

TỔNG QUAN CÁC PHƯƠNG PHÁP CHẾ TÁC PHỤC HÌNH THÁO LẮP KHUNG BỘ TRONG NHA KHOA HIỆN ĐẠI

Nguyễn Hoàng Tường Vy, Nguyễn Liên Thuận Phát
và Phạm Nguyễn Quân✉

Trường Đại học Quốc tế Hồng Bàng

Chất lượng phục hình tháo lắp khung bộ phụ thuộc chủ yếu vào độ chính xác của quy trình chế tác khung kim loại. Gần đây, các phương pháp chế tác đã chuyển dịch từ kỹ thuật đúc truyền thống sang các công nghệ kỹ thuật số như CAD/CAM, in 3D kim loại và các quy trình kết hợp. Bài tổng quan này nhằm hệ thống hóa các phương pháp chế tác khung bộ hiện nay, đồng thời phân tích cơ chế, ưu điểm, hạn chế và xu hướng phát triển dựa trên các nghiên cứu quốc tế. Kết quả cho thấy các phương pháp kỹ thuật số có thể đạt độ khít sát tương đương hoặc vượt trội so với đúc truyền thống, đồng thời giảm sai số và tăng khả năng tái lập. Tuy nhiên, chi phí và yêu cầu kỹ thuật vẫn là rào cản trong triển khai rộng rãi.

Từ khoá: Phục hình tháo lắp khung bộ, đúc kim loại, CAD/CAM, SLM, in 3D.

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Khung kim loại là thành phần cốt lõi của phục hình tháo lắp từng phần, đóng vai trò quyết định đến sự ổn định, khả năng phân bố lực nhai và độ bền lâu dài của phục hình trong môi trường miệng.^{1,2} Độ khít sát của khung bộ được xem là yếu tố then chốt, và yếu tố này phụ thuộc trực tiếp vào phương pháp chế tác được áp dụng.³ Trong suốt nhiều thập kỷ, kỹ thuật đúc kim loại theo nguyên lý mất sáp ("lost-wax casting") được xem là tiêu chuẩn vàng trong chế tác khung bộ.^{4,5} Sự phát triển mạnh mẽ của nha khoa kỹ thuật số trong những năm gần đây đã mở ra các hướng tiếp cận mới trong chế tác phục hình tháo lắp khung bộ. Các công nghệ như thiết kế có hỗ trợ máy tính (CAD), gia công có hỗ trợ máy tính (CAM), và các phương pháp sản xuất bồi đắp (additive manufacturing) cho phép kiểm soát tốt hơn hình học của khung, giảm số lượng bước trung gian và tăng khả năng tái lập giữa các sản phẩm.^{6,9}

Nhờ đó, độ khít sát và tính đồng nhất của phục hình có thể được cải thiện so với phương pháp truyền thống.¹⁰ Dựa trên nguyên lý sản xuất và mức độ số hóa, các phương pháp chế tác khung bộ hiện nay có thể được chia thành ba nhóm chính: (1) đúc truyền thống, quy trình kỹ thuật số hoàn toàn, qui trình lai ghép.

Nhóm đúc truyền thống sử dụng kỹ thuật mất sáp: nhóm kỹ thuật số bao gồm CAD/CAM và in 3D kim loại trực tiếp (Selective Laser Melting - SLM), Trong khi quy trình lai ghép kết hợp thiết kế số với các bước truyền thống hay in 3D gián tiếp (Rapid Prototyping Casting - RPC). Việc tổng hợp và phân tích các bằng chứng hiện có là cần thiết nhằm định hướng ứng dụng phù hợp trong thực hành. Mặc dù nhiều công nghệ chế tác khung bộ đã được phát triển trong những năm gần đây, các bằng chứng hiện có vẫn còn phân tán và chưa có nhiều tổng quan tập trung so sánh trực tiếp các phương pháp dưới góc độ độ chính xác, tính tái lập, hiệu quả kinh tế và khả năng ứng dụng lâm sàng. Do đó, bài tổng quan này được thực hiện nhằm so sánh và phân tích các bằng chứng hiện có về độ chính xác, tính tái lập, hiệu quả

Tác giả liên hệ: Phạm Nguyễn Quân
Trường Đại học Quốc tế Hồng Bàng
Email: phamnguyenquan1991@gmail.com
Ngày nhận: 17/04/2026
Ngày được chấp nhận: 01/07/2026

kinh tế và khả năng ứng dụng lâm sàng của các phương pháp chế tác khung bộ trong nha khoa hiện đại. Từ đó, cung cấp cơ sở khoa học để định hướng lựa chọn phương pháp phù hợp trong thực hành lâm sàng.

II. NỘI DUNG TỔNG QUAN

1. Phương pháp

Bài viết được thực hiện dưới dạng tổng quan không hệ thống (narrative review) nhằm tổng hợp các bằng chứng hiện có về các phương pháp chế tác khung bộ trên các cơ sở dữ liệu PubMed, Scopus, Google Scholar và ScienceDirect.

Quá trình tìm kiếm y văn được thực hiện trên các cơ sở dữ liệu PubMed, Scopus và Google Scholar trong giai đoạn từ năm 2000 đến năm 2025. Chiến lược tìm kiếm sử dụng chuỗi các từ khóa được sử dụng bao gồm: “removable partial denture”, “RPD framework”, “CAD/CAM”, “digital dentistry”, “selective laser melting”, “additive manufacturing”, “rapid prototyping”, “3D printing”, “casting technique” và các tổ hợp từ khóa liên quan.

Các nghiên cứu được lựa chọn dựa trên mức độ liên quan về lâm sàng và kỹ thuật, tập trung vào độ khít sát, tính chất cơ học và quy trình chế tác. Quá trình sàng lọc sơ bộ bao gồm rà soát tiêu đề và tóm tắt để loại bỏ các bài báo không phù hợp (ví dụ: các ứng dụng ngoài lĩnh vực nha khoa, các bài tổng quan chung thiếu phân tích kỹ thuật, hoặc các báo cáo ca lâm sàng thiếu dữ liệu so sánh). Sau quá trình này, 13 nghiên cứu đã được chọn để phân tích chuyên sâu nhằm tổng hợp các bằng chứng hiện tại và đưa ra góc nhìn phân biện về khả năng ứng dụng lâm sàng của các phương pháp chế tác này.

Tiêu chí lựa chọn bao gồm các nghiên cứu đánh giá độ chính xác, tính tái lập, đặc tính kỹ thuật hoặc khả năng ứng dụng lâm sàng của

các phương pháp chế tác khung bộ bằng đúc truyền thống, CAD/CAM, sản xuất bồi đắp kim loại (SLM/SLS), rapid prototyping hoặc các quy trình lai ghép. Các bài tổng quan hệ thống, phân tích gộp, nghiên cứu thực nghiệm và nghiên cứu so sánh trực tiếp giữa các phương pháp được ưu tiên lựa chọn. Các báo cáo ca lâm sàng đơn lẻ, thư gửi ban biên tập, tóm tắt hội nghị hoặc các nghiên cứu không liên quan trực tiếp đến khung bộ được loại trừ. Do tính không đồng nhất về thiết kế nghiên cứu, phương pháp đo lường và đơn vị báo cáo giữa các nghiên cứu được lựa chọn, phân tích định lượng tổng hợp không được thực hiện. Thay vào đó, dữ liệu được xử lý theo phương pháp tổng hợp định tính.

2. Kết quả

Sau quá trình sàng lọc, 13 nghiên cứu đáp ứng đầy đủ tiêu chí lựa chọn và được đưa vào phân tích. Các tài liệu được lựa chọn đều tập trung trực tiếp vào việc đánh giá chất lượng chế tác khung bộ và bao gồm nhiều nghiên cứu so sánh giữa các công nghệ khác nhau. Bên cạnh đó, các tổng quan hệ thống và phân tích gộp được ưu tiên lựa chọn nhằm nâng cao độ tin cậy của các nhận định được đưa ra. Các phương pháp chế tác khung bộ được ghi nhận trong các nghiên cứu bao gồm:

- Phương pháp đúc kim loại.
- Phương pháp CAD/CAM.
- Phương pháp in 3D kim loại trực tiếp.
- Phương pháp in 3D gián tiếp.
- Phương pháp kết hợp.

Trong 13 nghiên cứu được lựa chọn, có 6 tổng quan hệ thống hoặc phân tích gộp, 5 nghiên cứu thực nghiệm trong điều kiện labo và 2 bài tổng quan kỹ thuật. Điều này cho thấy bằng chứng hiện có chủ yếu tập trung vào đánh giá kỹ thuật và độ chính xác chế tác hơn là các kết quả lâm sàng dài hạn.^{17,22}

1. So sánh độ khít sát giữa các phương pháp chế tác

Độ khít sát (fit accuracy) là tiêu chí quan trọng để đánh giá chất lượng khung bộ vì ảnh hưởng trực tiếp đến độ ổn định của phục hình, khả năng phân bố lực và tiên lượng lâu dài. Các nghiên cứu được tổng hợp cho thấy các quy trình kỹ thuật số có xu hướng đạt độ khít sát cao hơn hoặc tương đương với phương pháp đúc truyền thống.^{5,13,17,18}

Phân tích gộp của Mai và cộng sự cho thấy khung phục hình chế tác bằng CAD/CAM đạt độ khít sát tương đương so với quy trình đúc mất sáp truyền thống ở nhiều vị trí đánh giá khác nhau.⁵ Kết quả này cũng được ghi nhận trong các tổng quan hệ thống của Ahmed và cộng sự cũng như Pereira và cộng sự, trong đó các quy trình CAD/CAM và rapid prototyping cho thấy khả năng tạo ra khung RPD có độ khít sát và độ thích hợp chấp nhận được trong lâm sàng trong khoảng sai lệch trung bình 50 - 311 μm .^{13,17}

Đối với công nghệ sản xuất bồi đắp kim loại, Oh và cộng sự ghi nhận sai lệch trung bình của khung SLM khoảng $241,02 \pm 14,03 \mu\text{m}$ và thường thấp hơn hoặc tương đương với khung đúc truyền thống.¹⁴ Các nghiên cứu tổng quan gần đây cũng cho thấy các quy trình in 3D kim loại có xu hướng đạt độ khít sát tương đương hoặc thuận lợi hơn trong một số điều kiện đánh giá tại các vùng tựa và thanh nối chính.^{15,19}

Riêng đối với vật liệu PEEK, Zhao và cộng sự báo cáo sai lệch trung bình khoảng $42,8 \pm 29,4 \mu\text{m}$ khi chế tác bằng CAD/CAM, cho thấy tiềm năng của các vật liệu polymer hiệu năng cao trong phục hình tháo lắp.¹⁶

Mặc dù vậy, các nghiên cứu sử dụng nhiều phương pháp đánh giá khác nhau như silicone replica, đo lát cắt và chồng hình ảnh kỹ thuật số, dẫn đến sự khác biệt đáng kể giữa các giá trị được báo cáo.^{15,19}

2. So sánh tính tái lập giữa các phương pháp chế tác

Tính tái lập là khả năng tạo ra các sản phẩm có chất lượng tương đồng khi áp dụng cùng một quy trình sản xuất. Các bằng chứng hiện có cho thấy các quy trình kỹ thuật số có tính tái lập cao hơn so với quy trình đúc truyền thống.^{5,13,18}

Trong quy trình đúc mất sáp, sản phẩm cuối cùng chịu ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố như chất lượng mẫu sáp, vật liệu đúc, điều kiện xử lý nhiệt và tay nghề kỹ thuật viên. Các sai số phát sinh ở từng công đoạn có thể tích lũy và làm gia tăng sự biến thiên giữa các sản phẩm.⁴

Ngược lại, CAD/CAM và SLM sử dụng dữ liệu thiết kế số hóa làm cơ sở cho toàn bộ quá trình chế tác, giúp giảm thiểu sai số chủ quan và nâng cao tính chuẩn hóa. Các tổng quan hệ thống hiện nay đều ghi nhận khả năng tái lập cao hơn của các quy trình số hóa so với đúc truyền thống.^{5,17,18}

Trong số các công nghệ hiện nay, SLM được đánh giá có tính tái lập cao nhờ toàn bộ quá trình sản xuất được kiểm soát bằng dữ liệu số và hạn chế tối đa sự can thiệp thủ công.^{10,14} Đối với RPC, tính tái lập được cải thiện nhờ số hóa giai đoạn thiết kế và tạo mẫu, tuy nhiên vẫn chịu ảnh hưởng của các bước đúc kim loại sau cùng.^{9,14,21} Các tổng quan hệ thống của Pereira và cộng sự cùng với Pordeus và cộng sự ghi nhận rằng các quy trình kỹ thuật số cho thấy độ biến thiên giữa các lần chế tác thấp hơn so với đúc truyền thống nhờ vào khả năng chuẩn hóa quy trình sản xuất tốt hơn, trong khi phương pháp đúc truyền thống ghi nhận mức dao động lớn hơn do ảnh hưởng của các công đoạn tạo mẫu sáp và vô khuôn.^{17,18}

3. So sánh hiệu quả kinh tế giữa các phương pháp chế tác

Hiệu quả kinh tế là yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến khả năng triển khai của từng phương pháp trong thực hành nha khoa. Các

nguyên cứu đều cho thấy chi phí đầu tư tăng dần từ đúc truyền thống đến CAD/CAM và sản xuất bồi đắp kim loại.^{9,10,21}

Phương pháp đúc truyền thống vẫn là lựa chọn có chi phí đầu tư thấp nhất nhờ hệ thống trang thiết bị đơn giản và phổ biến.^{1,4} Tuy nhiên, quy trình này đòi hỏi nhiều thao tác thủ công và thời gian chế tác tương đối dài. Các hệ thống CAD/CAM yêu cầu đầu tư cho máy quét, phần mềm thiết kế, máy phay và vật liệu gia công.^{7,17,18} Ngoài ra, nguyên lý trừ vật liệu làm gia tăng lượng vật liệu bị loại bỏ trong quá trình chế tác.¹⁰

Đối với SLM, chi phí đầu tư ban đầu lớn hơn đáng kể do yêu cầu hệ thống in kim loại chuyên dụng, vật liệu bột hợp kim và quy trình bảo trì phức tạp.¹⁰ Trong khi đó, RPC được xem là giải pháp trung gian giúp tận dụng hệ thống đúc kim loại hiện có nhưng vẫn cho phép ứng dụng các lợi ích của thiết kế số hóa.^{9,21} Hiện nay chưa có nhiều nghiên cứu đánh giá trực tiếp hiệu quả chi phí giữa các phương pháp chế tác khung phục hình tháo lắp từng phần. Các nhận định về chi phí chủ yếu dựa trên mô tả từ các tổng quan hệ thống và báo cáo kỹ thuật.^{20,22} Các nghiên cứu đều ghi nhận rằng SLM đòi hỏi mức đầu tư thiết bị lớn nhất, trong khi RPC có thể giảm đáng kể chi phí đầu tư ban đầu nhờ tận dụng hệ thống đúc hiện có.^{9,20}

4. So sánh khả năng ứng dụng lâm sàng

Các nghiên cứu cho thấy khả năng ứng dụng lâm sàng của các phương pháp chế tác khung bộ phụ thuộc không chỉ vào độ khít sát mà còn liên quan đến chi phí đầu tư, yêu cầu kỹ thuật và khả năng triển khai trong thực tế.^{20,22}

Đúc truyền thống vẫn là phương pháp được sử dụng phổ biến nhất nhờ hệ thống labo sẵn có, chi phí đầu tư thấp và quy trình quen thuộc đối với kỹ thuật viên.^{1,4} Trong khi đó, CAD/CAM và SLM ngày càng được ứng dụng rộng rãi tại các trung tâm phục hình có điều kiện triển khai

nha khoa số nhờ khả năng chuẩn hóa quy trình và giảm sự phụ thuộc vào thao tác thủ công.^{20,22}

Đối với RPC, phương pháp này được xem là giải pháp trung gian giữa quy trình truyền thống và quy trình số hóa hoàn toàn, cho phép tận dụng hạ tầng đúc hiện có trong khi vẫn ứng dụng được các lợi ích của thiết kế số và công nghệ in 3D.^{9,20} Các tổng quan gần đây đều ghi nhận tiềm năng ứng dụng ngày càng tăng của các quy trình kỹ thuật số trong phục hình tháo lắp từng phần, đặc biệt tại các cơ sở có nhu cầu chuẩn hóa quy trình và nâng cao chất lượng phục hình.^{20,22} Tổng quan của Fueki và cộng sự cho thấy số lượng nghiên cứu về phục hình tháo lắp kỹ thuật số đã gia tăng đáng kể trong thập niên gần đây, phản ánh xu hướng ứng dụng ngày càng rộng rãi của các quy trình CAD/CAM và sản xuất bồi đắp trong thực hành lâm sàng.²⁰

5. So sánh tổng hợp giữa các phương pháp chế tác

Tổng hợp các bằng chứng hiện có cho thấy mỗi phương pháp chế tác khung bộ đều có những ưu điểm và hạn chế riêng, không có phương pháp nào hoàn toàn vượt trội trong mọi tiêu chí đánh giá.

Về độ chính xác, các công nghệ sản xuất bồi đắp kim loại như SLM thường cho kết quả khả quan, với sai lệch trung bình thấp và khả năng duy trì độ đồng đều tại các cấu trúc phức tạp của khung phục hình.^{14,15,19} CAD/CAM cũng cho thấy khả năng đạt độ khít sát tương đương hoặc chấp nhận được về mặt lâm sàng so với đúc truyền thống.^{5,16,17} Trong khi đó, đúc truyền thống vẫn có xu hướng tạo ra sai lệch lớn hơn do ảnh hưởng của nhiều bước trung gian trong quá trình chế tác.^{4,5}

Về tính tái lập, các quy trình kỹ thuật số cho thấy ưu thế rõ rệt nhờ sử dụng dữ liệu thiết kế số hóa làm cơ sở sản xuất. SLM được ghi nhận có tính chuẩn hóa cao do loại bỏ hầu hết các

thao tác thủ công, trong khi RPC đóng vai trò trung gian giữa quy trình số hóa hoàn toàn và quy trình đúc truyền thống.^{10,14,18}

Về chi phí đầu tư, đúc truyền thống vẫn là phương pháp kinh tế nhất và phù hợp với phần lớn các labo nha khoa hiện nay. Ngược lại, CAD/CAM và đặc biệt là SLM đòi hỏi đầu tư đáng kể về thiết bị, phần mềm và đào tạo nhân lực.^{9,10,21} Chính vì vậy, khả năng tiếp cận công nghệ vẫn là yếu tố ảnh hưởng lớn đến việc lựa chọn phương pháp chế tác trong thực hành.

Về khả năng ứng dụng lâm sàng, đúc truyền thống tiếp tục giữ vai trò quan trọng nhờ tính phổ biến và khả năng triển khai rộng rãi. Tuy nhiên, xu hướng hiện nay đang chuyển dịch

dần sang các quy trình kỹ thuật số nhằm nâng cao tính chuẩn hóa và giảm phụ thuộc vào tay nghề kỹ thuật viên. Các bằng chứng hiện có cho thấy CAD/CAM và SLM là những công nghệ có tiềm năng lớn trong tương lai, trong khi RPC được xem là giải pháp chuyển tiếp phù hợp cho các cơ sở đang trong quá trình chuyển đổi sang nha khoa số.^{9,10,20,21}

Nhìn chung, việc lựa chọn phương pháp chế tác cần dựa trên sự cân bằng giữa độ khít sát mong muốn, nguồn lực kinh tế, trình độ nhân lực và điều kiện trang thiết bị của từng cơ sở. Các bằng chứng hiện nay chưa đủ để khẳng định một phương pháp duy nhất là tối ưu trong mọi bối cảnh lâm sàng.

Bảng 1. So sánh các phương pháp chế tác khung bộ dựa trên bằng chứng y văn

Tiêu chí phân tích	Đúc truyền thống	CAD/CAM	In 3D trực tiếp (SLM)	In 3D gián tiếp (RPC)
Nguyên lý cơ bản	Quy trình đúc mất sáp qua nhiều công đoạn thủ công. ^{1,2,4}	Gia công trừ vật liệu từ phôi kim loại chế tạo công nghiệp. ^{7,10}	Gia công bồi đắp bằng cách thiêu kết từng lớp bột hợp kim bằng laser. ^{10,14}	In mẫu trung gian bằng nhựa/sáp từ dữ liệu CAD, sau đó thực hiện đúc kim loại theo quy trình truyền thống. ^{9,14}
Độ khít sát	Có xu hướng sai lệch cao hơn do ảnh hưởng của sự co ngót sáp và biến dạng nhiệt trong quá trình đúc. ^{5,13}	Độ khít sát tương đương hoặc cải thiện so với đúc truyền thống, tùy thuộc vật liệu và hệ thống gia công. ^{5,17,18}	Có xu hướng đạt độ khít sát cao và đồng đều tại các cấu trúc phức tạp. ^{13,14,19}	Độ khít sát được cải thiện so với đúc thủ công nhưng vẫn chịu ảnh hưởng của giai đoạn đúc kim loại sau cùng. ¹⁴
Đặc tính bề mặt và cơ học	Độ bền cơ học đã được kiểm chứng qua thời gian dài sử dụng lâm sàng. ^{3,4}	Bề mặt đồng nhất, ít khuyết tật vật liệu do được gia công từ phôi công nghiệp. ⁷	Có độ nhám bề mặt đặc trưng và có thể xuất hiện ứng suất dư sau chế tác. ^{10,11}	Chất lượng bề mặt phụ thuộc vào độ phân giải của mẫu in và quy trình đúc sau đó. ⁹

Tiêu chí phân tích	Đúc truyền thống	CAD/CAM	In 3D trực tiếp (SLM)	In 3D gián tiếp (RPC)
Tính tái lập	Thấp do phụ thuộc nhiều vào tay nghề kỹ thuật viên và điều kiện labo. ⁴	Cao nhờ giảm các thao tác thủ công trong quá trình tạo hình. ^{5,17}	Có xu hướng đạt tính tái lập cao nhờ mức độ số hóa và tự động hóa lớn. ^{10,14}	Khá cao do chuẩn hóa được giai đoạn thiết kế nhưng vẫn chịu ảnh hưởng của quy trình đúc. ¹⁴
Chi phí đầu tư	Thấp, phù hợp với hầu hết các labo nha khoa. ⁴	Cao do yêu cầu hệ thống quét, phần mềm CAD và máy phay chuyên dụng. ^{9,10}	Cao do yêu cầu máy in kim loại, vật liệu chuyên dụng và quy trình bảo trì phức tạp. ¹⁰	Trung bình, tận dụng được hệ thống đúc hiện có và chỉ cần đầu tư thêm máy in 3D nhựa. ^{9,10}
Ưu điểm chính	Kinh tế, dễ triển khai và đã được chứng minh hiệu quả lâm sàng lâu dài. ^{4,6}	Chuẩn hóa quy trình, giảm sai số thao tác và lưu trữ dữ liệu số. ^{7,20}	Chế tác được các cấu trúc phức tạp với độ khít sát và tính tái lập cao. ^{10,14}	Kết hợp được lợi ích của thiết kế số với chi phí đầu tư thấp hơn SLM. ^{9,20}
Hạn chế chính	Dễ tích lũy sai số qua nhiều công đoạn và phụ thuộc kỹ năng kỹ thuật viên. ⁴	Lãng phí vật liệu và bị giới hạn bởi khả năng tiếp cận của dụng cụ cắt. ¹⁰	Chi phí đầu tư lớn và yêu cầu xử lý hậu kỳ nghiêm ngặt. ^{10,11}	Vẫn tồn tại sai số do quá trình đúc kim loại sau cùng. ¹⁴

III. BÀN LUẬN

1. Bàn luận về độ khít sát giữa các phương pháp chế tác

Độ khít sát của khung bộ có ý nghĩa quan trọng đối với sự ổn định của phục hình, khả năng phân bố lực và tiên lượng điều trị lâu dài. Các kết quả tổng hợp trong nghiên cứu này cho thấy các quy trình kỹ thuật số có xu hướng đạt độ khít sát cao hơn hoặc tương đương so với phương pháp đúc truyền thống.^{5,13,15,17,18}

Ưu thế này có thể được giải thích bởi việc giảm số lượng công đoạn trung gian trong quá trình chế tác. Đối với kỹ thuật đúc mất sáp, sai số có thể phát sinh ở nhiều giai đoạn như tạo mẫu sáp, vô khuôn, nung và đúc hợp kim. Mỗi

công đoạn đều có nguy cơ gây biến dạng hoặc co ngót vật liệu, từ đó làm gia tăng sai lệch của sản phẩm cuối cùng.^{4,5} Ngược lại, các quy trình CAD/CAM và SLM cho phép chuyển đổi trực tiếp dữ liệu thiết kế thành sản phẩm, giúp giảm thiểu đáng kể các nguồn sai số liên quan đến thao tác thủ công.^{10,14,17}

Đối với công nghệ SLM, độ khít sát cao được cho là liên quan đến khả năng chế tác trực tiếp từ dữ liệu CAD mà không cần thông qua các bước tạo mẫu sáp hoặc khuôn đúc trung gian.^{10,14} Tuy nhiên, chất lượng sản phẩm vẫn chịu ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố như hướng in, độ dày lớp in, thông số laser, đặc

tính bột hợp kim và quy trình xử lý hậu kỳ.^{10,11} Vì vậy, mặc dù các bằng chứng hiện nay cho thấy SLM có khả năng đạt độ chính xác cao và ổn định nhưng vẫn cần thêm các nghiên cứu lâm sàng dài hạn để xác nhận giá trị thực tiễn của công nghệ này.^{14,19}

2. Bàn luận về tính tái lập giữa các phương pháp chế tác

Tính tái lập là một trong những lợi thế quan trọng nhất của nha khoa số. Trong phục hình tháo lắp từng phần, khả năng tạo ra các sản phẩm có chất lượng đồng nhất giúp nâng cao tính chuẩn hóa và giảm sự phụ thuộc vào kinh nghiệm cá nhân của kỹ thuật viên.^{5,17,18}

Trong quy trình đúc truyền thống, sản phẩm cuối cùng chịu ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố như kỹ thuật tạo mẫu sáp, chất lượng vật liệu đúc, quy trình nung và thao tác của người thực hiện.⁴ Điều này làm gia tăng sự biến thiên giữa các sản phẩm được chế tác từ cùng một thiết kế ban đầu. Ngược lại, CAD/CAM và SLM sử dụng dữ liệu số làm cơ sở cho toàn bộ quá trình sản xuất, giúp giảm sai số chủ quan và cải thiện tính đồng nhất của sản phẩm.^{10,17,20}

Tuy nhiên, tính tái lập của quy trình số hóa không đồng nghĩa với việc loại bỏ hoàn toàn sai số. Các sai lệch vẫn có thể xuất hiện từ quá trình quét dữ liệu, thiết kế CAD, hiệu chuẩn thiết bị hoặc xử lý hậu kỳ.^{20,21} Do đó, hiệu quả của nha khoa số phụ thuộc không chỉ vào công nghệ mà còn vào mức độ chuẩn hóa của toàn bộ quy trình làm việc.

3. Bàn luận về hiệu quả kinh tế giữa các phương pháp chế tác

Mặc dù các công nghệ kỹ thuật số mang lại nhiều lợi ích về độ chính xác và tính tái lập, khả năng triển khai trên thực tế vẫn chịu ảnh hưởng đáng kể bởi yếu tố kinh tế. Đây là một trong những nguyên nhân quan trọng khiến phương pháp đúc truyền thống vẫn được sử dụng rộng rãi tại nhiều quốc gia đang phát triển.^{1,4}

Các hệ thống CAD/CAM yêu cầu đầu tư cho máy quét, phần mềm thiết kế, thiết bị gia công và vật liệu chuyên dụng.^{7,17,20} Đối với SLM, chi phí đầu tư còn cao hơn do yêu cầu máy in kim loại, vật liệu bột hợp kim và quy trình bảo trì phức tạp.^{10,11} Bên cạnh đó, việc đào tạo nguồn nhân lực có khả năng vận hành các hệ thống kỹ thuật số cũng làm gia tăng chi phí triển khai.²⁰

Tuy nhiên, ở góc độ dài hạn, các quy trình số hóa có thể giúp giảm thời gian lao động, tăng tính chuẩn hóa và hỗ trợ lưu trữ dữ liệu điều trị.^{20, 22} Khi số lượng phục hình tăng lên, các lợi ích này có thể bù đắp một phần chi phí đầu tư ban đầu. Đây là lý do nhiều trung tâm phục hình lớn trên thế giới đang chuyển dịch dần sang các quy trình kỹ thuật số.^{20,22}

4. Bàn luận về khả năng ứng dụng lâm sàng

Khả năng ứng dụng lâm sàng của một phương pháp chế tác không chỉ phụ thuộc vào độ chính xác mà còn liên quan đến tính khả thi trong điều kiện thực tế, bao gồm cơ sở vật chất, nguồn nhân lực và chi phí triển khai.^{20,22}

Mặc dù các công nghệ số như CAD/CAM và SLM cho thấy nhiều ưu điểm về mặt kỹ thuật, đúc truyền thống vẫn giữ vai trò quan trọng nhờ tính phổ biến, khả năng sửa chữa thuận lợi và chi phí hợp lý.^{1,4} Trong khi đó, CAD/CAM phù hợp với các cơ sở đã triển khai nha khoa số và có nhu cầu chuẩn hóa quy trình điều trị.^{20,21} SLM cho thấy tiềm năng lớn trong các trường hợp phục hình phức tạp nhờ khả năng chế tác các cấu trúc hình học khó thực hiện bằng phương pháp truyền thống.^{10,14}

RPC được xem là giải pháp trung gian hợp lý trong giai đoạn chuyển đổi công nghệ vì cho phép tận dụng hạ tầng đúc hiện có đồng thời ứng dụng được các lợi ích của thiết kế số.^{9,20} Điều này đặc biệt phù hợp với các labo nha khoa vừa và nhỏ tại các quốc gia đang phát triển.^{21,22}

Trong bối cảnh Việt Nam, việc lựa chọn phương pháp chế tác cần cân nhắc giữa hiệu

quả kỹ thuật và tính khả thi về kinh tế. Do đó, sự kết hợp giữa quy trình truyền thống và các công nghệ số từng phần có thể là hướng tiếp cận phù hợp hơn so với việc chuyển đổi hoàn toàn sang các hệ thống kỹ thuật số có chi phí đầu tư lớn.^{9,20}

5. Hạn chế của bài tổng quan

Các bằng chứng hiện có về chế tác khung bộ bằng công nghệ số vẫn tồn tại một số hạn chế. Thứ nhất, phần lớn các nghiên cứu được thực hiện trong điều kiện in vitro, do đó chưa phản ánh đầy đủ các yếu tố sinh học và chức năng trong môi trường miệng.^{5,13,15,19} Thứ hai, sự không đồng nhất về phương pháp đo lường, vị trí đánh giá và tiêu chí báo cáo làm hạn chế khả năng so sánh trực tiếp giữa các nghiên cứu.^{15,19}

Ngoài ra, số lượng nghiên cứu đánh giá kết quả lâm sàng dài hạn, mức độ hài lòng của bệnh nhân và hiệu quả chi phí còn tương đối hạn chế.^{20,22} Bài tổng quan này cũng chỉ lựa chọn các nghiên cứu được công bố bằng tiếng Anh trên các cơ sở dữ liệu lớn, do đó không loại trừ khả năng bỏ sót một số nghiên cứu liên quan được công bố bằng ngôn ngữ khác hoặc trên các nguồn dữ liệu không được lập chỉ mục.

Trong tương lai, cần có thêm các thử nghiệm lâm sàng dài hạn, nghiên cứu đa trung tâm và các phân tích hiệu quả chi phí nhằm xác định rõ hơn giá trị thực tiễn của từng phương pháp chế tác trong các bối cảnh lâm sàng khác nhau.^{15,20,22}

IV. KẾT LUẬN

Các phương pháp chế tác khung bộ đã chuyển dịch rõ rệt từ kỹ thuật đúc truyền thống sang các quy trình kỹ thuật số, trong đó in 3D kim loại, đặc biệt là SLM, cho thấy khả năng đạt độ chính xác cao, còn CAD/CAM đóng vai trò quan trọng trong chuẩn hóa thiết kế. Không có phương pháp nào tối ưu trong mọi điều kiện, do

đó việc lựa chọn cần cân nhắc giữa độ chính xác, chi phí và khả năng triển khai, với phương pháp kết hợp là giải pháp chuyển tiếp phù hợp hiện nay.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Anusavice KJ, Shen C, Rawls HR. *Phillips' Science of Dental Materials*. 12th ed. Elsevier; 2013.
2. Craig RG, Powers JM. *Restorative Dental Materials*. 11th ed. Mosby; 2002.
3. Phoenix RD, Cagna DR, DeFreest CF. *Stewart's Clinical Removable Partial Prosthodontics*. 4th ed. Quintessence Publishing; 2008.
4. Rudd RW, Rudd KD. A review of 243 errors possible during the fabrication of a removable partial denture: part I. *J Prosthet Dent*. 2001 Sep; 86(3): 251-61. doi: 10.1067/mpr.2001.118021.
5. Mai HY, Mai HN, Kim HJ, Lee J, Lee DH. Accuracy of removable partial denture metal frameworks fabricated by computer-aided design/ computer-aided manufacturing method: a systematic review and meta-analysis. *J Evid Based Dent Pract*. 2022 Sep; 22(3): 101681. doi: 10.1016/j.jebdp.2021.101681. Epub 2021 Dec 3. PMID: 36162896.
6. Van Noort R. The future of dental devices is digital. *Dent Mater*. 2012; 28(1): 3-12. doi:10.1016/j.dental.2011.10.014.
7. Abduo J, Lyons K. Rationale for the use of CAD/CAM technology in implant prosthodontics. *Int J Dent*. 2013; 2013: 768121. doi:10.1155/2013/768121.
8. Goodacre CJ, Garbacea A, Naylor WP, Daher T, Marchack CB, Lowry J. CAD/CAM fabricated complete dentures: concepts and clinical methods. *J Prosthet Dent*. 2012; 107(1): 34-39. doi:10.1016/S0022-3913(12)60015-8.

9. Revilla-León M, Özcan M. Additive manufacturing technologies used for processing polymers: current status and potential application in prosthetic dentistry. *J Prosthodont.* 2019; 28(2): 146-158. doi:10.1111/jopr.12801.
10. Alharbi N, Wismeijer D, Osman RB. Additive Manufacturing Techniques in Prosthodontics: Where Do We Currently Stand? A Critical Review. *Int J Prosthodont.* 2017 September/October; 30(5): 474-484. doi: 10.11607/ijp.5079.
11. Alharbi N, Osman RB, Wismeijer D. Effects of build direction on the mechanical properties of 3D-printed dental restorations. *J Prosthet Dent.* 2016; 115(6): 760-767. doi:10.1016/j.prosdent.2015.12.002.
12. Kim KB, Kim JH, Kim WC, Kim JH. Three-dimensional evaluation of gaps associated with fixed dental prostheses fabricated with new technologies. *J Prosthet Dent.* 2014 Dec; 112(6): 1432-6. doi: 10.1016/j.prosdent.2014.07.002.
13. Ahmed N, Abbasi MS, Zafar MS. Fit accuracy of removable partial denture frameworks fabricated with CAD/CAM and rapid prototyping: a systematic review. *Eur J Dent.* 2021; 15(2): 1-9. doi:10.1055/s-0040-1721310.
14. Oh KC, Yun BS, Kim JH. Accuracy of metal 3D printed frameworks for removable partial dentures evaluated by digital superimposition. *Dent Mater.* 2022 Feb; 38(2): 309-317. doi: 10.1016/j.dental.2021.12.012.
15. J Qiu, W Liu, D Wu, F Qiao, L Sui. Fit accuracy in the rest region of RPDs fabricated by digital technologies and conventional lost-wax casting: a systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health.* 2023; 23:667. doi: 10.1186/s12903-023-03348-6.
16. K Zhao, S Wu, C Qian, J Sun. Suitability and Trueness of the Removable Partial Denture Framework Fabricating by Polyether Ether Ketone with CAD-CAM Technology. *Polymers.* 2024; 16(80): 1119-2024. doi: 10.3390/polym16081119.
17. A L C Pereira, A K B Medeiros, K S.Santos, É O Almeida, G A S Barbosa, A F P Carreiro. Accuracy of CAD-CAM systems for removable partial denture framework fabrication: A systematic review. *J. Prosthet. Dent.* 2021; 125(2): 241-248. doi: 10.1016/j.prosdent.2020.01.003.
18. M D Pordeus, R Siqueira, G Mendonça, et al. Computer-aided technology for fabricating removable partial denture frameworks: A systematic review and meta-analysis. *J. Prosthet. Dent.* 2022; 127(4): 559-568. doi: 10.1016/j.prosdent.2020.12.024.
19. S Chaturvedi, F Alzahrani, A Alqahtani, et al. Evaluation of methods for determining fit accuracy and precision of removable partial denture frameworks fabricated by digital and conventional techniques: A systematic review. *BMC Oral Health.* 2024; 24:1466. doi: 10.1186/s12903-024-05262-x.
20. K Fueki, A Takaichi, N Wakabayashi. A systematic review of digital removable partial dentures. Part II: CAD/CAM framework, artificial teeth, and denture base. *J. Prosthodont. Res.* 2022; 66(1): 53-67. doi: 10.2186/jpr.JPR_D_20_00117.
21. A Takaichi, K Fueki, N Wakabayashi. Digital technologies and future perspectives for removable partial denture fabrication: A review. *J. Prosthodont. Res.* 2023; 67(4): 456-465.
22. M Revilla-León, M Özcan. Digital workflow for removable partial dentures: Current knowledge and future perspectives. *J. Prosthodont.* 2024; 32.

Summary

FABRICATION METHODS FOR REMOVABLE PARTIAL DENTURE FRAMEWORKS IN MODERN DENTISTRY

Removable partial denture (RPD) frameworks are a commonly used rehabilitation solution for partially edentulous patients. The quality of prosthetic outcomes largely depends on the accuracy of the metal framework fabrication process. In recent years, fabrication methods have shifted from conventional casting techniques to digital technologies such as CAD/CAM, metal 3D printing, and hybrid workflows. This review aims to systematize current fabrication methods for RPD frameworks, while analyzing their mechanisms, advantages, limitations, and developmental trends based on international studies. The results indicate that digital fabrication methods, particularly selective laser melting (SLM), can achieve fit accuracy comparable to or superior to conventional casting, while reducing fabrication errors and improving reproducibility. However, high cost and technical requirements remain major barriers to widespread clinical implementation.

Keywords: Removable partial denture framework, metal casting, CAD/CAM, selective laser melting, 3D printing.