

국소의치 구조물(framework)의 CAD-CAM 제조방식에 따른 정확도: 문헌고찰

Accuracy of CAD-CAM RPD framework according to manufacturing method: A literature review

이유승*

Yuseung Yi*

서울대학교치과병원 치과보철과

Department of Prosthodontics, Seoul National University Dental Hospital, Seoul, Republic of Korea

ORCID iDs

Yuseung Yi

<https://orcid.org/0000-0001-9116-2328>

Purpose. The purpose of this study was to evaluate the currently published literatures investigating the accuracy of computer-aided design and computer-aided manufacturing removable partial denture (CAD-CAM RPD) framework with different manufacturing techniques and methods. **Materials and methods.** A comprehensive search for literatures was conducted in PubMed database using specific keywords with the patient, intervention, comparison, and outcome (PICO) question, “Is there a difference in accuracy of RPD frameworks manufactured using digital workflow according to the manufacturing process and methods?” **Results.** A total of 7 articles were selected. Two studies compared intraoral scanning and laboratory scanning for RPD frameworks and had heterogenous results. In the studies using different manufacturing process, RPD frameworks had clinically acceptable accuracy in both subtractive and additive manufacturing. Polyetheretherketone (PEEK)-milled RPD frameworks showed higher fit accuracy than traditionally casted or 3D printed RPDs. Direct milling method showed a higher accuracy than indirect milling method. However, in rapid prototyping, indirect method showed higher accuracy than direct method. **Conclusion.** The RPD frameworks fabricated using CAD-CAM technology showed a clinically acceptable level of accuracy regardless of manufacturing process or techniques. Consistent results have not been reported regarding the digital impression methods, which were intra oral scanning or laboratory scanning, and further studies are needed. (J Korean Acad Prosthodont 2021;59:370-8)

Keywords

Computer-aided design and computer-aided manufacturing (CAD-CAM), Digital, Removable partial denture

Corresponding Author

Yuseung Yi

Department of Prosthodontics,
Seoul National University Dental
Hospital, Seoul University, School
of Dentistry, 101 Daehak-ro,
Jongno-gu, Seoul 03080, Republic
of Korea

+82 (0)2 2072 4495

yyuseung@gmail.com

Article history Received March 16,
2021 / Last Revision June 17, 2021
/ Accepted June 21, 2021

© 2021 The Korean Academy of Prosthodontics

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

CAD-CAM (computer-aided design and computer-aided manufacturing) 기술은 다양한 치과 보철물 제작에 응용되고 있다.¹⁻⁴ 치의학 분야에서의 CAD-CAM 응용 초기에는 대부분 milling 등의 절삭 가공(subtractive manufacturing) 방식으로 보철물을 제작하였으나, 3D 프린팅(적층 가공, additive manufacturing) 기술이 도입되면서 가철성 보철물을 포함한 다양한 분야에까지 응용이 확대되었다.⁵ 디지털 워크플로우를 이용한 가철성 국소의치(removable partial denture, RPD) framework의 제작은 전통적 주조-소환 과정에서의 왁스패턴 변형, 주조 오차 등의 가능성을 피할 수 있게 하여 정확도의 측면에서 장점을 지닌 것으로 보고되어 있다.^{6,7} CAD-CAM 기술을 이용한 RPD framework의 물성 및 적합도에 관하여 여러 문헌에서 연구되어 왔다. 전통적 방식으로 제작한 RPD와 디지털 워크플로우를 이용하여 제작한 RPD framework 모두 임상적으로 허용가능한 결과를 보였으며,^{2,8-12} 여러 임상연구를 통해 디지털 RPD framework의 우수한 적합도와 예후가 보고되었다.^{2,8,11,13-15} RPD framework의 디지털 워크플로우는 제작 시간 단축 및 노동력 절감 등의 효과로 효율적인 보철물 제작을 가능하게 한다.¹⁶ 그러나 디지털 RPD framework에 관한 많은 문헌들에서 각기 다른 제조 방법 및 평가 방법을 이용하였고, 이로 인해 디지털 RPD framework의 정확성에 관하여 일치하지 않는 결과들이 보고되어 왔다. 따라서 이번 문헌 고찰을 통해 디지털 RPD 제작 과정 및 제조 방법에 따른 적합도를 비교한 문헌들을 살펴보고 결과를 평가하고자 하였다.

재료 및 방법

문헌 검색은 다음의 PICO (patients, intervention, comparison, and outcomes) 문항에 기반하여 진행되었다 - Patients: RPD 치료를 받은; intervention: 디지털 워크플로우를 이용하여 제작한 RPD framework; comparison: 디지털 RPD의 제조과정 및 제조 방법에 따른 차이; outcomes: RPD framework의 적합도에 관한 평가. 영어로 작성되어 있는, 구강스캔 또는 모형스캔을 통해 데이터를 채득하고, CAD-CAM 기술을 이용한 RPD framework의 설계 과정이 포함된 *in vitro* 연구 또는 임상 연구를 조사

하였으며, systematic review는 포함하지 않았다. 검색에 이용한 핵심어는 다음과 같다 - “국소의치(removable partial denture)”; “디지털(digital)” 또는 “캐드캠(‘CAD-CAM’ or ‘computer-aided’ or ‘computer-assisted’) 또는 “가상의(virtual)”; “제조방법 (‘manufacturing’ or ‘different technique’)”“밀링(milling or milled)” 또는 “3D 프린팅(‘3D printed’ or ‘printing’ or ‘laser sintered’ or ‘rapid prototyping’)”; “적합도(accuracy)” 또는 “적합도(fitness)” 또는 “정밀도(precision)”.

결과 및 고찰

PubMed database를 통해 총 719개의 문헌이 검색되었으며, 그 중 논문 제목과 초록을 통해 15개의 문헌이 선택되었고, 문헌 전체 검토를 거쳐 최종적으로 7개의 문헌(임상 연구: 2문헌, *in vitro* 연구: 5문헌)이 본 연구를 위해 선택되었다. 이들 중 두 문헌에서 50 μm 미만의 gap distance를 보일 때 밀접한 접촉(close contact), 50 - 311 μm 을 일 때 임상적으로 허용가능한 정도의 적합도로 가정하였다.^{11,17}

1. 인상채득 방법에 따른 비교: 구강스캔 vs 모형스캔

RPD framework의 제작을 위한 디지털 워크플로우는 구강내의 데이터를 채득하여 디지털 모델을 형성하는 것에서부터 시작한다. 이를 위해 구강스캐너를 이용하여 직접 데이터를 얻거나, 석고모형을 제작한 후 모형 스캔을 시행하여 환자의 구강내 정보를 디지털화 한다. 여러 문헌들을 통해 구강스캐너를 이용한 디지털 인상채득이 전통적 방식의 vinyl polysiloxane (VPS)을 이용한 인상채득과 유사한 수준의 정확도를 나타낸다는 결과가 보고되어 왔다.¹⁸⁻²² 디지털 RPD에 관한 대부분의 문헌들은 전통적 VPS 인상채득으로 석고모형을 제작한 후 모형을 스캔하여 데이터를 얻는 방식을 취하고 있었으나, 두 개의 문헌(Soltanzadeh *et al.*¹¹; Tregerman *et al.*⁹)에서 구강스캔으로 인상채득을 시행하여 완전 디지털 과정(complete digital process)로 제작한 RPD와 전통적 VPS 인상채득 후 석고 모형을 스캔하여 부분 디지털 과정(partial digital process)으로 제작한 RPD의 비교 평가를 살펴볼 수 있었다 (Table 1, Table 2). Soltanzadeh 등¹¹은 VPS 인상채득 후 최종 모형을 스캔하여 제작하거나, 구강

Table 1. Summary of each study researched RPD frameworks using intraoral scanning

Study	Study type	Evaluated arch	Kennedy Class	Parameters evaluated	Measurement method	Sample
Soltanzadeh et al. (2018)	<i>In vitro</i>	Maxillary	Class III, modification 1	accuracy and fit of RPD framework (rests, major connectors, proximal plates, reciprocl plates, clasps)	Superimposition of STL files using Geomagic Control 2014 (3D systems)	4 groups / 10 specimens for each group (n = 40)
Tregerman et al. (2019)	Clinical study	Maxillary (3); Mandibular (6)	Class I (4; all mandibular); Class II (3; 1 maxillary, 2 mandibular); Class III (2; all maxillary)	quality of fitness of RPD framework	Surveying with 7 yes/no questions by 5 clinicians	9 patients / 3 RPD frameworks using 3 different techniques for each patient (n = 27)

STL: standard tessellation language; RPD: removable partial denture

Table 2. Summary of results of each study researched RPD frameworks using intraoral scanning

Study	Group control	Impression method	CAD software	Manufacturing	Results
Soltanzadeh et al. (2018)	I: Conventional-LWT	Conventional VPS impression	Not applicable	Conventional LWT	Overall: 0.027 ± 0.04 mm
	II: CAD-RP	Intraoral scan (Trios 3, 3Shape)	3DPRD company (Commercial lab)	3D Printing (Co-Cr)	0.15 ± 0.013 mm
	III: CAD-RPS	VPS impression, model scan (3SD900, 3Shape)	3DPRD company (Commercial lab)	3D Printing (Co-Cr)	0.16 ± 0.02 mm
	IV: CAD-LWTR	Intraoral scan (Trios 3, 3Shape)	Not applicable	lost-wax technique from resin model 3D printed (Form 2, Formlabs Inc)	0.005 ± 0.030 mm
Tregerman et al. (2019)	I. Completely analog	Conventional VPS impression	Not applicable	Conventional LWT	
	II. Combined analog-digital	VPS impression, model scan (D800, 3Shape)	Dental System 2016 premium, 3Shape	SLM Co-Cr 3D printing	
	III. Completely digital	Intraoral scan (Trios 3, 3Shape)	Dental System 2016 premium, 3Shape	SLM Co-Cr 3D printing	

LWT: lost wax technique; VPS: vinyl Polysiloxane Impression; SLM: selective laser melting; CAD: computer-aided design; RP: rapid prototyping; CAD-RP: CAD printing; CAD-RPS: CAD printing from stone model; LWTR, lost-wax technique from resin models.

스캔 데이터 상에서 CAD 과정 후 제작한 CAD-프린팅 RPD (Co-Cr)와 전통적 VPS 인상채득 후 석고모형, 또는 구강스캔 후 제작한 레진프린팅 모형상에서 주조방식으로 제작한 RPD framework의 적합도를 비교하였다. 전체적인 적합도는 주조방식으로 제작한 RPD가 3D printing으로 제작한 디지털 RPD보다 gap distance가 유의미하게 적은, 높은 적합도를 보였다 ($P < .05$). 주조방식으로 제작한 RPD 사이에서나 (전통적 VPS 인상채득 후 석고모형, 또는 구강스캔 후 레진프린팅 모형), CAD-프린팅 RPD (구강스캔 또는 모형스캔 후 3D

프린팅) 사이에서는 적합도의 유의미한 차이가 관찰되지 않았다 ($P > .05$). Tregerman 등⁹은 9명의 환자에서 세 가지 방식(1. 완전 아날로그: VPS 인상+주조소환; 2. 아날로그-디지털: VPS인상+모형스캔+3D printing; 3. 완전 디지털: 구강스캔+3D printing)으로 Co-Cr RPD framework을 제작하여 임상적인 적합도를 평가하였다. 디지털 방식(구강스캔+3D printing)으로 제작한 RPD framework이 전통적 analog method로 제작한 것보다, 그리고 analog-digital method (VPS인상+모형스캔+3D printing)보다 나은 임상적 적합을

보였으며 ($P < .001$), analog method로 제작한 것이 analog-digital method보다 나은 적합을 보였다 ($P < .001$). 위의 두 연구 결과를 비교해 볼 때, 디지털 인상채득 방법에 따른 RPD framework의 적합도에 관한 결과가 일치하지 않음을 확인할 수 있다. Soltanzadeh 등¹¹에서는 구강스캔으로 인상채득을 하여 제작한 3D 프린팅 RPD framework과 모형스캔으로 제작한 RPD framework 사이에서 유의미한 차이를 보이지 않았으나, Tregerman 등⁹에서는 완전 디지털 방식, 즉 구강스캔으로 제작한 3D 프린팅 RPD framework의 적합도가 아날로그-디지털 방식, 즉 모형스캔으로 제작한 RPD framework 보다 우수한 것으로 평가되었다. 이는 적합도 평가 방법의 차이에서 기인한 것일 수 있다. Soltanzadeh 등¹¹의 연구에서는 주모형과 RPD framework 내면의 STL data를 표면 매칭 소프트웨어(Geomagic Control 2014, 3D System) 상에서 중첩하여 gap distance를 측정하였으나, Tregerman 등⁹의 연구에서는 5명의 임상가에 의한 문항 조사에 의해 적합도가 평가되었다. 이 외에도 *in vitro* 연구와 임상 연구의 차이, CAD software 및 3D 프린터 기기의 차이 등을 고려해야 하며, 정확한 비교 분석을 위해 추가적인 연구가 필요하다.

2. 디지털 RPD의 제조 방법에 따른 비교

CAD software상에서 RPD framework의 설계 후에는 stereolithography (SLA) 포맷의 파일로 전환되며, SLA 데이터를 추출하여 적층(additive manufacturing, rapid prototyping, RP) 또는 절삭(subtractive, milling) 방식으로 결과물이 제작된다.¹⁵ 제작 공정에 따라 결과물이 직접적으로 생산될 수도 있고, 주조 가능한 레진 또는 왁스 패턴의 중간 생산물을 제작하여 최종적으로는 주조 소환 방식으로 결과물을 제작할 수 있다.^{5,13,23,24}

1) 적층 가공 방식(rapid prototyping) 절삭 가공 방식(milling)의 적합도 비교

디지털 RPD framework은 RP기술을 이용하여 직접 3D 프린팅을 하거나, 또는 주조가능한 레진 또는 왁스패턴을 3D 프린팅 한 후 주조하는 방식으로 제작할 수 있으며 또한 금속 또는 폴리머를 직접 milling하여 제작할 수도 있다.^{25,26} Ye 등¹⁰은 PEEK (polyetheretherketone) blanc를 milling하

여 제작한 PEEK RPD를 전통적 주조방식으로 제작한 Co-Cr RPD와 비교하였다 (Table 3). PEEK-milled RPD framework이 전통적 Co-Cr RPD보다 모든 부분의 gap distance가 적게 측정되었으며, PEEK RPD의 적합도가 더욱 우수한 것으로 평가되었다 (Table 4). Lee 등¹²은 10명의 환자를 대상으로 한 임상연구에서 왁스패턴을 3D프린팅한 후 주조방식으로 디지털 RPD를 제작하여 적합도를 평가하였다. 환자의 Kennedy 분류에 따른 디지털 RPD의 적합도의 차이는 관찰되지 않았으며, 레스트 부위에서는 주연결장치 보다는 적지만 부연결장치 부위보다는 낮은 적합도가 관찰되었다 ($P < .05$). 또한 설면레스트의 주변부(periphery)에서 중심부(center)보다 높은 적합도가 관찰되었다 ($P < .05$). Arnold 등²은 네 가지의 CAD-CAM 방식으로 제작한 RPD clasp 및 전통적 방식으로 제작한 RPD clasp의 적합도를 비교 평가하였다. Indirect milling 또는 direct milling으로 제작한 PEEK digital RPD clasp가 전통적 주조 방식으로 제작한 Co-Cr RPD clasp나 RP 방식을 제작한 Co-Cr RPD clasp보다 우수한 적합도를 보였으며, 특히 direct milled PEEK RPD clasp에서 가장 우수한 적합도가 관찰되었다. Indirect 3D printing 방식으로 제작한 경우에서 가장 낮은 적합도가 관찰되었다. Negm 등¹⁷은 direct 방식으로 제작한 direct-milled PEEK RPD framework과 주조용 패턴을 3D 프린팅 한 후 thermopressing하여 indirect 방식으로 제작한 indirect RP-thermopressed PEEK RPD framework의 적합도와 trueness를 평가하였다. Direct milled PEEK RPD framework이 RP-thermopressing 방식으로 제작한 것보다 적합도와 trueness 모두 유의미하게 높은 것으로 관찰되었으나 ($P < .001$), 두 가지 방식으로 제작된 RPD framework 모두 임상적으로 허용가능한 범위로 평가되었다 (Table 4). 위의 연구결과를 통해 milling 방식으로 제작한 PEEK RPD가 전통적 주조방식으로 제작하거나 RP 방식으로 제작한 Co-Cr 또는 PEEK RPD framework보다 적합도가 우수하지만, 모두 임상적으로 허용가능한 범위로 평가될 수 있다.

2) 완전디지털 제조방식(direct manufacturing)과 디지털-아날로그 제조방식(indirect manufacturing)의 비교
앞에서 언급한 Arnold 등²과 Negm 등¹⁷의 연구에서 CAD-CAM 방식으로 직접 3D printing 또는 milling을 이

Table 3. Summary of each study researched RPD frameworks using different manufacturing methods

Study	Study Type	Evaluated arch	Kennedy Class	Parameters evaluated	Measurement method	Sample
Ye <i>et al.</i> (2018)	<i>In vitro</i>	Mandibular	Class II modification 1	Fit accuracy (occlusal rest, major connector, denture base)	1. Visual inspection 2. pressing test 3. gap distance measurements 1) Thickness of silicone impression material (Variotime, Heraeus) 2) Superimposition of STL files using Geomagic Qualify 2012	2 groups / 15 RPDs for each group (n = 20)
Lee <i>et al.</i> (2017)	Clinical study	Maxillary (3); Mandibular (6)	Class I: 4 (all mandibular); Class II: 3 (1 maxillary, 2 mandibular); Class III (all maxillary)	Fit accuracy (rest, clasp, minor connector, major connector, edentulous area)	Replica technique using silicone registration material (Fit Chekcer, GC)	10 patients / 1 RPD for each patient (n = 10)
Arnold <i>et al.</i> (2018)	<i>In vitro</i>	Maxillary	Class III modification 3	Fit accuracy of clasp	Gap distance measuring with light microscopy	5 groups / 3 RPDs for each group (n = 15)
Negm (2019)	<i>In vitro</i>	Maxillary	Class I	fit accuracy (rest, guide plane, anterior strap, AP strap, posterior strap) and truness	Superimposition of STL files using Geomagic Control-X (3D systems)	2 groups / 10 specimens for each group (n = 20)

STL: standard tessellation language; RPD: removable partial denture

Table 4. Summary of results of each study researched RPD frameworks using different manufacturing methods

Study	Group control	Impression method	CAD software	Manufacturing	Results
Ye <i>et al.</i> (2018)	I. PEEK RPD	Model scan (D800, 3Shape)	Geomatic Studio 2012 (Geomagic)	PEEK milling	Entirety 42.8 ± 29.4 μm
	II. Traditional RPD	Traditional impression	Not applicable	Conventional LWT	Entirety 130.9 ± 50.5 μm
Lee <i>et al.</i> (2017)		VPS impression, model scan (Activity 101, Smartoptics)	FreeForm, (Sensible)	Framework: 3D printing of castable wax pattern, Co-Cr LWT Denture base: Heat cure resin	Rest: 249.27 ± 134.84 μm Clasp: 162.33 ± 131.2 μm Minor connector: 125.11 ± 83.89 μm Major connector: 380.00 ± 111.75 μm Edentulous area 328.30 ± 264.73 μm Total 227.67 ± 172.55 μm
Arnold <i>et al.</i> (2018)	I. Indirect RP	VPS impression, model scan (D900, 3Shape)	Dental Designer 2013 v 2.8.8, 3Shape	wax inject printing with LWT	H: 323 ± 188; V: 112 ± 60 (μm)
	II. Direct RP			SLM Co-Cr 3D printing	H: 365 ± 205; V: 363 ± 133 (μm)
	III. Indirect milling		wax milling with LWT	H: 117 ± 34; V: 45 ± 21 (μm)	
	IV. Direct milling		PEEK milling	H: 43 ± 23; V: 38 ± 21 (μm)	
	V. Control	Conventional VPS impression	Not applicable	Conventional LWT	H: 133 ± 59; V: 74 ± 25 (μm)
Negm (2019)	I. Direct milling	VPS impression, model scan (S600, Zirkonzahn)	Dental System (3Shape)	PEEK milling	overall 0.11 ± 0.03 mm
	II. Indirect RP	VPS impression, model scan (S600, Zirkonzahn)	Dental System (3Shape)	DLP 3D printing of castable resin pattern, PEEK thermopressing using LWT	-0.09 ± 0.05 mm

용하여 제작한 digital RPD framework (direct manufacturing)과 CAD-CAM 방식으로 소환 패턴을 3D 프린팅 또는 milling하여 제작한 후 전통적 주조-소환 방식으로 제작한 RPD framework (indirect manufacturing)의 비교 결과를 평가할 수 있었다. Arnold 등²의 연구에서 direct-milled PEEK RPD clasp가 indirect milling으로 제작한 것보다 우수한 적합도가 관찰되었으며, 3D 프린팅으로 제작한 RPD framework에서는 direct 방식으로 제작한 경우에 indirect 방식으로 제작한 것보다 낮은 적합도가 관찰되었다. Negm 등¹⁷의 연구에서는 direct milled PEEK RPD framework 이 RP-thermopressing 방식으로 제작한 PEEK RPD framework보다 적합도와 trueness 모두 유의미하게 높은 것으로 관찰되었으나 ($P < .001$), 두 가지 방식으로 제작된 RPD framework 모두 임상적으로 허용 가능한 범위로 평가되었다 (Table 4). 두 연구 결과를 통해 direct milling 방식의 PEEK RPD framework의 적합도가 indirect milling 방식으로 제작한 것보다 우수하나, direct RP 방식으로 제작

한 경우에는 indirect RP 방식으로 제작한 것보다 적합도가 낮은 것으로 추론할 수 있다. 그러나 모두 임상적으로 허용 가능한 범위 내에 속하는 것으로 보고되었다.

3) Hybrid technique: simultaneous subtractive and additive technique

Torii 등²⁷은 repeated laser sintering (RLS)과 high-speed milling을 동시에 진행하는 ‘hybrid manufacturing (HM)’ 기술을 이용하여 제작한 HM RPD clasp를 전통적 주조방식으로 제작한 Co-Cr RPD clasp와 RLS만으로 제작한 clasp와 비교 평가하였다 (Table 5). Hybrid-manufactured (HM) clasp는 주조 또는 RLS 방식으로 제작한 clasp보다 내면 거칠기가 유의미하게 적은, 매끄러운 표면을 보였으나, 적합도(gap distance)에서는 유의미한 차이가 관찰되지 않았다. 그러나 10,000 cycle의 장력을 가한 후의 유지력 평가 시 주조 clasp에 비해 유지력이 일정하거나 소량 감소하였다.

Table 5. Summary of the study evaluated RPD framework fabricated with hybrid manufacturing

Study	Study Type	Parameters evaluated	Measurement method	Group control	Impression method	CAD software	Manufacturing	Results
Torii (2018)	In vitro	Surface roughness, fitness accuracy and retentive force of modified Aker's clasp	Thickness of silicone impression material (Fit Checker, GC)	I. Conventional -cast clasp	Not presented	Not presented	Not presented	<ol style="list-style-type: none"> 1. The surface of the HM clasp was smoother than RLS clasps. 2. Digital relief of the HM clasp lowered the gap distances on the rest regions. 3. The retentive forces of the HM clasps with relief and after heat treatment were significantly greater than cast clasps. 4. Whereas the retentive forces of cast clasps were remarkably decreased, HM clasps demonstrated a constant or slight decrease with up to 10,000 cycles.
				II. HM	Model scan (7 Series, Dental Wings)	DWOS Partial Frameworks (Dental Wings)	Simultaneous repeated laser sintering and high-speed milling, LUMEX Advance-25, Matsuura Machinery Corp.	
				III. RLS	Model scan (7 Series, Dental Wings)	DWOS Partial Frameworks (Dental Wings)	Repeated laser sintering without milling	
				IV. HM relief	Model scan (7 Series, Dental Wings)	DWOS Partial Frameworks (Dental Wings)	50 um digital relief on the occlusal surface of the tooth die	
				V. HM heat treatment	Model scan (7 Series, Dental Wings)	DWOS Partial Frameworks (Dental Wings)	HM clasps heated from room temperature to 45°C for 45 min, and to 75°C for 1 h. Quenched after 30 min	

토론

본 문헌 고찰을 위해 선택된 7개의 문헌들 중 2개의 문헌에서 인상채득 방법(구강스캔과 모형스캔)에 따른 RPD framework의 적합도를 비교하였다.^{9,11} 그러나 이 두 연구에서 일관된 결과를 도출할 수 없었다. 두 연구에서는 적합도 평가방법, CAD software, 3D 프린터 기기 등의 연구 방법 및 과정이 다르게 설정되어 있었다. 이는 임상에서 높은 적합도를 얻기 위해 표준화가 필요함을 시사하며, 이를 위해 추가적인 연구가 필요하다. 4개의 문헌에서 적층 가공방식(3D 프린팅)과 절삭 가공방식(milling)으로 제작한 RPD framework의 적합도를 비교하였다.^{2,10,12,17} 이들 연구에서 milling 방식으로 제작한 PEEK RPD framework이 전통적 주조방식으로 제작한 Co-Cr RPD framework이나 3D 프린팅 방식으로 제작한 PEEK RPD framework 보다 적합도가 우수한 것으로 나타났다. 그러나 PEEK의 물성과 관련한 장기적 임상 연구가 추가적으로 필요한 것으로 보인다. 완전 디지털 방식(direct manufacturing)과 디지털-아날로그 방식(indirect manufacturing)의 비교에서는 milling과 3D 프린팅 방식에서 차이를 보였다.^{2,17} Milling에서는 완전 디지털 방식(direct milling) 방식의 PEEK RPD framework의 적합도가 소환 패턴을 milling 한 후에 주조하여 제작한 RPD framework 보다 높은 것으로 나타났지만, 3D 프린팅 방식에서는 디지털-아날로그 방식(indirect RP)으로 제작한 것에서 더 높은 적합도를 보였다. 그러나 이는 단순히 제조 방식으로 비롯한 차이인지, 또는 재료의 물성(PEEK 또는 Co-Cr)에 의한 것인지에 관한 추가 연구가 필요하다. RPD framework과 같은 부피가 큰 결과물을 SLM 3D 프린팅 방식으로 제작 시, 레이저 용융 과정에서 금속의 열팽창으로 인한 잔류열 응력이 발생하고, 이로 인해 결과물의 변형이 발생할 수 있다.²⁸ 따라서 가공 후 열처리를 통해 잔류열 응력을 제거하는 과정이 필수적이며, 열처리 방법에 따라 결과물의 물성 및 수축량이 달라지게 된다.²⁹ 그러나 제시된 문헌들에서는 이에 관하여 명확한 과정을 설명하지 않았기에 그 결과를 보편적으로 적용하기는 어려워 보이며, 제조 방법 및 과정에 따른 디지털 RPD framework의 적합도에 관한 추가 연구가 필요할 것이다.

결론

본 문헌고찰을 통해 살펴본 연구 결과들을 통해 다음의 결론을 도출할 수 있었다:

1. CAD-CAM 기술을 이용하여 제작한 RPD framework은 임상적으로 허용가능한 수준의 적합도를 보인다.
2. PEEK RPD는 전통적 방식으로 제작하거나 3D 프린팅 기술을 이용하여 제작한 Co-Cr RPD보다 우수한 적합도를 보인다.
3. 절삭 가공(milling)의 경우에는 direct 방식이 indirect 방식에서 보다 높은 적합도를 보이나, 적층 가공(rapid prototyping)의 경우에는 주조 패턴을 먼저 제작하여 주조 과정을 통해 완성하는 indirect 방식이 direct 방식에서 보다 우수한 적합도를 보인다.
4. 구강스캔 과정을 통해 제작한 RPD framework의 적합도에 관하여 현재까지는 일관된 결과들이 보고되지 않았으며, 추후 연구가 필요하다.

References

1. Almufleh B, Emami E, Alageel O, de Melo F, Seng F, Caron E, Nader SA, Al-Hashedi A, Albuquerque R, Feine J, Tamimi F. Patient satisfaction with laser-sintered removable partial dentures: A crossover pilot clinical trial. *J Prosthet Dent* 2018;119:560-7.
2. Arnold C, Hey J, Schweyen R, Setz JM. Accuracy of CAD-CAM-fabricated removable partial dentures. *J Prosthet Dent* 2018;119:586-92.
3. Bibb RJ, Eggbeer D, Williams RJ, Woodward A. Trial fitting of a removable partial denture framework made using computer-aided design and rapid prototyping techniques. *Proc Inst Mech Eng H* 2006;220:793-7.
4. Eggbeer D, Bibb R, Williams R. The computer-aided design and rapid prototyping fabrication of removable partial denture frameworks. *Proc Inst Mech Eng H* 2005;219:195-202.
5. Dawood A, Marti BM, Sauret-Jackson V, Darwood A. 3D printing in dentistry. *Br Dent J* 2015;219:521-9.
6. Diwan R, Talic Y, Omar N, Sadig W. Pattern waxes and inaccuracies in fixed and removable partial denture castings. *J Prosthet Dent* 1997;77: 553-5.

7. Viswambaran M, Sundaram RK. Effect of storage time and framework design on the accuracy of maxillary cobalt-chromium cast removable partial dentures. *Contemp Clin Dent* 2015;6:471-6.
8. Azari A, Nikzad S. The evolution of rapid prototyping in dentistry: a review. *Rapid Prototyp J* 2009;15:216-25.
9. Tregerman I, Renne W, Kelly A, Wilson D. Evaluation of removable partial denture frameworks fabricated using 3 different techniques. *J Prosthet Dent* 2019;122:390-5.
10. Ye H, Li X, Wang G, Kang J, Liu Y, Sun Y, Zhou Y. A novel computer-aided design/computer-assisted manufacture method for one-piece removable partial denture and evaluation of fit. *Int J Prosthodont* 2018;31:149-51.
11. Soltanzadeh P, Suprono MS, Kattadiyil MT, Goodacre C, Gregorius W. An in vitro investigation of accuracy and fit of conventional and CAD/CAM removable partial denture frameworks. *J Prosthodont* 2019;28:547-55.
12. Lee JW, Park JM, Park EJ, Heo SJ, Koak JY, Kim SK. Accuracy of a digital removable partial denture fabricated by casting a rapid prototyped pattern: A clinical study. *J Prosthet Dent* 2017;118:468-74.
13. Bilgin MS, Baytaroglu EN, Erdem A, Dilber E. A review of computer-aided design/computer-aided manufacture techniques for removable denture fabrication. *Eur J Dent* 2016;10:286-91.
14. Lima JM, Anami LC, Araujo RM, Pavanelli CA. Removable partial dentures: use of rapid prototyping. *J Prosthodont* 2014;23:588-91.
15. Ye H, Ning J, Li M, Niu L, Yang J, Sun Y, Zhou Y. Preliminary clinical application of removable partial denture frameworks fabricated using computer-aided design and rapid prototyping techniques. *Int J Prosthodont* 2017;30:348-53.
16. Lang LA, Tulunoglu I. A critically appraised topic review of computer-aided design/computer-aided machining of removable partial denture frameworks. *Dent Clin North Am* 2014;58:247-55.
17. Negm EE, Aboutaleb FA, Alam-Eldein AM. Virtual evaluation of the accuracy of fit and trueness in maxillary poly(etheretherketone) removable partial denture frameworks fabricated by direct and indirect CAD/CAM techniques. *J Prosthodont* 2019;28:804-10.
18. Seelbach P, Brueckel C, Wöstmann B. Accuracy of digital and conventional impression techniques and workflow. *Clin Oral Investig* 2013;17:1759-64.
19. Cho SH, Schaefer O, Thompson GA, Guentsch A. Comparison of accuracy and reproducibility of casts made by digital and conventional methods. *J Prosthet Dent* 2015;113:310-5.
20. Patzelt SB, Emmanouilidi A, Stampf S, Strub JR, Att W. Accuracy of full-arch scans using intraoral scanners. *Clin Oral Investig* 2014;18:1687-94.
21. Ender A, Attin T, Mehl A. In vivo precision of conventional and digital methods of obtaining complete-arch dental impressions. *J Prosthet Dent* 2016;115:313-20.
22. Güth JF, Runkel C, Beuer F, Stimmelmayer M, Edelhoff D, Keul C. Accuracy of five intraoral scanners compared to indirect digitalization. *Clin Oral Investig* 2017;21:1445-55.
23. Hazeveld A, Huddleston Slater JJ, Ren Y. Accuracy and reproducibility of dental replica models reconstructed by different rapid prototyping techniques. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2014;145:108-15.
24. Revilla-León M, Özcan M. Additive manufacturing technologies used for processing polymers: current status and potential application in prosthetic dentistry. *J Prosthodont* 2019;28:146-58.
25. Williams RJ, Bibb R, Rafik T. A technique for fabricating patterns for removable partial denture frameworks using digitized casts and electronic surveying. *J Prosthet Dent* 2004;91:85-8.
26. Wu J, Wang X, Zhao X, Zhang C, Gao B. A study on the fabrication method of removable partial denture framework by computer-aided design and rapid prototyping. *Rapid Prototyp J* 2012;18:318-23.
27. Torii M, Nakata T, Takahashi K, Kawamura N, Shimpo H, Ohkubo C. Fitness and retentive force of cobalt-chromium alloy clasps fabricated with repeated laser sintering and milling. *J Prosthodont Res* 2018;62:342-6.
28. Torabi K, Farjood E, Hamedani S. Rapid prototyping technologies and their applications in prosthodontics, a review of literature. *J Dent (Shiraz)* 2015;16:1-9.
29. Hitzler L, Alifui-Segbaya F, Williams P, Heine B,

Heitzmann M, Hall W, Merkel M, Öchsner A. Additive manufacturing of cobalt-based dental alloys: analysis of microstructure and physicommechanical properties. Adv Mater Sci Eng 2018;2018: 1-12.

국소의치 구조물(framework)의 CAD-CAM 제조방식에 따른 정확도: 문헌고찰

이유승*

서울대학교치과병원 치과보철과

목적: 본 연구의 목적은 CAD-CAM 방식으로 제작한 RPD framework의 제조 과정 및 제작 방법에 따른 적합도를 문헌 고찰을 통해 평가하는 것이다. **재료 및 방법:** 다음의 PICO (patient, intervention, comparison, and outcome) 질문과 관련한 특정 키워드를 이용하여 PubMed 데이터베이스 상에서 포괄적인 문헌 검색을 시행하였다: “제조 과정 및 제작 방식에 따라 디지털 RPD framework의 정확도에 차이가 있는가?” **결과:** 총 7개의 문헌이 선택되었으며, 이 중 두 문헌에서 구강스캔과 모형스캔을 이용한 디지털 RPD framework의 정확도에 관하여 비교하였으나, 일관된 결과를 얻지 못하였다. 제작 방식에 따른 비교 문헌에서는 적층 가공 또는 절삭 가공을 통해 제작된 RPD framework 모두 임상적으로 허용가능한 수준의 정확도를 보였으며, PEEK (Polyetheretherketone) milling RPD framework가 전통적 주조방식으로 제작하거나 3D 프린팅으로 제작한 RPD framework보다 높은 적합도를 보였다. Milling RPD framework에서는 direct 방식으로 제작한 경우에 indirect 방식의 경우보다 우수한 적합도가 관찰되었으나, 3D 프린팅 RPD framework에서는 indirect 방식으로 제작한 경우에 더 높은 적합도를 보였다. **결론:** CAD-CAM 기술을 이용하여 제작된 디지털 RPD framework는 제조 과정이나 방식에 관계없이 임상적으로 허용되는 수준의 정확도를 보였다. 구강스캔 또는 모형스캔의 디지털 인상 채득 방법에 따라서는 일관된 결과가 보고되지 않았으며, 추후 연구가 필요하다. (대한치과보철학회지 2021;59:370-8)

주요단어

CAD-CAM; 제조방식; 디지털; 국소의치

교신저자 이유승
03080 서울 중로구 대학로 101
서울대학교치과병원 치과보철과
02-2072-4495
yiyuseung@gmail.com

원고접수일 2021년 3월 16일
원고최종수정일 2021년 6월 17일
원고채택일 2021년 6월 21일

© 2021 대한치과보철학회
© 이 글은 크리에이티브 커먼즈
코리아 저작자표시-비영리
4.0 대한민국 라이선스에
따라 이용하실 수 있습니다.