https://doi.org/10.14368/jdras.2024.40.3.135
ISSN 2384-4353 eISSN 2384-4272

Original Article

# Effects of wax rim in image registration of intraoral and face scan in edentulous arch condition

Sang-Hyeok Seo[1], Cheong-Hee Lee[1], Kyu-Bok Lee[1,2], So-Yeun Kim[1], Du-Hyeong Lee[1,3]*
[1]*Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Kyungpook National University, Daegu, Republic of Korea*
[2]*Advanced Dental Device Development Institute, Kyungpook National University, Daegu, Republic of Korea*
[3]*Institute for Translational Research in Dentistry, Kyungpook National University, Daegu, Republic of Korea*

**Purpose:** The purpose of this study was to investigate the accuracy of image merging of an intraoral scan of an edentulous arch to a facial scan using wax rim and markers. **Materials and Methods:** For registration of oral scan to face scan, a wax rim with markers was made. The markers were cuboid and divided into four groups according to size (5, 10 mm) and attachment location (midline, canine region). The evaluation of registration accuracy was compared with a standard created using cone-beam computed tomography data. Anterior linear variation of the edentulous arch and the 3D variation of the overall arch were measured. Kruskal-Wallis test and Mann-Whitney U test were used for statistics, and the significance level was set at 0.05 and evaluated under Bonferroni correction (0.05/6 = 0.083). **Results:** In the anterior deviation and global deviation results, there was no statistically significant difference in the oral scan position displacement values between the 5 mm and 10 mm groups. When the midline marker was used, the intraoral scan position displacement value was significantly lower than when only the canine marker was used. **Conclusion:** Marker attached wax rim can be used for image matching between facial and intraoral scans of the edentulous arch. Marker location at the middle area increases the accuracy of image matching. **(J Dent Rehabil Appl Sci 2024;40(3):135-41)**

**Key words:** edentulous arch; wax rim; marker; facial scan; oral scan; image integration

## 서론

구강 스캔과 안면 스캔은 의학 분야에서 치료와 상담에 널리 사용되며 정확도와 사용 편의성 면에서 지속적으로 발전하고 있다.[1] 구강 스캔은 인상재를 사용하지 않아 재료비를 절감하고 인상 과정에서 오차를 줄여주는 등 여러 이점이 있다.[2] 또한 트레이를 입 안에서 장시간 유지해야 하는 불편함도 줄일 수 있다.[2] 안면 스캔은 주로 안면 성형외과, 치과, 안경 제작 및 피부과 분야에서 사용되고 있다.[3] 안면 스캔은 광원과 운영 방식에 따라 사진측량술, 구조화 광원 스캔, 그리고 레이저 스캔으로 분류된다.[4,5] 안면 스캔을 통해 대상자의 얼굴 형태와 구조를 정밀하게 분석하여 3차원 모델을 생성하고 맞춤형 치료 및 보철물을 제작하는 데 도움이 될 수 있다.[6]

구강 스캔과 안면 스캔 데이터를 획득한 후, 이 두 영상을 정합하여 3차원 가상 환자를 생성하여 진단 및 치료 과정에 직접 활용할 수 있다.[7,8] 영상 정합 방법 중 구외 마커를 활용한 방식이 주로 사용되어 왔다.[9] 영상 정합의 정확도 향상을 위해 구외 마커의 형태에 대한 연구가 이루어지고 있다.[10,11] 최근에는 구조화 광원을 이용한 안면 스캔의 도입으로 상악 전치부, 눈, 입술 등 다양한 해부학적 구조의 영상 취득 정확도가 향상되었다.[9] 그리하여 전치가 있는 대상의 경우 구강 스캔과 안면 스캔에서 공통적으로 획득된 영역을 기반으로 가상 환자를 생성할

*Correspondence to: Du-Hyeong Lee
Professor, Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Institute for Translational Research in Dentistry, Kyungpook National University, 2175 Dalgubeoldaero, Jung-gu, Daegu, 41940, Republic of Korea
Tel: +82-53-600-7676, Fax: +82-53-426-7661, E-mail: deweylee@knu.ac.kr
Received: June 12, 2024/Last Revision: June 27, 2024/Accepted: July 2, 2024

Copyright© 2024 The Korean Academy of Stomatognathic Function and Occlusion.
©It is identical to Creative Commons Non-Commercial License.

수 있다.[12]

현재 디지털 방식으로 무치악 악궁에서 의치를 제작하는 방법이 소개되어 널리 활용되고 있다.[13,14] 무치악의 경우 치아가 없기 때문에 구강 외 마커를 부착하여 구내 및 안면 스캔을 정합하는 것이 흔히 사용되는 방법이다.[15] 한편, 영상 정합의 편의성을 높이기 위해 왁스림을 매개체로 활용하는 방법도 고려될 수 있다.[16] 왁스림은 진단 모형 상에서 쉽게 제작할 수 있어서 유용하다. 본 연구의 목적은 무치악 악궁에서 마커가 부착된 왁스림을 이용하여 구강 스캔과 안면 스캔을 정합하는 방법의 정확도를 평가하는 것이다. 또한 정합 마커의 크기와 위치에 따라 정합 정확도의 차이를 확인하고자 한다.

## 연구 재료 및 방법

### 스캔 정합용 왁스림 제작 및 영상 촬영

71세 여성이 상악 가철성 보철물 제작을 위해 내원하였다. 디지털 방식의 진단과 치료 계획을 수립하기 위해 3차원 가상 환자를 생성하기로 결정했었다. 먼저 알지네이트(Aroma Fine PLUS, GC, Tokyo, Japan)로 상악 무치악 예비인상을 채득한 후, 석고모형 상에서 기록상(recording base)과 왁스림을 제작하였다. 왁스림은 모델링 왁스로 전체적인 형태를 잡고, 광학 스캔의 정확성을 향상하기 위해 알루왁스(Aluwax, Aluwax Dental Products, Allendale, USA)로 표면을 마무리하였다. 구강 내에서 왁스림을 장착한 후 중심위로 유도하여 수직 고정을 확립하였다.

정합 마커는 알루왁스를 이용하여 가로와 세로 길이가 각각 5 mm 또는 10 mm이고 높이가 1 mm인 직육면체 모양으로 제작하였다. 마커는 양측 견치 위치(lateral) 또는 정중선과 견치 부위(midline & lateral)에 부착되었다. 따라서 전체 연구는 4개의 군(5 mm 마커가 측면에 위치한 군(5L), 5 mm 마커가 정중선과 견치부에 위치한 군(5ML), 10 mm 마커가 측면에 위치한 군(10L), 10 mm 마커가 정중선과 견치부에 위치한 군(10ML))으로 설계되었다(Fig. 1, 2).

각 군의 왁스림을 구강 스캐너(i700; Medit, Seoul, Korea)로 촬영하여 영상 자료를 수집하고, 환자의 구강에 장착한 후 구조화 광원 방식의 안면 스캐너(Rayface 200; Ray, Seoul, Korea)를 사용하여 미소 시의 안면 스캔을 각 조건에서 5회 수행하였다. 구강스캔 데이터는 석고모형

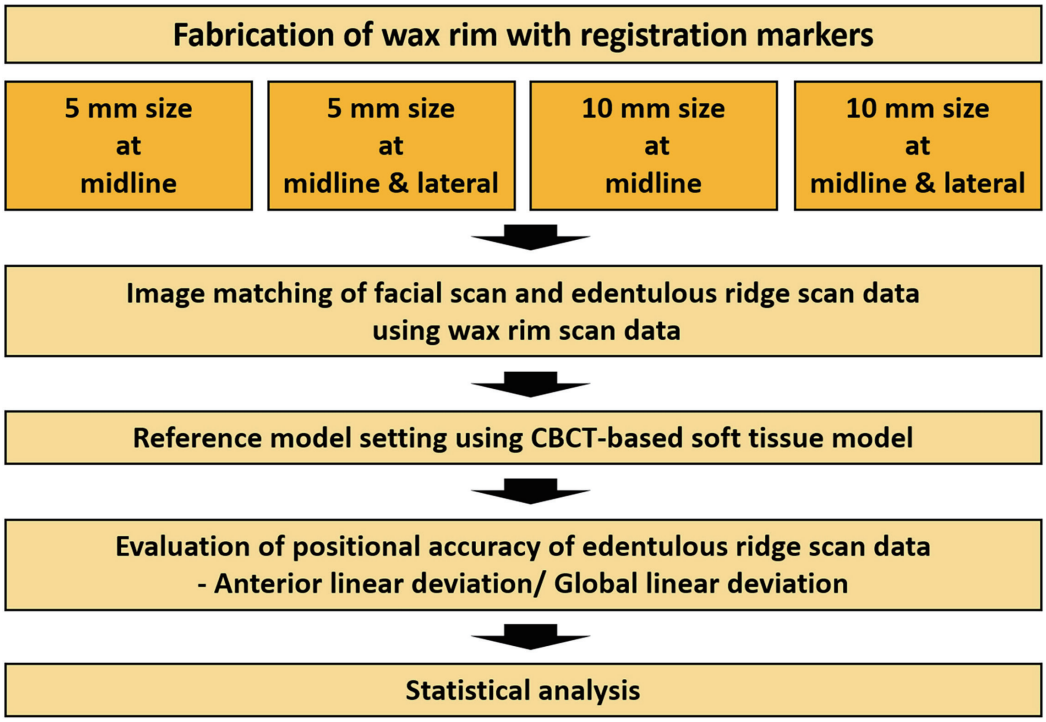



**Fig. 1.** Workflow of this study.

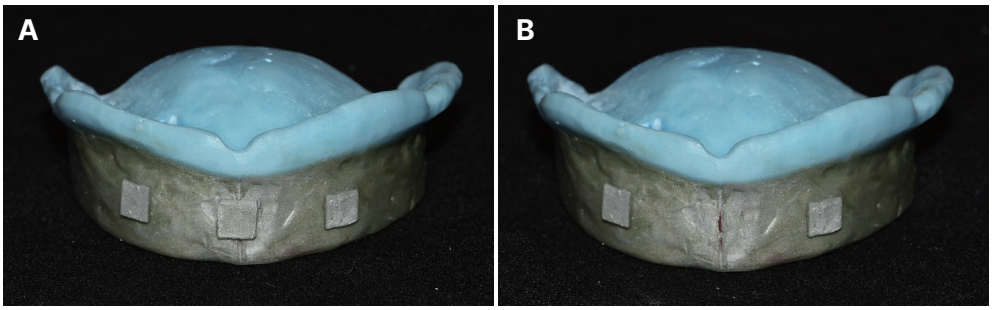



**Fig. 2.** Position of markers at (A) Midline and lateral area, (B) Lateral area.

을 스캔하여 생성하였다. 본 연구 절차는 경북대학교 치과병원 임상시험심사위원회의 승인을 받았으며, 참가자에게 연구 목적을 설명하고 동의를 얻은 후 진행되었다(KNUDH-2023-10-04-00).

### 구강 스캔 데이터와 안면 스캔과의 영상 정합

구강 스캔 데이터와 안면 스캔 데이터를 병합하기 위해 왁스림 스캔을 활용하였다. 왁스림 스캔과 안면 스캔의 STL 파일을 3차원 영상 조절 소프트웨어 Geomagic Design X (3D Systems, Rock Hill, USA)로 불러온 후, 각 군에서 왁스림 상의 마커 이미지를 활용하여 포인트 기반 자동 영상 매칭 방식으로 영상을 정합하였다. 그 후에는 구강 스캔 데이터를 왁스림 스캔에 소대와 구상절흔의 해부학적 지표를 이용하여 중첩하였다. 이를 통해 안면 스캔에 무치악 구강 스캔의 배열이 완료되었다.

### 영상 정합의 정확성 평가

배열된 구강 스캔의 위치 정확도는 기준 위치와 비교하여 평가되었다. 기준 위치를 설정하기 위해 환자의 콘빔 컴퓨터 단층촬영(PaXFlex3D; Vatech, Seoul, Korea)영상을 사용하였다. CBCT 데이터를 R2GATE 소프트웨어(MegaGen, Daegu, Korea)로 전송하여 gray value를 조절하여 연조직이 잘 보이도록 조정하고 STL 파일로 저장하였다. 이후 3차원 영상 조절 소프트웨어인 Geomagic Design X로 파일을 불러와서 안면 스캔과 코 영역을 기반으로 포인트 기반 자동 이미지 매칭을 사용하여 영상을 정합하였다.[17] 구강 스캔의 정렬은 CBCT 연조직 모델에서 구강 영역을 추출하고 영상 매칭을 통해 수행하였다. 이를 통해 구강 스캔에 대한 안면 스캔의 기준 위치를 확립하였다.

위치 정확성은 무치악 악궁의 전방부에서의 선상 변이(anterior linear deviation)와 안궁의 전체적 변이(global linear deviation)를 기준으로 평가하였다. 전방부 선상 변이는 정중 시상면(mid-sagittal plane)상에서 각 군의 절치유두와 기준 위치의 절치유두 간의 직선 거리를 측정하였다. 전체적 변이는 각 군의 구강 모형 위치와 기준 위치 사이의 3차원적 변위를 root-mean-square errors (RMSE) 값으로 평가하였다(Fig. 3).[9]

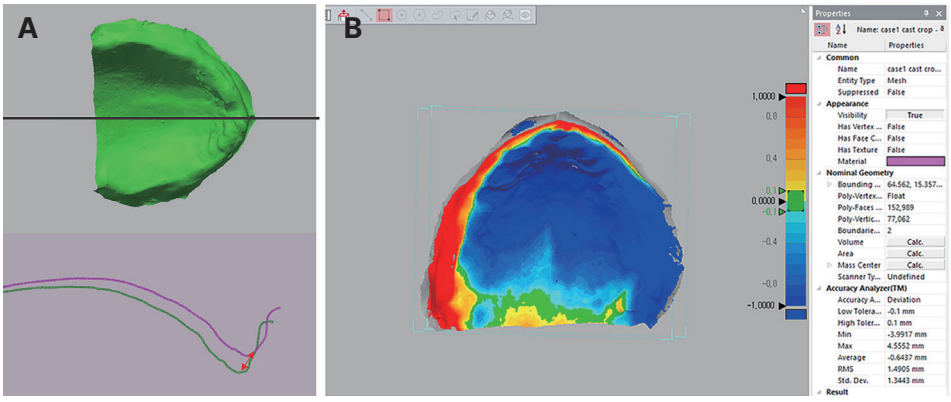



**Fig 3.** Outcome variable. (A) Anterior deviation, (B) Global deviation.

### 통계 분석

통계 분석은 SPSS 25.0 for Windows 소프트웨어(SPSS Inc., Chicago, USA)를 사용하여 수행하였다. 각 매칭 방법별로 측정된 결과값을 기반으로 군별 결과 변수의 평균과 표준편차를 계산하였다. 전체적인 군간의 차이는 비모수법인 Kruskal-Wallis 검정으로 분석하였고, 각 군간의 사후분석은 Mann-Whitney U 검정을 시행하고 통계적 유의성은 Bonferroni correction (0.05/6 = 0.083)을 적용하여 평가하였다.

## 결과

왁스림 상의 정합 마커의 크기와 위치에 따라 결과 변수의 평균과 표준편차를 계산하였다. Anterior deviation에서의 군간 비교에서는 5ML군과 5L군($P < 0.001$), 5ML군과 10L군($P = 0.003$), 5L군과 10ML군($P < 0.001$), 10ML군과 10L군($P < 0.001$) 간에는 통계적으로 유의한 차이가 있었으며, 5ML군과 10ML군, 5L군과 10L군 간에는 유의한 차이가 없었다($P = 0.143$ & $0.242$) (Fig. 4).

Global deviation에서의 군간 비교에서는 5ML군과 5L군($P < 0.001$), 5ML군과 10L군($P < 0.001$), 5L군과 10ML군($P < 0.001$), 10ML군과 10L군($P < 0.001$) 간에도 통계적으로 유의한 차이가 있었으며, 5ML군과 10ML군, 5L군과 10L군 간에는 유의한 차이가 없었다($P = 0.932$ & $0.178$). Anterior deviation과 Global deviation의 결과는 비슷한 경향을 나타내고 있었다(Fig. 5).

전체적으로 정합 마커의 크기가 5 mm와 10 mm인 군간의 구강 스캔 위치 변위값은 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 또한 정합 마커가 lateral에만 위치한 조건보다 midline과 lateral 부위에 모두 위치할 때 구강 스캔 위치 변위값이 유의하게 낮았다.

## 고찰

본 논문은 무치악 악궁에서 구강 스캔과 안면 스캔을 병합할 때 왁스림을 활용하여 별도의 구외 마커 장치를 사용하지 않고 정합하는 방법의 정확도에 대한 것이다. 현재 유치악에서 이용되는 전방부 치아를 기준으로 한 안면 스캔과 구강 스캔의 병합과 같이 이와 유사한 방식인 왁스림을 이용하여 정합하는 방법은 임상적으로도 의미가 있다. 이를 통해 가상 환자 생성 과정의 절차를 간소화하여 의료진이 더 효율적으로 작업할 수 있도록 도움을 준다.

안면 스캔을 획득할 때 영상 정합을 위한 마커는 명확하게 촬영되어야 한다. 마커의 형상이 3차원적으로 정밀하게 채득되면 정합 정확도가 향상된다. 본 연구에서는 5 mm와 10 mm 크기의 정사각형 모양 마커를 사용했다. 두 크기의 마커 간에는 정합 정확성에서 유의한 차이가 나타나지 않았는데, 이는 두 마커 모두 안면 스캔에서 잘 촬영되어 형상이 명확히 인식된 결과로 해석된다. 마커가 너무 작으면 안면 스캔 상에서 형태가 왜곡되어 실제 형상과 일치하지 않을 수 있으며, 이 경우 정확한 정합을 보장할 수 없다.[18] 한편, 본 연구 결과와 같이 안면 스캐너가 사진측량 방식이 아닌 구조화 광원을 사용하고 스캔의

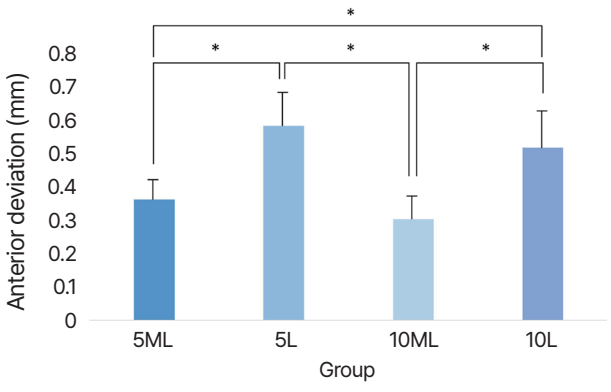



**Fig. 4.** Anterior deviation of aligned maxillary model in each group.
5: 5-mm size; 10: 10-mm size; ML: midline and lateral position; L: lateral position.
* Statistical significance.

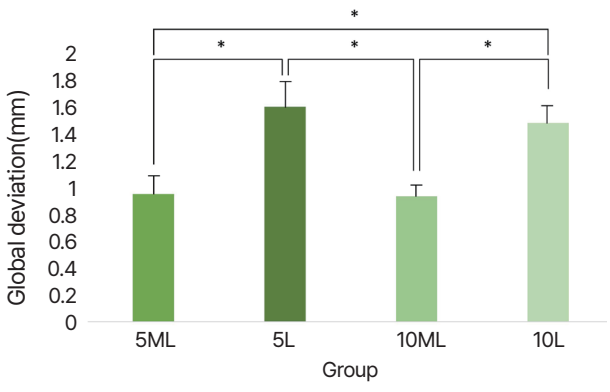



**Fig. 5.** Global deviation of aligned maxillary model in each group.
5: 5-mm size; 10: 10-mm size; ML: midline and lateral position; L: lateral position.
* Statistical significance.

해상도가 높아서 마커의 크기가 영향을 미치지 않은 것으로 사료된다. 영상을 정합할 때는 술자가 지정한 정합 포인트를 기반으로 주변 형상을 평가하는 반자동 방식이 주로 사용되고 있다. 따라서 마커에 뚜렷한 색깔이나 표시가 시각적으로 나타난다면 정합의 정확성을 높일 수 있을 것이다.

본 연구에서는 마커를 정중부 혹은 견치부에 위치시켰다. 안면 스캔의 형상을 관찰한 결과, 정중부에 위치한 마커보다 견치부에 위치한 마커의 형태가 더 왜곡된 것을 확인할 수 있었다. 특히 견치부 마커의 형태는 근심면보다 원심면이 더 변형되는 양상을 보였다. 본 연구에서 사용된 안면 스캐너는 안면 중심에 있는 중절치 부위가 측면 부위보다 더 정교하게 촬영되는 것으로 생각된다. 이러한 결과는 안면 스캐너의 심도 인식 카메라 위치와 광원의 도달 정도 등에 영향을 받은 것으로 보인다. 따라서 사용하는 안면 스캐너의 특성과 성능을 잘 이해하고 왁스림에 최적의 위치에 마커를 부착하는 것이 중요하다. 스캔 변형을 감안한 마커의 형태 또한 고려해야 할 것이다.

의치 제작에서 일반적으로 사용되는 왁스는 모델링 왁스이다. 모델링 왁스는 표면에서 빛이 반사되거나 혹은 투과될 수 있어 광학 스캔 시 정확성에 영향을 줄 수 있다. 빛의 반사를 방지하기 위해 스캔 스프레이를 사용할 수 있지만, 이는 타액에 의해 제거되거나 뭉칠 수 있고, 과도하게 사용하는 경우 파우더를 흡입할 수도 있으므로 제한적으로 이용하는 것이 권장된다. 본 연구에서는 모델링 왁스로 악궁의 전체적인 형태를 형성하고 알루왁스로 표면을 마무리하였다. 이러한 접근은 스캔이 정확하게 이루어지면서도 악궁 왁스림을 형성할 수 있는 이점이 있지만, 부가적인 작업이 수반되기 때문에 광학 스캔에 적합한 왁스를 개발하고 이용하는 것이 필요하다.

본 연구는 실제 무치악 환자에서 시행한 것으로 인체 유사 마네킨을 이용하는 임상 전단계 연구에 비해 적용 가능성이 높지만 한 명의 환자에 대해서만 수행되었기 때문에 한계가 있다. 또한 안면 스캔에 사용된 스캐너도 한 가지로 제한되었다. 본 연구 결과의 일반화를 위해 향후에는 다수의 환자와 다양한 안면 스캐너를 포함하는 임상 시험이 필요할 것으로 생각된다. 또한, 본 연구에서는 배열된 구강 스캔의 위치 정확성을 평가하기 위해 CBCT 데이터를 이용하였다. 그 과정에서 CBCT 데이터를 연조직 모델로 변환하여 사용하였는데 CBCT의 field of view 제한으로 인해 코 영역만을 안면 스캔과의 정합에 이용하였다. 향후 연구에서는 상안모까지 확대된 field of view의 CBCT를 사용하여 안면 스캔과의 정합도를 높이는 것이 필요할 것으로 생각된다.

## 결론

1. 무치악 악궁의 구강 스캔과 안면 스캔 간의 영상 병합을 위해 왁스림을 매개체로 하는 방식을 이용할 수 있다.
2. 왁스림 정중부에 위치한 마커를 영상 정합에 이용하는 경우 측면부에 위치한 마커만 이용하는 경우보다 안면스캔과의 영상 정합도가 향상된다.

## Acknowledgements

This work was supported by the Korea Medical Device Development Fund grant funded by the Korea government (the Ministry of Science and ICT, the Ministry of Trade, Industry and Energy, the Ministry of Health & Welfare, Republic of Korea, the Ministry of Food and Drug Safety) (Project Number: 202011A02).

## ORCID

**Sang-Hyeok Seo** https://orcid.org/0009-0002-0771-1633
**Cheong-Hee Lee** https://orcid.org/0000-0002-2005-0801
**Kyu-Bok Lee** https://orcid.org/0000-0002-1838-7229
**So-Yeun Kim** https://orcid.org/0000-0001-6714-8315
**Du-Hyeong Lee** https://orcid.org/0000-0003-2803-7457

## References

1. Revilla-León M, Raney L, Piedra-Cascón W, Barrington J, Zandinejad A, Özcan M. Digital workflow for an esthetic rehabilitation using a facial and intraoral scanner and an additive manufactured silicone index: A dental technique. J Prosthet Dent 2020;123:564-70.
2. Suese K. Progress in digital dentistry: The practical use of intraoral scanners. Dent Mater J 2020;39:52-6.
3. Amornvit P, Sanohkan S. The Accuracy of Digital Face Scans Obtained from 3D Scanners: An In Vi-

tro Study. Int J Environ Res Public Health 2019;16:5061.
4. Piedra-Cascón W, Meyer MJ, Methani MM, Revilla-León M. Accuracy (trueness and precision) of a dual-structured light facial scanner and interexaminer reliability. J Prosthet Dent 2020;124:567-74.
5. Gibelli D, Dolci C, Cappella A. Sforza C. Reliability of optical devices for three-dimensional facial anatomy description: A systematic review and meta-analysis. Int J Oral Maxillofac Surg 2020;49:1092-106.
6. Amin SA, Hann S, Elsheikh AK, Boltchi F, Zandinejad A. A complete digital approach for facially generated full arch diagnostic wax up, guided surgery, and implant-supported interim prosthesis by integrating 3D facial scanning, intraoral scan and CBCT. J Prosthodont 2023;32:90-3.
7. Park JH, Lee GH, Moon DN, Yun KD, Kim JC, Lee KC. Creation of Digital Virtual Patient by Integrating CBCT, Intraoral Scan, 3D Facial Scan: An Approach to Methodology for Integration Accuracy. J Craniofac Surg 2022;33:e396-8.
8. Li J, Chen Z, Dong B, Wang HL, Joda T, Yu H. Registering Maxillomandibular Relation to Create a Virtual Patient Integrated with a Virtual Articulator for Complex Implant Rehabilitation: A Clinical Report. J Prosthodont 2020;29:553-7.
9. Mai HN, Lee DH. Effects of Artificial Extraoral Markers on Accuracy of Three-Dimensional Dentofacial Image Integration: Smartphone Face Scan versus Stereophotogrammetry. J Pers Med 2022;12:490.
10. Revilla-León M, Zeitler JM, Barmak AB, Kois JC. Accuracy of the 3-dimensional virtual patient representation obtained by using 4 different techniques: An in vitro study. J Prosthet Dent 2024;131:1178-88.
11. Revilla-León M, Zandinejad A, Nair MK, Barmak AB, Feilzer AJ, Özcan M. Accuracy of a patient 3-dimensional virtual representation obtained from the superimposition of facial and intraoral scans guided by extraoral and intraoral scan body systems. J Prosthet Dent 2022;128:984-93.
12. Kau CH. Creation of the virtual patient for the study of facial morphology. Facial Plast Surg Clin North Am 2011;19:615-22, viii.
13. Thalji G, Jia-mahasap W. CAD/CAM Removable Dental Prostheses: a Review of Digital Impression Techniques for Edentulous Arches and Advancements on Design and Manufacturing Systems. Curr Oral Health Rep 2017;4:151-7.
14. Papaspyridakos P, De Souza A, Bathija A, Kang K, Chochlidakis K. Complete Digital Workflow for Mandibular Full-Arch Implant Rehabilitation in 3 Appointments. J Prosthodont 2021;30:548-52.
15. Fang JH, An X, Jeong SM, Choi BH. Digital intraoral scanning technique for edentulous jaws. J Prosthet Dent 2018;119:733-5.
16. Yuan FS, Sun YC, Wang Y, Lü PJ. Accuracy evaluation of a new three-dimensional reproduction method of edentulous dental casts, and wax occlusion rims with jaw relation. Int J Oral Sci 2013;5:155-61.
17. Zhao YJ, Xiong YX, Wang Y. Three-Dimensional Accuracy of Facial Scan for Facial Deformities in Clinics: A New Evaluation Method for Facial Scanner Accuracy. PLoS One 2017;12:e0169402.
18. Woo HW, Mai HN, Lee DH. Comparisons of the Accuracy of Image Registration Methods for Merging Optical Scan and Radiographic Data in Edentulous Jaws. J Prosthodont 2020;29:707-11.

# 무치악 악궁에서 구강과 안면 스캔의 정합을 위한 왁스림의 활용 효과

**서상혁**[1] 전공의, **이청희**[1] 교수, **이규복**[1,2] 교수, **김소연**[1] 조교수, **이두형**[1,3]* 교수

[1]경북대학교 치과대학 치과보철학교실

[2]경북대학교 첨단치과의료기기개발연구소

[3]경북대학교 치의학중개연구소

**목적:** 본 연구의 목적은 무치악 악궁에서 마커가 부착된 왁스림을 이용하여 구강 스캔과 안면 스캔을 정합하는 방법의 정확도를 평가하는 것이다.

**연구 재료 및 방법:** 무치악 환자에서 3차원 가상 환자를 생성을 위해 구강 및 스캔 영상을 촬영하였다. 두 스캔 간의 정합을 위해 마커를 부착한 왁스림을 제작 후 안면 스캔을 획득하였다. 마커는 직사각형 형태로 하였고, 크기(5, 10 mm)와 부착된 위치(정중부, 견치부)에 따라 4개의 군으로 나누었다. 구강과 안면 스캔 간의 병합은 마커를 이용한 점 기반 자동 매칭 방식을 사용하였다. 정합 정확성 평가는 콘빔 컴퓨터 단층촬영 데이터를 이용하여 생성된 기준과 비교하였고, 무치악 악궁의 전방부 선상 변이와 전체적 악궁의 3차원 변이를 측정하였다. 통계에는 Kruskal-Wallis 검정과 Mann-Whitney U 검정이 이용되었고, 유의수준은 0.05로 설정하고 Bonferroni correction (0.05/6 = 0.083)을 반영하여 검증하였다.

**결과:** Anterior deviation과 global deviation 결과값에서 전체적으로 5 mm와 10 mm인 군 간의 구강 스캔 위치 변위값은 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 정중부 마커가 이용된 경우 견치부 마커만 이용된 경우보다 구강 스캔 위치 변위값이 유의하게 낮았다.

**결론:** 무치악 악궁의 구강 스캔과 안면 스캔 간의 영상 병합을 위해 왁스림을 이용할 수 있다. 마커가 정중부에 있는 경우 정합의 정확도는 향상될 수 있다.

(구강회복응용과학지 2024;40(3):135-41)

**주요어:** 무치악; 왁스림; 마커; 안면스캔; 구강스캔; 영상 정합

*교신저자: 이두형

(41940)대구광역시 중구 달구벌대로 2177 경북대학교 치과대학 치과보철학교실, 치의학중개연구소

Tel: 053-600-7676 | Fax: 053-426-7661 | E-mail: deweylee@knu.ac.kr

접수일: 2024년 6월 12일 | 수정일: 2024년 6월 27일 | 채택일: 2024년 7월 2일