N}$), which was significantly superior ($p < 0.001$) to all other crown groups. RC, HC, and PC crowns showed no significant difference in flexural strength. Resin crowns still met the basic flexural strength requirements for restoring primary anterior teeth.

Keywords: Flexible Strength, Digital restoration, Primary teeth, 3D printing, CAD/CAM.