creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

치의과학박사 학위논문

3D프린팅 모델 베이스를 이용한 치간칫솔의 인공치태 세정효과

Cleaning Effect of Interdental Brush on Artificial Plaque Using 3-dimensional printed Model Base

2023년 2월

서울대학교 대학원

치의과학과 신경생물학 전공

김 서 은

3D프린팅 모델 베이스를 이용한 치간칫솔의 인공치태 세정효과

지도교수 이 승 표

이 논문을 치의과학박사 학위논문으로 제출함
2022년 10월

서울대학교 대학원
치의과학과 신경생물학 전공
김 서 은

김서은의 박사 학위논문을 인준함
2022년 01월

위 원 장 _____ (인)
위 원 _____ (인)
위 원 _____ (인)
위 원 _____ (인)
위 원 _____ (인)

국문초록

3D프린팅 모델 베이스를 이용한 치간칫솔의 인공치태 세정효과

김 서 은

서울대학교 대학원 치의과학과 신경생물학 전공

(지도교수 이 승 표)

연구목적 : 치간위생도구의 올바른 선택과 사용에 관한 많은 연구가 수행된 바 있으며, 환자들의 수용도와 선호도가 높을 뿐만 아니라 치간부에서는 치간칫솔이 가장 효과적인 것으로 평가되고 있다. 하지만 치간칫솔의 크기 선택 및 사용 횟수에 대한 객관적 근거가 명확하지 않아 실험에 근거한 객관적이고 정량적인 결과가 필요하였다. 임상적 접근으로는 비용적, 시간적 문제뿐만 아니라 정량적 평가를 위한 기존 치태지수 평가 기준의 한계가 있었고, 비임상 연구에서는 실제 구강 구조의 재현성과 평가방식의 객관성에 한계가 있었다.

본 연구에서는 Computer-Aided Design(CAD)과 3D프린터를 이용한 모델을 제작하고 실험하여 객관적이고 재현이 가능한 연구 방법을 활용하여 사람의 치아 구조와 치간공극을 정밀하게 구현될 수 있도록 하였고, 연구결과를 통해 치간공극 크기 별 적절한 치간칫솔의 크기 및 사용 횟수에

대한 기초 결과를 제시하고자 하였다.

연구방법 : CAD와 3D프린터를 이용하여 두 가지 크기(0.7과 1.2mm)를 가진 치간공극 모델(치아)과 모델베이스(치은)를 제작하였다. 치간칫솔 직경 별(0.6, 0.7, 0.8, 1.0, 1.2, 1.5mm) 세정 효율을 평가하기 위해서 모델의 치간에 인공치태를 도포하였고, 9차 주기의 치간칫솔질을 수행하였다. 이후 디지털카메라를 이용하여 회차별 치간공극의 변화를 기록하였고, 촬영을 통해 얻은 디지털영상은 Image J(U.S. National Institute of Health, Bethesda, MD, USA)를 이용하여 인공치태가 세정된 부분의 픽셀을 백분율로 분석하였다.

연구결과 : 0.7mm 치간공극과 1.2mm 치간공극 모델에 치간칫솔을 사용하여 9차 주기의 치간칫솔질을 수행하였고, 치간칫솔의 직경을 달리하여 실험을 재현하였을 때 5차 주기에서 안정상태가 형성되었다. 안정상태가 형성된 지점에서, 두 가지 모델의 세정 효율은 각각 69.9~86.4% 와 49.8~75.4%였다. 이러한 결과를 근거로 0.7mm 치간공극과 1.2mm 치간공극에 대한 최적의 치간칫솔의 직경은 각각 1.2mm 치간칫솔과 1.5mm 치간칫솔이었고, 5차 주기의 치간칫솔질이 가장 효율적이었다. 세정효과는 9회차에서 86.4%와 75.4%로 가장 높았다.

결론 : 사람의 치간공극 구조를 CAD와 3D프린터로 제작한 모델과 모델베이스는 치간칫솔을 사용한 인공치태 세정 실험에 적합한 모델임을 입증하였다. 치간공극에 존재하는 인공치태 세정 효율을 정량적으로 측정하였고, 재현할 수 있음을 확인하였다. 실험 결과로는 치간공극의 크기에 따른 치간칫솔의 크기를 제시하였고, 세정 시 5차 주기의 치간칫솔질이 가장

효율적인 횟수임을 확인하였다. 또한, 3D프린팅 모델을 제시하여 향후 치간칫솔의 세정 효율에 대한 더욱이 객관적이고 정량적인 분석이 가능해질 것이다.

주요어 : 치간칫솔, 치태 세정, 3D프린팅 모델, 치은염, 치주질환
학 번 : 2018-31347

목 차

초록 ····· i

목차 ····· iv

제 1 장 서론 ····· 1

제 2 장 연구 재료 및 방법 ····· 8

2.1 재료 ····· 8

2.2 모델 제작 ····· 8

2.3 표본 제작 및 실험 방법 ····· 10

2.4 효능 평가 ····· 10

제 3 장 연구 결과 ····· 12

3.1 치간공극과 치간칫솔 직경 별 인공치태 세정 양상 비교 ····· 12

3.2 치간공극과 치간칫솔 직경 별 인공치태 세정율 비교 ····· 13

제 4 장 고찰 ····· 14

제 5 장 결론 ····· 19

참고문헌 ····· 20

Abstract ····· 41

표 목 차

Table 1. Experimental procedure for applying artificial plaque on the 3-dimensional model ····· 30

Table 2. Summary of standard cleaned area, cleaning efficacy, and standard error, for interdental brushes of five sizes over the cycles from 0 to 9, at 0.7 mm embrasure ····· 31

Table 3. Summary of standard cleaned area, cleaning efficacy, and standard error, for interdental brushes of six sizes over the cycles from 0 to 9, at 1.2 mm embrasure ····· 32

그 림 목 차

Figure 1. Front profiles of the six IDBs examined in the study: (a) 0.6 mm diameter, (b) 0.7 mm diameter, (c) 0.8 mm diameter, (d) 1.0 mm diameter, (e) 1.2 mm diameter, and (f) 1.5 mm diameter ····· 33

Figure 2. Representative digital images of (a) 0.7 mm embrasure and (b) 1.2 mm embrasure with cross-sectional images in the square ····· 34

Figure 3. Representing images of 3 dimensional reproduced (a) model, (b) model base, and (c) combination of model and model base for IDBs tested. ····· 35

Figure 4. Representing images of experimental procedures ····· 36

Figure 5. A Representative image of rectangle area of 2.08 × 0.47 cm was set from the bottom part of a point of contact between the first molar (distal surface) and the second molar (mesial surface) 37

Figure 6. Representative digital images of the artificial plaque coated #46 distal surface and the #47 mesial surface (0.7 mm embrasure) after (a) 1st, (b) 5th, and (c) 9th brushing cycles with

the 0.7 mm IDB, and (d) 1st, (e) 5th, and (f) 9th brushing cycles with the 1.2 mm IDB ····· 38

Figure 7. Gradual increment and convergence of the cleaning efficacy over the cleaning cycles at (a) 0.7 mm embrasure and (b) 1.2 mm embrasure. (Error bar: mean error; 5 repetitions for each data point) ····· 39

제 1 장 서론

치주질환은 구강병의 3대 질환으로 전 세계적으로 흔한 질환으로 성인 인구의 약 50%에 영향을 미친다. 치주질환은 크게 치은염과 치주염으로 나눌 수 있으며, 염증의 정도에 따라 구분된다. 그 중 심각한 치주염 유병률은 10~15%로 높은 수치를 보인다(Chapple *et al.*, 2015; Petersen and Ogawa, 2012). 치은염은 치은에 인접한 치아 표면에 축적된 치은연상치태에 의해서 유발되며 주변 조직의 변형은 동반되지 않아 비교적 경한 형태로 나타난다. 반면, 치주염은 치은연하치태에 의해 유발되어 치은변연에서부터 시작하며, 치은과 치아를 지지하는 주변 골조직과 결합조직까지 변형을 동반하는 중한 형태의 질환으로 골이 파괴되거나 치아 상실까지 이어질 수 있다(Gasner and Schure, 2022; Guzeldemir, 2020; Shaw *et al.*, 2016).

이러한 치주질환은 사회 경제적 측면에서도 막대한 영향을 미치는 공중보건의 문제로(Botelho *et al.*, 2022; Listl *et al.*, 2015; Tonetti *et al.*, 2017), 질병으로 인한 사회 경제적 부담이 커질수록 치료뿐만 아니라 예방을 통한 관리도 필요하다. 우리나라에서는 치주질환을 관리하기 위하여 보건복지부에서 지난 2013년 7월, 치주질환의 치료를 넘어 선제적 예방을 목적으로 스케일링의 비용을 지원하기 시작했으며, 2017년 7월에는 만 19세 이상으로 대상 연령층을 확대할 정도로 관심을 기울이고 있다. 이처럼 치주질환을 예방하기 위해서는 치간위생관리가 중요하며 이를 통해 근본적인 치주질환 예방의 기초가 될 수 있어 치태와 치간위생도구에 대한 연구가 필요하다.

임상 실험을 진행했던 선행 연구들(Claydon, 2008; Gennai *et al.*, 2022;

Otsuka *et al.*, 2020)에 의하면 치태는 전치부에 비해 구치부 인접면 치간에서 잔류량이 더 많았다. 이때 치태를 물리적으로 세정하기 위해 가장 보편적으로 사용하는 도구는 칫솔이다. 다만, 칫솔은 치아 표면을 세정하는 데 최적화되어있기 때문에 위에 언급된 구치부 치간 표면, 구치부 인접면, 치은 변연부의 치태를 세정하기에는 한계가 있어 치간위생도구를 병용할 필요가 있다(Bourgeois *et al.*, 2019b; Graziani *et al.*, 2018; Ng and Lim, 2019).

치간위생도구에 대한 선행 연구에서는 이쑤시개, 치실, 치간칫솔, 고무치간자극기, 워터픽 등이 유의미한 효과를 보였고(Berchier *et al.*, 2008; Hoenderdos *et al.*, 2008; Husseini *et al.*, 2008; Slot *et al.*, 2008) 그 중 치간칫솔이 가장 효과적인 것으로 보고되었다(Ng and Lim 2019). 한편, Schmage 등의 연구에서는 치간위생도구의 선택기준과 치간이 밀접한 관계가 있음을 보여주었고, 치간이 좁은 전치부의 경우 치실을 사용하는 것이 적합하지만 치간공극이 넓은 구치부에는 직경이 큰 치간칫솔이 치은열구를 세정하기 적합하다고 보고하였다(Schmage *et al.* 1999). 그뿐만 아니라 치간칫솔은 치은변연 아래 2~2.5mm까지 치태를 세정할 수 있고(Waerhaug, 1976), 환자들의 적응도 측면에서도 우수했으며 치실보다 사용하기 쉽다. 따라서 치간칫솔은 환자들의 치태 세정에 높은 효용을 보이는 치간위생도구라 할 수 있다(Chapple *et al.*, 2015; Noorlin and Watts 2007a).

치간세정은 치은 및 치주질환의 예방 및 치료에 중추적인 역할을 하므로 치태의 양을 조절하기 위해서 치간위생도구 중 환자들의 순응도가 높았던 치간칫솔과 칫솔의 병행적 사용에 대해 대중 및 학계의 관심이 증가해 왔다(Amarasena *et al.*, 2019; Noorlin and Watts, 2007b; Pitchika *et al.*, 2021; Worthington *et al.*, 2019). 비교 치태지수, 평균 치주탐침 깊이,

상대적 치간유두 수준 등을 실험한 임상 연구에서는 치간칫솔을 병용하였을 때 칫솔만 사용한 경우보다 더 우수한 세정효과를 보였으며, 특히 치은출혈지수가 더 낮은 것으로 보고되었다(Bourgeois *et al.*, 2019a; Bourgeois *et al.*, 2016; Lee *et al.*, 2021). 또한, 무작위 대조 시험에서 50명의 피험자를 대상으로 치실과 치간칫솔 사용 간 효능의 차이를 설명한 뒤 비교실험을 진행하였을 때, 치간칫솔을 사용한 사람에게서 치간공극의 치태가 더욱 효과적으로 세정되었다는 연구도 보고되었다(Rosing *et al.*, 2006). 마찬가지로 European Federation of Periodontology 2015 Workshop에서는 "치간칫솔로 청소하는 것이 치간 근심면을 청소할 때 가장 효과적인 방법"이라고 보고된 바 있다(Ng and Lim, 2019). 즉, 치실보다 치간칫솔 사용 시 치태 세정율이 더 높고 효과적이라는 일관적인 결과를 확인할 수 있었다.

치간칫솔은 현재 0.4mm~1.5mm까지 다양한 직경이 존재한다. 그러나 다양한 직경이 존재함에도 치간칫솔 크기를 선택하는 기준은 환자들의 치간공극에 딱 맞거나(Slot *et al.*, 2008) 약간 큰 크기(Carrouel *et al.*, 2016)를 사용하도록 권장하는 지침만 존재하며, 개인마다 다양한 치간공극의 형태와 치간을 고려한 치간칫솔의 크기 선택 및 사용 횟수에 대해 실험에 의거한 객관적이고 정량적인 연구가 부족한 실정이다. 더욱이 건강한 치은일수록 치은이 치간을 채우고 있는 형태를 띄우고 있어 본인에게 크기가 맞지 않는 치간칫솔을 사용하면 치은에 외상을 유발할 수 있기 때문에 치간칫솔의 크기 선택에 관한 보다 명확한 지침이 필요하다(Esra, 2020). 이에 Baumgartner 등이 연구에서는 치간칫솔을 선택하는 기준을 제시하기 위하여 치간칫솔의 직경과 치간공극을 고려한 기하학적(Geometrical) 모델과 해부학적(Anatomical) 모델로 실험을 진행한 바 있었다(Baumgartner *et al.* 2019). 하지만 사람 치아 간격이 0.4mm~0.5mm인

것을 고려하였을 때, 해당 연구에서는 기하학적 모델과 해부학적 모델 모두 치아 사이가 1mm~5mm로 구현되었고, 심지어 치간이 측정되지 않는 모델도 존재하였다. 더욱이 이에 적용할 수 있는 치간칫솔의 직경은 2mm~9mm로 구현되었기 때문에, 실제 사람 치아에 대입하기에는 기술적 한계가 존재하였다. 또한 임상 연구를 통해 치간칫솔의 모양과 세정효과에 대한 효율을 확인할 수 있었다. 그러나 임상 연구의 특성상 기존에 치태지수를 평가하던 기준으로는 치간공극에 위치하는 치태를 정량적으로 평가하기에 한계가 존재하였다(Paque *et al.*, 2020). 이처럼 치간칫솔의 직경과 치간공극의 상관관계에 관한 연구, 그리고 이에 기초가 되는 실제 적용할 수 있는 모델에 관한 연구의 필요성이 증가하였고, 이러한 한계를 극복하기 위하여 치의학계에도 CAD와 3D프린터가 도입되기 시작하였다.

Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing(CAD/CAM)과 3D프린터 분야는 지난 50년간 넓은 산업 분야에서 비약적인 발전을 이루어냈고, 특히 치의학 분야에서는 약 30년 전부터 그 영역을 넓혀왔다(Dawood *et al.*, 2015; Mascha *et al.*, 2017b). 과거 치과에서의 제작공정은 주로 주조 및 절삭공정을 지칭하였으나 절삭공정으로는 복잡한 구조물을 제작하는 것에 한계가 있었다. 이때 3D프린팅 시스템이 발전하며 근관치료학, 구강악안면외과학, 보철치료학 등 치의학계에서 활용되고 있다. 특히, 사람의 상악 및 하악, 또는 턱관절 구조와 같은 복잡하고 정밀한 3차원 정보의 획득부터 손상된 하악의 재건 시 외과적 모델링 및 제작과 활용까지 가능한 수준으로 고도의 정밀성을 보인다(Jacek *et al.*, 2018a; Mascha *et al.*, 2017b; Pillai *et al.*, 2021; Tian *et al.*, 2021). 2021년 법의학 분야에서 5가지 유형의 3D프린터를 사용하여 제작한 치아 모델의 정확도를 평가한 연구가 보고되었고 이때, 가장 널리 사용되는 5가지의 3D프린팅 기술인 Fused Deposition Modeling technique(FDM), StereoLitho

graphy Apparatus(SLA), Selective Laser Sintering(SLS), MultiJet Fusion technology(MJF), Digital Light Processing(DLP) 방식들이 사용되었다. 해당 연구에서 12개의 사람 치아 상악 제1 소구치를 스캐닝 후 원본 자연치아와 출력한 치아의 평균 모델의 크기를 비교하였을 때, 자연치아와의 오차율이 가장 낮았던 3D프린터는 DLP 3D프린터였으며, 오차율이 가장 높았던 모델은 FDM 3D프린터였다. 그러나 총 5 종류의 3D프린터로 제작된 모델 모두 오차 값은 통계적 허용 범위 내에 있었으므로, 해당 연구에서 테스트한 다양한 3D프린터를 통해 생산된 모델들은 형태학적 정확성을 보여주었다(Johnson *et al.*, 2021). 그뿐만 아니라 뼈와 치아를 고려하여 교합의 위치와 방향을 계획하여 정확한 최종 결과를 얻어야 하는 보철, 의치, 임플란트 수술에 관한 다양한 연구에서도 CAD와 3D프린터가 이용되었다. 특히 악안면 영역은 해부학적, 기능적으로 복잡한 혈관 및 신경들이 분포되어있는 조직들로 구성되어 있으므로 정밀한 외과적 기술과 계획을 위해서 CAD와 3D프린팅 기술은 유용한 도구이다. 이러한 CAD 기술을 통해 개인별 맞춤 수술의 핵심 영역을 그래픽으로 표현한 뒤, 재건 및 임플란트 식립을 위한 수술가이드를 제작한 연구도 보고되었다(Emodi *et al.*, 2017; Jacek *et al.*, 2018b; Mascha *et al.*, 2017a). 선행 연구에 따르면 기존의 수술가이드는 파노라마방사선영상을 기반으로 하였지만 방사선 영상의 왜곡과 선명도 부족 등으로 인해 수술가이드 제작 시 정확도와 신뢰성에 한계가 있었다고 보고하였다. 하지만 구강스캐너 기술과 CAD 및 SLA 방식의 3D프린터를 이용하여 임상 치료의 정확성을 높이고 시간 단축을 크게 향상시킬 수 있다고 보고하였다. 특히 전통적인 수술가이드와 SLA 타입 3D프린팅 임플란트 식립 가이드를 비교하였을 때 SLA 타입이 현저히 높은 정확도를 보여주었다(Tian *et al.*, 2021). 이와 같이 다양한 재료의 개발과, 스캐너 및 3D프린터의 발전 등 여러 측면에서

CAD와 3D프린팅 기술이 개선되었고, 이를 바탕으로 3D프린팅 기술은 CAD 데이터를 이용하여 신속하게 새로운 디지털 모델을 제작할 수 있게 되었다.

지금까지 치과보철 수복을 위해서 전통적인 방법으로 왁스소환주조법이 사용되었으나 복잡하고 시간과 사람의 노력이 필요하였다. 일례로 수지상 총의치 제작은 전통적인 방식으로 제작할 때 금형(Mold), 절단 도구(Cutting tools) 그리고 고정장치(Tooling fixtures) 등의 다양한 재료와 복잡한 단계들이 요구되었다면, CAD와 3D프린터 이용 시 신속히 CAD로 디자인하고 제작물 데이터를 직접 수신하여 3D프린터로 제작함으로써 제작과정과 시간을 단축할 수 있었다(Bassoli *et al.*, 2007). 또한 3D프린터로 맞춤형 개인 트레이를 제작 시, 적절하게 3D 공간을 확보할 수 있고 인상재를 정확한 데이터 설정값으로 매끈하고 균일하게 적용할 수 있어서 정확도가 크게 향상되었음을 확인할 수 있었다(Chen *et al.*, 2016). 이와 같이 CAD와 3D프린터를 사용하여 만든 모델을 실험에 적용하기에 적합하다는 사실을 확인하였으며, 보철물을 스캐닝, 디자인, 제작하여 수복하였을 때 정확도가 상당히 향상되었음을 선행 연구를 통해 확인하였다(Johnson *et al.*, 2019). 또한 3D프린터를 사용한 선행 연구 중 다양한 직경의 치간칫솔을 사용하여 인공치태 세정 효능을 입증하기 위해 치간을 단순화(이등변삼각형, 오목형, 볼록형) 하여 각각의 치간공극을 1.0, 1.1 및 1.3mm로 구현한 연구도 보고되었지만(Graetz *et al.*, 2021), 단순화된 구조로는 사람 치간을 완벽히 대체하기 어렵다고 보고된 바 있다(Graetz *et al.*, 2020). 이처럼 3D프린팅 기술의 정밀도와 정확도가 상당히 향상되었음에도 선행 연구에서는 실제 치간공극 구조를 현실적으로 재현하지 못하였음을 확인할 수 있었다.

모델을 제작하는 방법으로 자동화된 절삭 가공 방식인 CAM과 적층방

식의 3D프린터 혹은 전통적인 방식인 왁스소환주조법을 고려할 수 있었다. 하지만 본 연구에 사용되는 모델의 경우 체적이 크며 모델과 모델 베이스의 상호작용을 요하는 구조적 복잡성으로 인하여 CAM을 사용할 시 시간이 많이 소요되고 기계에도 무리가 가기 때문에 적합하지 않았다. 또한 왁스소환주조법을 사용할 때에도 환자의 구강 내에서 인상채득을 해야 하며 여러 단계를 거쳐야 하므로 시간적 소요가 크다. 하지만 3D프린터의 경우 모델 제작 시 빠르고 정확하게 출력할 수 있으며 동일한 설정값을 입력하면 동일한 모델을 출력할 수 있어 최근 임상과 비임상 연구에서 유용하게 쓰이고 있다. 따라서 본 연구에서는 CAD와 3D프린터를 이용하여 구조적, 공간적 제약 없이 신속하고 정확하게 치아 구조 및 치간공극을 제작 및 구현하여 객관적이고 정량적으로 수행할 수 있는 연구 모델을 제시하고자 한다. 또한 제작한 모델에 인공치태를 도포한 뒤, 다양한 직경의 치간칫솔을 적용하여 최적의 직경의 치간칫솔과 그에 따른 효율적인 치간칫솔질 횟수를 확인하고자 한다.

제 2 장 연구 재료 및 방법

2.1 재료

건전한 법랑질의 평균 경도인 350 KHN(Knoop Hardness Number)과 d 유사한 경도를 가진 레진을 이용하여 LED 자외선광원 투과 적층방식 프린팅인 LCD 3D프린터(Ka:rv LP-600, Shinwon Dental, Korea)로 모델(치아) 및 모델 베이스(치은)를 제작하기 위해, 3D프린터용 레진(A2 Permanent, One Digital System Co., Ltd., Incheon., Korea)을 사용하였다. 구강 내 치면세균막을 대체하여 인공치태(Artificial Plaque, Nissin Dental Products Inc., Kyoto., Japan)를 사용하였으며, 치간칫솔은 직경 0.6, 0.7, 0.8, 1.0, 1.2, 1.5mm(I type, D-all, Korea)의 원통형 유형으로 실험하였다(**Figure 1**).

2.2 모델 제작

모델 제작 절차는 모델 설계, 3D모델 프린팅, 표면 세정, 모델 경화, 후처리 총 5단계에 걸쳐 이루어졌다. 모델 설계는 에폭시 레진 인공치아모형(Dentiform) 하악 우측 제1대구치와 하악 우측 제2대구치를 스캔하여(3D scanner, Medit, Korea) CAD 프로그램(Exocad Dental CAD, Exocad GmbH, Darmstadt, Germany)으로치간공극이 0.7mm 및 1.2mm인 모델(치아)과 모델베이스(치은)를 제작하였다(**Figure 2**). 모델 3D프린팅은 CAD로 설계한 모델과 모델 베이스의 STL 파일을 3D프린터의 Chitubox 프로

그램에 입력시켜 커넥터와 모델 베이스를 제작하였으며, CTB 파일로 변환하였다. 이때, 3D프린터 탱크에 3D프린터용 레진을 충전하여 모델을 출력하였다. 이후 3D프린팅한 모델을 10분 동안 98% 에탄올로 세정하여 모델 표면에 있는 잔여 불순물을 제거하였고, 모델 경화를 위해 세정된 모델과 모델 베이스를 Curebox(One Digital System Co., Ltd., Incheon., Korea)에서 300W UV LED 빛에 노출시킨 후 3분간 냉각시켰다. 마지막으로 후처리를 위해 가위와 니퍼를 이용하여 경화된 모델과 모델 베이스에 연결된 연결장치(Connector)를 제거하였고 덴처 패드(Denture Pad)와 러버 포인트(Rubber Point)를 이용해 표면 연마를 시행하였다(**Figure 3**).

3D프린팅 출력에 가장 적합한 매개 변수 조건을 설정하기 위해 에폭시 레진 인공치아모형을 스캔하여 3D프린터로 모델을 출력하였다. 오차를 확인하기 위하여 3D프린팅한 모델을 재스캔하여 에폭시 레진 인공치아모형과의 유사도를 CAD로 확인하였으며, 이에 3D프린터 오차가 가장 낮은 프린팅 매개 변수(출력 설정값)을 도출하였다. 3D프린팅 매개 변수의 상세 내용은 다음과 같다. 레이어 높이: 0.1mm; 바닥 레이어 수: 3; 조사 시간: 5.0s; 바닥 조사 시간: 35.0s; 전환 계층 수: 5; 레진 유형: 선형; 전환 시간 감소: 5.0s; 출력 중 대기 모드: 휴식; 리프트 전 휴식 시간: 0.0s; 리프트 후 휴식 시간: 0.0s; 철회 후 휴식 시간: 0.5s; 바닥면구간 상승 거리: 2.0+3.0mm; Z축 상승 거리: 1.0+2.0mm; 하단 리트랙트 거리: 4.0+1.0mm; 리트랙트 거리: 2.0+1.0mm; 바닥면 Z축 상승 속도: 60.0&100.0mm/min; Z축 상승 속도: 150.0&300.0mm/min; 하단 리트랙트 속도: 100.0&60.0mm/min; Z축 하강 속도: 300.0&100.0mm/min.

2.3 표본 제작 및 실험 방법

제조사의 지시사항에 따라 모델 하악 우측 제1대구치 원심면과 제2대구치 근심면에 인공치태를 1차 균일하게 도포한 뒤 30분 이상 공기 중에 건조하였다. 그 후, 앞선 방법과 동일한 모델 및 위치에 인공치태를 2차 고르게 도포하고 30분 이상 공기 중에서 건조하였다(Table 1). 동일한 조건에서 실험을 진행할 수 있도록 모델 베이스를 제작하여 모델을 모델 베이스에 삽입 및 제거 시 일정하게 제어를 할 수 있도록 하였다. 이후 모델 베이스에 모델 자체를 삽입하여 고정하고, 동일한 위치에 팔꿈치를 고정하였으며, 오로지 손목으로만 왕복 운동만이 가능하도록 자세를 취하였다. 또한 동일한 검사를 위해 치간칫솔 강모를 협측 방향에서 설측 방향으로만 왕복 이동하여 재현성있는 실험을 진행하였다. 이러한 실험 절차 및 과정은 3D프린팅된 모델을 모델 베이스에 장착한 후 전문적으로 훈련된 치과위생사를 통해 진행되었다. 치간칫솔질 횟수에 따른 인공치태의 세정 효과를 영상으로 기록하기 위하여 디지털카메라를 사용하였으며, 모델에 대한 인공치태의 세정 효율이 안정상태에 이르고 나서 최종적으로 효율이 수렴되기까지 총 9차 주기의 치간칫솔질을 수행하였다(Figure 4).

2.4 효능 평가

각 치간칫솔 직경 별 세정 효능 차이를 비교하고 평가하기 위해 디지털카메라(EOS M100, Canon Inc., Tokyo, Japan)로 치간 인접면의 치간칫솔질 전과 후 영상을 기록하였다. 모델 하악 제1 대구치(원심면)와 제2 대구치(근심면)가 맞닿는 접촉점 직하방부에 2.08cm × 0.47cm 면적의 직사각

형을 설정하였으며(**Figure 5**), 각 실험 후 인공치태의 세정된 양상과 정도를 평가하였다. 세정된 정도를 정량적으로 분석하기 위하여, 전체 치아에 인공치태를 도포한 후 2.08cm × 0.47cm의 직사각형 면적을 설정하였고 치태의 세정 전 상태를 0%로 설정하였다. 그 후, 치간칫솔질 횟수별 세정된 픽셀에 대해 Image J(National Institute of Health, Bethesda, MD, USA)의 추적 도구(wand tool)로 범위를 선택하여 백분율로 환산 후 평균값을 산출하였다.

제 3 장 연구 결과

3.1 치간공극과 치간칫솔 직경 별 인공치태 세정 양상 비교

0.7mm와 1.2mm 두 가지 크기의 치간공극 모델 베이스를 CAD와 3D프린터로 이용하여 설계 및 제작에 착수하였다. 0.7mm 치간공극 모델은 직경 0.6, 0.7, 0.8, 1.0, 1.2mm 치간칫솔로 최대 9차 주기의 치간칫솔질을 하여 하악 우측 제1 대구치 원심면과 하악 우측 제2 대구치 근심면 사이의 인공치태를 세정하였고, 인공치태 도포 부위에 직사각형 면적을 설정하여 인공치태 세정량을 확인하였다. 0.7mm 치간공극 모델에서는 회차별로 치간칫솔질 주기 후에 디지털 영상으로 기록하였으며, **Figure 6a-c**는 각각 1차, 5차, 9차 치간칫솔질 후 기록된 영상이다. 1차와 5차 영상을 비교하였을 때, 5차에서 세정이 많이 된 것을 확인할 수 있었으며 5차와 9차 영상을 비교하였을 때는 큰 차이가 없는 것으로 확인되었다. 1.2mm 치간공극 모델의 경우, 앞서 언급하였던 치간칫솔 외 직경 1.5mm의 치간칫솔을 추가하여 실험하였다. 0.7mm 치간공극 모델과 마찬가지로 1.2mm 치간공극 모델에서도 동일한 프로토콜을 수행하였고, 치간칫솔질 회차 별로 디지털 영상으로 기록하였다. **Figure 6d-f** 또한 각각 1차, 5차, 9차 주기의 치간칫솔질 후 기록된 영상이며, 1차 주기와 5차 주기의 영상을 비교하였을 때 1.2mm에서도 0.7mm와 같이 5차 주기에서 인공치태가 많이 세정되었고, 5차 주기와 9차 주기의 영상을 비교하였을 때는 인공치태 세정상태의 차이가 미미한 것으로 확인되었다. 이와 같이 0.7mm와 1.2mm 치간공극 모델 모두 치간칫솔을 사용하였을 때 세정효과가 유사한 양상을 보였

다.

3.2 치간공극과 치간칫솔 직경 별 인공치태 세정율 비교

치간칫솔질 횟수에 따른 인공치태의 세정율을 기록한 디지털 영상을 토대로, 해당 영상 내 직사각형의 화소 수를 Image J를 이용하여 측정한 뒤, 인공치태가 세정된 픽셀 수를 백분율로 환산하여 치간칫솔 직경 별, 인공치태 세정효과를 그래프로 추산하였다. **Fig. 7a**에서 보이는 것처럼, 세정효율은 0차 주기에서 5차 주기에 이르기까지 점진적으로 향상되었다. 백분율로 추산하였을 때, 첫 번째 주기의 세정율은 28.9~38.6%에 불과했던 반면에, 5차 주기의 세정율은 69.3~83.5%까지 도달하였다. 그러나 5차 주기에서 세정율이 안정상태에 이르렀고, 마지막 주기였던 9차 주기에서는 72.0~86.4% 범위로 수렴하는 경향을 보였다. 또한, **Fig. 7b**에서 보이는 바와 같이 픽셀 수를 기반으로 백분율로 추산하였을 때, 인공치태 세정효율은 0주기에서 5차 주기에 이르기까지 지속적으로 향상되었다. 1차 주기의 세정율은 19.3~46.3%에 불과했으나 반면, 5번째 주기의 세정은 49.8~70.7%였다. 이와 유사하게, 세정효과는 52.5~75.4% 범위로 관측되었다. 결과를 요약하면, 1.2mm와 1.5mm 직경의 치간칫솔이 각각 0.7mm와 1.2mm 치간공극에 최적의 크기인 것으로 확인되었다(**Table 2, 3**).

제 4 장 고찰

치주질환 예방을 위해서는 치간의 위생적인 관리가 권장된다(Löe *et al.*, 2000; Poklepovic Pericic *et al.*, 2019). 이에 치간위생관리에 대한 선행 연구가 수행된 바 있으나, 실제 치간공극을 대체하여 정량적인 측정을 하기에는 한계가 있었다. 본 연구에서는 3D프린팅 기술을 사용하여 치간공극에서 치간칫솔의 세정효과를 실험에 의거한 객관적이고 동일한 결괏값으로 정량화하였다. 또한, 치간칫솔의 직경과 세정 효율 간에는 양의 상관관계가 있음을 확인하였다. 이 결과는 치간칫솔과 같은 치간위생도구의 크기와 규격을 정확히 선택해야 한다는 Graetz *et al.* (2020; 2021)의 연구 결과를 뒷받침한다. 여기서, 5차 치간칫솔질 이후에 온 안정상태는 다른 선행 연구에서도 동일한 경향을 보였다(Baumgartner *et al.*, 2019). 세정 횟수가 많을수록 세정효과가 크다는 포괄적인 선행 연구의 결과와는 달리, 본 연구의 결과는 5차 주기부터 안정기에 접어든다는 것을 확인함으로써 실용적인 지침을 줄 수 있을 것이다(Baumgartner *et al.*, 2019). 세정 횟수가 증가할수록 치간치은 출혈의 위험이 증가하기 때문에 6차 주기 이상의 세정을 진행할 경우, 세정뿐만 아니라 치간치은에 외상과 같은 부작용을 초래할 수 있어 권장되지 않는다(Ng and Lim *et al.* 2019).

치관 표면은 법랑질로 되어있고, 치근 표면은 상아질로 덮여있어 이들은 치간칫솔을 사용할 때 모두 닿는 부위이다. 치간칫솔 사용 시, 치아 마모는 피하기 어렵고 상아질이 있는 치근 표면은 법랑질보다 약하여 상대적으로 마찰에 취약하며 치간치은 또한 마찰에 의해 출혈이 유발되기도 한다. 따라서 치아와 치간치은에 가해지는 손상을 줄이고 치태를 효율적으로 제거하기 위해서는 적절한 직경의 치간칫솔과 치간칫솔질 주기를 선택해야 한다. 선행 연구에서는 치간칫솔 선택 시에 치간공극에 적합(Slot *et al.*,

2008)하거나 약간 더 큰(Carrouel *et al.*, 2016) 크기의 직경을 사용하길 권장하고 있다. 본 연구 결과에서도 치간공극에 삽입이 가능한 가장 큰 크기의 직경이 가장 효과적인 것으로 확인되었으며 0.7mm와 1.2mm의 치간공극에서 각각 1.2mm와 1.5mm의 치간칫솔이 최적의 성능을 보였다.

Hisanaga 등의 비임상 연구에 따르면 치실, 홀더형 치실, 치간칫솔(SSS 사이즈)를 사용하여 어금니에 대한 10차 세정 주기를 진행한 후 근심측을 관찰하였다(Hisanaga *et al.*, 2020). 그 결과, 치실(53%), 치간칫솔(46%), 치실 홀더(28%)의 순으로 세정력이 우수한 것을 확인할 수 있었다. 하지만 치간공극의 크기를 측정하지 않아, 치간칫솔의 크기와 치간공극의 크기간의 상관관계를 확인할 수 없었으므로 세정력 실험의 객관성에 한계가 있음을 확인할 수 있었다. 본 연구에서는 실제 사람의 체격에 비례하여 맞춤화된 치간 공간과 다양한 직경의 치간칫솔로 실험을 진행함으로써 이전 연구의 부족한 부분을 보완하고자 하였다(Carrouel *et al.*, 2016; Slot *et al.*, 2008). 이전 임상 연구에서는 환자가 3개월 동안 치간칫솔을 사용하게 하여 원뿔형과 원통형 치간칫솔의 효과를 플라크 점수, 치주낭 깊이 측정 시 출혈점수(Bleeding upon pocket probing scores) 및 치주낭 탐침 깊이측정(Probing pocket depth)을 통해 평가한 바 있다(Slot *et al.*, 2008). 이때 실험에 환자들 전원은 전문가들에게 교육을 받았으나, 개인간 수행능력의 차이가 있으므로 동일한 조건으로 실험을 진행하기 어렵다는 제약이 있었다. 더불어, 평가 기준에 대해 객관성이 부족했다는 한계도 존재하였다. 따라서, 본 연구에서는 일정하고 정확한 치간칫솔 실험을 위해 모델 베이스를 제작하여 모델을 삽입 및 제거, 조절할 수 있도록 제작하였으며. 치아 모델은 모델 베이스에 고정하고 특정 위치에만 팔걸이를 주어 오로지 치간칫솔을 잡은 손으로만 왕복 운동이 가능하도록 설정하여 실험을 진행하였다. 또한 모델의 치간을 직접 영상으로 촬영하여 정량적

평가를 위해 프로그램을 사용하였다.

치의학 분야에서의 3D프린팅 기술은 이미 많은 임상 연구를 통하여 기술과 활용 가능성에 대해 보고가 되었으며, 보철물, 수술 및 재건용 보형물, 스플린트, 임플란트 제작 등에 사용되고 있다(Pillai *et al.* 2021). 선행 연구에서는 크라운을 제작할 때 3D프린터의 변연 간격을 측정하였고, 3D 프린터의 오차범위는 기존의 CAD/CAM 기술이 가지는 절삭 가공 시스템의 한계를 극복하여, 크라운 제작에서의 임상적 허용 범위인 120㎛보다 작은 50~100㎛로 측정되었다(Demir *et al.*, 2014; Johnson *et al.*, 2021; Son *et al.*, 2020). 또 다른 선행 연구에서는 이상적인 기대치로 제작된 치관의 평균 변연 간극은 38.5㎛, 정상으로 간주한 치관의 평균 변연 간극은 58.3㎛, 불량으로 분류되는 치관의 변연 간극은 90.1㎛로 3D프린팅 기술로 만들어진 치아의 높은 정확도에 대해 조사한 바 있다(Renne *et al.*, 2012). 이는 본 연구에서 3D프린터를 이용한 치아 모델 또한 높은 정확도를 가진다는 점을 시사한다. Graetz 등의 연구에서는 3D프린터를 이용하여 사람의 치간 및 치아와 형태학적으로 유사한 환경을 재현하기 위해 이등변 삼각형 모양의 치간을 크기 별(1.0, 1.1, 1.3mm)로 구현하였다(Graetz *et al*, 2020). 원통형 치간칫솔(0.8, 0.9, 1.2, 1.4mm)을 이용하여 치간을 1mm의 이등변 삼각형 모형으로 실험했을 때에는 0.9mm의 직경을 가진 치간칫솔이 가장 높은(84%) 세정율을 보였다. 하지만 해당 연구는 치아와 유사하게 실험모델 자체를 간소화하여 실험한 것이므로 치아를 디자인하여 시행한 실험이라고 보기에는 어려울뿐더러 치아가 가진 형태학적 특징만 재현하여 실험을 진행하였다는 한계점이 존재한다.

선행 연구에 의하면 에폭시 레진 인공치아모형(Dental Study Model, Nissin Dental Products Inc., Kyoto., Japan)의 소구치와 대구치에 인공치태를 도포한 후 치실, 홀더 타입 치실, 치간칫솔을 이용하여 실험을 진행

하였다(Hisanaga *et al.*, 2020). 해당 실험에서는 치아끼리 맞닿는 지점을 기준으로 직하방에 5 × 3mm의 실험 면적을 설정하였고 해당 면적을 240 등분하여 백분율로 세정 양상을 측정하였다. Kim 등의 연구에서는 하악 우측 제2소구치, 제1대구치 부위에 지대치를 지르코니아 크라운으로 제작을 하여 인공치태를 도포한 후 치간칫솔, 엔드터프트칫솔, 치실, 이지픽, 워터픽을 사용하였을 때 치간에서 인공치태 세정효과를 확인하였다. 해당 실험에서 는 세정된 인공치태의 양상과 정도를 정량적으로 분석하기 위하여 지르코니아 크라운 인접면 사이에 접촉점을 표시한 후, 접촉전 직하방부터 인공치태가 제거된 면적을 구하였다 (Kim *et al*, 2021). 앞선 연구들에서 착안하여 본 연구에서도 치아끼리 맞닿는 접촉점을 기준으로 실험 면적을 설정하였으며, 본 연구에서 촬영한 영상의 크기는 선행 연구의 크기와 픽셀이 다르므로 본 실험모델에 적합한 크기인 2.08cm × 0.47cm의 직사각형 면적으로 설정하였고, 그 면적 안의 세정 양상을 확인하였다. 본 연구에서는 CAD를 사용하여 다양한 치간과 치간공극을 디자인함으로써 더욱 직접적이고 명확한 실험을 하였고, 이를 통해 치간칫솔이 3D프린팅 기술이 지원하는 새로운 실험 설정을 기반으로 연구될 수 있음을 보였다. 또한 신속하고 편리하게 수행되는 해부학적 3D 구조물의 섬세한 모델링 및 제작은 치간칫솔뿐만 아니라 다양한 경구용 제품을 접목하여 실험을 수행할 수 있을 것이다. 이에 본 실험은 그동안 전문가와 환자에게 제공되었던 치간칫솔 선택에 관한 모호한 기준 속에서, 보다 더 실용적이고 근본적인 지침을 제공할 수 있을 것이다.

하지만 본 연구에서도 한계점은 존재한다. 첫째, 실제 치태는 인공치태와 특성이 다르다. 둘째, 3D프린터로 만든 구강 구조와 실제 인체 구강 구조에는 차이가 있다. 셋째, 치간칫솔의 모양, 강모, 힘 또한 고려하지 않고 치간칫솔의 직경의 크기만을 대상으로 하여 강모나 형태에 따른 세정

효과는 고려하지 않았다. 넷째, 실제 사람의 치간공극은 다양한 크기를 갖지만 본 연구에서는 치간공극 크기가 두 가지 모델로만 구현하였다. 이러한 한계에도 불구하고, 치간칫솔 모양 별로 치태 세정 효율을 확인하고자 한 임상 연구는(Larsen *et al.*, 2017; Paque *et al.*, 2020)에 의해 시도된 바 있으며 치간 세정 효율에 대한 측정도 관찰되었다. 이것으로 보아 치간칫솔의 형태는 세정 효능에 영향을 미치므로 앞선 연구를 참조하여 추후 다양한 치간칫솔 사양과의 상관관계를 규명하기 위한 연구를 추가로 진행할 예정이다.

제 5 장 결론

본 연구는 3D프린팅 모델을 통하여 치간칫솔의 인공치태 세정효과와 그에 따른 치간칫솔의 올바른 선택 및 사용에 관한 기초자료를 제공하는데 목적이 있다. 이를 위해 본 연구에서는 인간의 치간공극을 재현한 3D 프린팅 모델이 치간칫솔으로 활용한 인공치태 세정 실험에 적합한 모델임을 입증하였다. 3D프린팅 기반 모델은 CAD로 치간공극 크기를 정밀하게 디자인할 수 있었으며, 기존의 평가 방식이었던 치태지수 평가 기준의 임상적 한계와 실제 구강 구조의 재현성 및 평가 방식의 객관성이 부족했던 비임상적 연구 단계의 어려움을 해소하였다. 이를 통해 치간공극 간격에 따른 최적화된 치간칫솔의 직경과 세정 횟수를 확인할 수 있었으며, 0.7mm와 1.2mm 치간공극에 대해 각각 1.2mm와 1.5mm 직경의 치간칫솔이 5차 세정 주기에서 가장 효율이 높다는 결과를 도출하였다.

본 연구는 치간공극에 따른 치간칫솔 선택에 대한 표준 데이터를 제시하였으며 추후 원뿔형과 원통형 등 확장된 치간칫솔과 다양한 치간위생도구의 정량적인 기준을 설정할 때 유용한 자료가 될 것으로 판단된다. 또한, 해부학적으로 3D프린팅 기반의 정밀한 방법은, 모델링 제작과 연구도구로 활용하기에 부족함이 없다는 첫 예시가 되었다는 점에 의의가 있다. 이러한 결과를 바탕으로 향후 치간위생도구를 사용한 세정 효율에 대하여 더욱더 객관적이고 정량적인 분석이 가능해질 것이다.

참 고 문 헌

Amarasena N, Gnanamanickam ES, Miller J. Effects of interdental cleaning devices in preventing dental caries and periodontal diseases: a scoping review. Aust Dent J. 2019;64:327-337.

Bassoli E, Gatto A, Iuliano L, Grazia Violante M: 3D printing technique applied to rapid casting. Rapid Prototyping Journal. 2007;13:148-155.

Baumgartner G, Wiedemeier DB, Hofer D, Sener B, Attin T, Schmidlin PR. In vitro cleaning potential of waist-shaped interdental brushes. Swiss Dent J. 2019;129:360-367.

Berchier CE, Slot DE, Haps S, Van der Weijden GA. The efficacy of dental floss in addition to a toothbrush on plaque and parameters of gingival inflammation: a systematic review. Int J Dent Hyg. 2008;6:265-279.

Botelho J, Machado V, Leira Y, Proença L, Chambrone L, Mendes JJ. Economic burden of periodontitis in the United States and Europe: An updated estimation. J Periodontol. 2022;93:373-379.

Bourgeois D, Bravo M, Llodra JC, Inquimbert C, Viennot S, Dussart C, Carrouel F. Calibrated interdental brushing for the prevention of periodontal pathogens infection in young adults - a

randomized controlled clinical trial. Sci Rep. 2019;9:15127.

Bourgeois D, Saliasi I, Llodra JC, Bravo M, Viennot S, Carrouel F. Efficacy of interdental calibrated brushes on bleeding reduction in adults: a 3-month randomized controlled clinical trial. Eur J Oral Sci. 2016;124:566-571.

Carrouel F, Llodra JC, Viennot S, Santamaria J, Bravo M, Bourgeois D. Access to Interdental Brushing in Periodontal Healthy Young Adults: A Cross-Sectional Study. PLoS One. 2016;11:e0155467.

Chapple IL, Van der Weijden F, Doerfer C, Herrera D, Shapira L, Polak D, Madianos P, Louropoulou A, Machtei E, Donos N, Greenwell H, Van Winkelhoff AJ, Eren Kuru B, Arweiler N, Teughels W, Aimetti M, Molina A, Montero E, Graziani F. Primary prevention of periodontitis: managing gingivitis. J Clin Periodontol. 2015;42 Suppl 16:S71-76.

Chen H, Yang X, Chen L, Wang Y, Sun Y. Application of FDM three-dimensional printing technology in the digital manufacture of custom edentulous mandible trays. Sci Rep. 2016;6:19207.

Claydon NC. Current concepts in toothbrushing and interdental cleaning. Periodontol 2000. 2008;48:10-22.

Kim HW, Song HK, Park EJ. Comparison of the effect of removing artificial dental plaque depending on various interdental cleaning products on the interdental surface of zirconia crowns. J

Korean Acad Prosthodont. 2021;59:291-298.
Dawood A, Marti Marti B, Sauret-Jackson V, Darwood A. 3D printing in dentistry. Br Dent J. 2015;219:521-529.
Demir N, Ozturk AN, Malkoc MA. Evaluation of the marginal fit of full ceramic crowns by the microcomputed tomography (micro-CT) technique. Eur J Dent. 2014;8:437-444.
Emodi O, Shilo D, Israel Y, Rachmiel A. Three-dimensional planning and printing of guides and templates for reconstruction of the mandibular ramus and condyle using autogenous costochondral grafts. Br J Oral Maxillofac Surg. 2017;55:102-104.
Esra G-A: Interdental Brushes in Maintaining Periodontal Health. In: Oral Diseases. edn. Edited by Gokul S, Anil S, Alaa Eddin Omar Al O. Rijeka: IntechOpen; 2020: Ch. 1.
Gasner NS, Schure RS. Periodontal Disease. 2022 Aug 16. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022 Jan.
Gennai S, Nisi M, Perić M, Marhl U, Izzetti R, Tonelli M, Petrini M, Graziani F. Interdental plaque reduction after the use of different devices in patients with periodontitis and interdental recession: A randomized clinical trial. Int J Dent Hyg. 2022;20:308-317.
Graetz C, Rabe J, Schoepke K, Schorr S, Geiken A, Christofzik D, Rinder T, Dörfer CE, Sälzer S. New experimental setup for

the measurement of cleaning efficacy and force of interdental aids in 3D-reproduced interdental areas. BMC Oral Health. 2020;20:136.

Graetz C, Schoepke K, Rabe J, Schorr S, Geiken A, Christofzik D, Rinder T, Dörfer CE, Sälzer S. In vitro comparison of cleaning efficacy and force of cylindric interdental brush versus an interdental rubber pick. BMC Oral Health. 2021;21:194.

Graziani F, Palazzolo A, Gennai S, Karapetsa D, Giuca MR, Cei S, Filice N, Petrini M, Nisi M. Interdental plaque reduction after use of different devices in young subjects with intact papilla: A randomized clinical trial. Int J Dent Hyg. 2018;16:389-396.

Guzeldemir E: Interdental Brushes in Maintaining Periodontal Health. In., edn.; 2020.

Hisanaga R, Shinya A, Sato T, Nomoto S, Yotsuya M. Plaque-removing Effects of Interdental Instruments in Molar Region. Bull Tokyo Dent Coll. 2020 Mar 12;61:21-26.

Hoenderdos NL, Slot DE, Paraskevas S, Van der Weijden GA. The efficacy of woodsticks on plaque and gingival inflammation: a systematic review. Int J Dent Hyg. 2008;6:280-289.

Husseini A, Slot DE, Van der Weijden GA. The efficacy of oral irrigation in addition to a toothbrush on plaque and the clinical parameters of periodontal inflammation: a systematic review. Int J Dent Hyg. 2008;6:304-314.

ISO/IEC, ISO/IEC 19775-1:2013, X3D Architecture and Base Components (version 3.3), 2013.

Jacek B, Maciej P, Tomasz P, Agata B, Wiesław K, Radosław W, Filip G. 3D printed models in mandibular reconstruction with bony free flaps. J Mater Sci Mater Med. 2018;29:23.

Johnson A, Jani G, Carew R, Pandey A. Assessment of the accuracy of 3D printed teeth by various 3D printers in forensic odontology. Forensic Sci Int. 2021;328:111044.

Johnson A, Jani G, Pandey A, Patel N. Digital tooth reconstruction: An innovative approach in forensic odontology. J Forensic Odontostomatol. 2019 Dec 30;3:12-20.

Larsen HC, Slot DE, Van Zoelen C, Barendregt DS, Van der Weijden GA. The effectiveness of conically shaped compared with cylindrically shaped interdental brushes - a randomized controlled clinical trial. Int J Dent Hyg. 2017 Aug;15:211-218.

Lee JY, Kim SJ, Lee HJ, Cho HJ. Effect of Triweekly Interdental Brushing on Bleeding Reduction in Adults: A Six-Month Retrospective Study. Healthcare (Basel). 2021;9:1239.

Listl S, Galloway J, Mossey PA, Marcenes W. Global Economic Impact of Dental Diseases. J Dent Res. 2015;94:1355-1361.

Löe H. Oral hygiene in the prevention of caries and periodontal disease. Int Dent J. 2000;50:129-139.

Mai HN, Lee KB, Lee DH. Fit of interim crowns fabricated

using photopolymer-jetting 3D printing. J Prosthet Dent. 2017;118:208-215.

Mascha F, Winter K, Pietzka S, Heufelder M, Schramm A, Wilde F. Accuracy of computer-assisted mandibular reconstructions using patient-specific implants in combination with CAD/CAM fabricated transfer keys. J Craniomaxillofac Surg. 2017;45:1884-1897.

Ng E, Lim LP. An Overview of Different Interdental Cleaning Aids and Their Effectiveness. Dent J (Basel). 2019;7:56.

Noorlin I, Watts TL. A comparison of the efficacy and ease of use of dental floss and interproximal brushes in a randomised split mouth trial incorporating an assessment of subgingival plaque. Oral Health Prev Dent. 2007;5:13-18.

Otsuka R, Nomura Y, Okada A, Uematsu H, Nakano M, Hikiji K, Hanada N, Momoi Y. Properties of manual toothbrush that influence on plaque removal of interproximal surface in vitro. J Dent Sci. 2020;15:14-21.

Paqué PN, Attin T, Ender A, Al-Majid A, Wegehaupt F, Sener B, Schmidlin PR. Impact of interdental brush shape on interpapillary cleaning efficacy - a clinical trial. Sci Rep. 2020;10:7922.

Petersen PE, Ogawa H. The global burden of periodontal disease: towards integration with chronic disease prevention and

control. Periodontol 2000. 2012;60:15-39.

Pillai S, Upadhyay A, Khayambashi P, Farooq I, Sabri H, Tarar M, Lee KT, Harb I, Zhou S, Wang Y, Tran SD. Dental 3D-Printing: Transferring Art from the Laboratories to the Clinics. Polymers (Basel). 2021;13:157.

Pitchika V, Jordan R, Micheelis W, Welk A, Kocher T, Holtfreter B. Impact of Powered Toothbrush Use and Interdental Cleaning on Oral Health. J Dent Res. 2021;100:487-495.

Poklepovic Pericic T, Worthington HV, Johnson TM, Sambunjak D, Imai P, Clarkson JE, Tugwell P. WITHDRAWN: Interdental brushing for the prevention and control of periodontal diseases and dental caries in adults. Cochrane Database Syst Rev. 2019;4:CD009857.

Renne W, McGill ST, Forshee KV, DeFee MR, Mennito AS. Predicting marginal fit of CAD/CAM crowns based on the presence or absence of common preparation errors. J Prosthet Dent. 2012;108:310-315.

Rösing CK, Daudt FA, Festugatto FE, Oppermann RV. Efficacy of interdental plaque control aids in periodontal maintenance patients: A comparative study. Oral Health Prev Dent. 2006;4:99-103.

Schmage P, Platzer U, Nergiz I. Comparison between manual and mechanical methods of interproximal hygiene. Quintessence

Int. 1999 Aug;30:535-539.

Shaw L, Harjunmaa U, Doyle R, Mulewa S, Charlie D, Maleta K, Callard R, Walker AS, Balloux F, Ashorn P, Klein N. Distinguishing the Signals of Gingivitis and Periodontitis in Supragingival Plaque: a Cross-Sectional Cohort Study in Malawi. Appl Environ Microbiol. 2016;82:6057-6067.

Slot DE, Dörfer CE, Van der Weijden GA. The efficacy of interdental brushes on plaque and parameters of periodontal inflammation: a systematic review. Int J Dent Hyg. 2008;6:253-264.

Son YT, Son K, Lee KB. Marginal and internal fit of interim crowns fabricated with 3D printing and milling method. J Dent Rehabil Appl Sci. 2020;36:254-261.

Tian Y, Chen C, Xu X, Wang J, Hou X, Li K, Lu X, Shi H, Lee ES, Jiang HB. A Review of 3D Printing in Dentistry: Technologies, Affecting Factors, and Applications. Scanning. 2021;2021:9950131.

Tonetti MS, Jepsen S, Jin L, Otomo-Corgel J. Impact of the global burden of periodontal diseases on health, nutrition and wellbeing of mankind: A call for global action. J Clin Periodontol. 2017;44:456-462.

Waerhaug J. The interdental brush and its place in operative and crown and bridge dentistry. J Oral Rehabil. 1976;3:107-113.

Wang W, Yu H, Liu Y, Jiang X, Gao B. Trueness analysis of zirconia crowns fabricated with 3-dimensional printing. J Prosthet Dent. 2019;121:285-291.

Wolff D, Joerss D, Dörfer CE. In vitro-cleaning efficacy of interdental brushes with different stiffness and different diameter. Oral Health Prev Dent. 2006;4:279-285.

Worthington HV, MacDonald L, Poklepovic Pericic T, Sambunjak D, Johnson TM, Imai P, Clarkson JE. Home use of interdental cleaning devices, in addition to toothbrushing, for preventing and controlling periodontal diseases and dental caries. Cochrane Database Syst Rev. 2019;4:CD012018.

Yildirim B. Effect of porcelain firing and cementation on the marginal fit of implant-supported metal-ceramic restorations fabricated by additive or subtractive manufacturing methods. J Prosthet Dent. 2020;124:476.e1-476.e6.

Table 1. Experimental procedure for applying artificial plaque on the 3-dimensional model

순서	방법
1차 도포	하악 제 1구치 원심면 제 2대구치 근심면 인공 치태 균일 도포
도포 후 건조	30분 이상 공기 중 건조
2차 도포	하악 제 1구치 원심면 제 2대구치 근심면 인공 치태 균일 도포
도포 후 건조	30분 이상 공기 중 건조

Table 2. Summary of standard cleaned area, cleaning efficacy, and standard error, for interdental brushes of five sizes over the cycles from 0 to 9, at 0.7 mm embrasure.

Brush stem diameter (mm)	Cleaning no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.6	Standard cleaned area (px)	11720	17876	22507	26840	28085	28347	28787	29030	29211
	Cleaning efficacy(%)	29.81	55.09	55.51	66.20	69.27	69.92	71.00	71.60	72.04
	Standard error (%)	2.07	3.58	1.83	0.33	0.59	0.99	0.37	0.13	0.43
0.7	Standard cleaned area (px)	11890	17679	23531	27694	28870	29262	29456	29719	29882
	Cleaning efficacy(%)	29.32	43.59	58.04	68.30	71.20	72.17	72.65	73.30	73.70
	Standard error (%)	1.89	2.43	2.78	1.25	0.64	0.22	0.44	0.50	0.60
0.8	Standard cleaned area (px)	10631	18835	25887	29584	30359	30748	30984	31391	31526
	Cleaning efficacy(%)	26.22	46.45	63.85	72.97	74.88	75.84	76.42	77.42	77.75
	Standard error (%)	2.65	2.00	0.49	0.64	0.79	0.91	0.83	0.86	0.76
1.0	Standard cleaned area (px)	12101	18878	23561	27572	30053	31101	31714	32173	32369
	Cleaning efficacy(%)	29.84	46.56	58.11	68.00	74.12	76.71	78.22	79.35	79.84
	Standard error (%)	0.21	1.42	2.04	2.33	1.14	1.74	0.78	0.37	0.39
1.2	Standard cleaned area (px)	15647	21598	26564	31454	33847	34284	34662	34852	35019
	Cleaning efficacy(%)	38.59	53.27	65.52	77.58	83.48	84.56	85.49	85.96	86.37
	Standard error (%)	1.35	0.74	0.10	0.37	1.65	1.64	1.84	1.68	1.66

Table 3. Summary of standard cleaned area, cleaning efficacy, and standard error, for interdental brushes of six sizes over the cycles from 0 to 9, at 1.2 mm embrasure.

Brush stem diameter (mm)	Cleaning no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.6	Standard cleaned area (px)	7808	13439	18051	19319	20172	20592	20881	21164	21280
	Cleaning efficacy(%)	19.26	33.15	44.52	47.65	49.75	50.79	51.50	52.20	52.48
	Standard error (%)	0.91	1.56	0.97	0.91	0.61	0.72	0.66	0.30	0.26
0.7	Standard cleaned area (px)	9544	14064	18506	21999	23227	23621	23816	24034	24245
	Cleaning efficacy(%)	23.54	34.69	45.64	54.26	57.29	58.26	58.74	59.28	59.80
	Standard error (%)	0.31	0.85	0.37	0.43	0.60	0.40	0.40	0.62	0.63
0.8	Standard cleaned area (px)	11161	16392	20259	23145	24917	25531	26006	26093	26240
	Cleaning efficacy(%)	27.53	40.43	49.97	57.09	61.46	62.97	64.14	64.36	64.72
	Standard error (%)	0.82	2.08	1.80	2.00	1.14	0.78	0.45	0.44	0.49
1.0	Standard cleaned area (px)	12021	16497	20579	24315	25531	26726	27119	27565	27738
	Cleaning efficacy(%)	29.65	40.69	50.76	59.97	62.97	65.92	66.89	67.99	68.41
	Standard error (%)	1.96	1.46	2.46	2.34	1.27	0.89	0.59	0.80	0.67
1.2	Standard cleaned area (px)	14248	18337	22385	25682	26665	27539	27995	28344	28633
	Cleaning efficacy(%)	35.14	45.23	55.21	63.64	65.77	67.92	69.05	69.91	70.62
	Standard error (%)	1.30	1.71	1.12	1.25	1.13	1.02	1.07	0.78	0.41
1.5	Standard cleaned area (px)	18767	21891	26516	28257	28678	29577	29925	30299	30569
	Cleaning efficacy(%)	46.29	53.99	65.40	69.69	70.73	72.95	73.81	74.73	75.39
	Standard error (%)	2.31	2.53	2.74	2.50	2.40	1.66	1.53	1.56	1.45

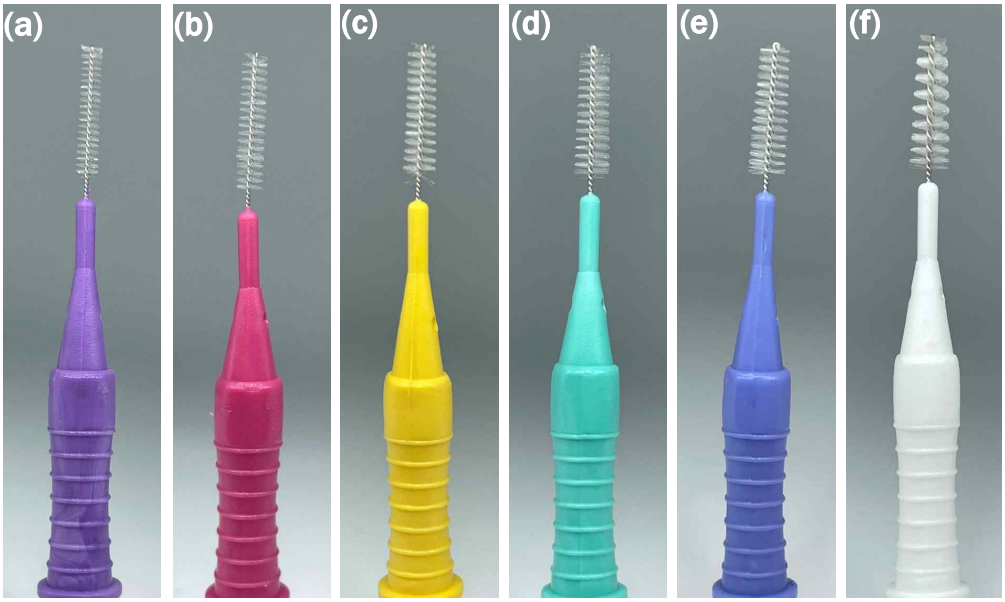


Figure 1. Front profiles of the six interdental brushes examined in this study: (a) 0.6 mm diameter, (b) 0.7 mm diameter, (c) 0.8 mm diameter, (d) 1.0 mm diameter, (e) 1.2 mm diameter, and (f) 1.5 mm diameter.

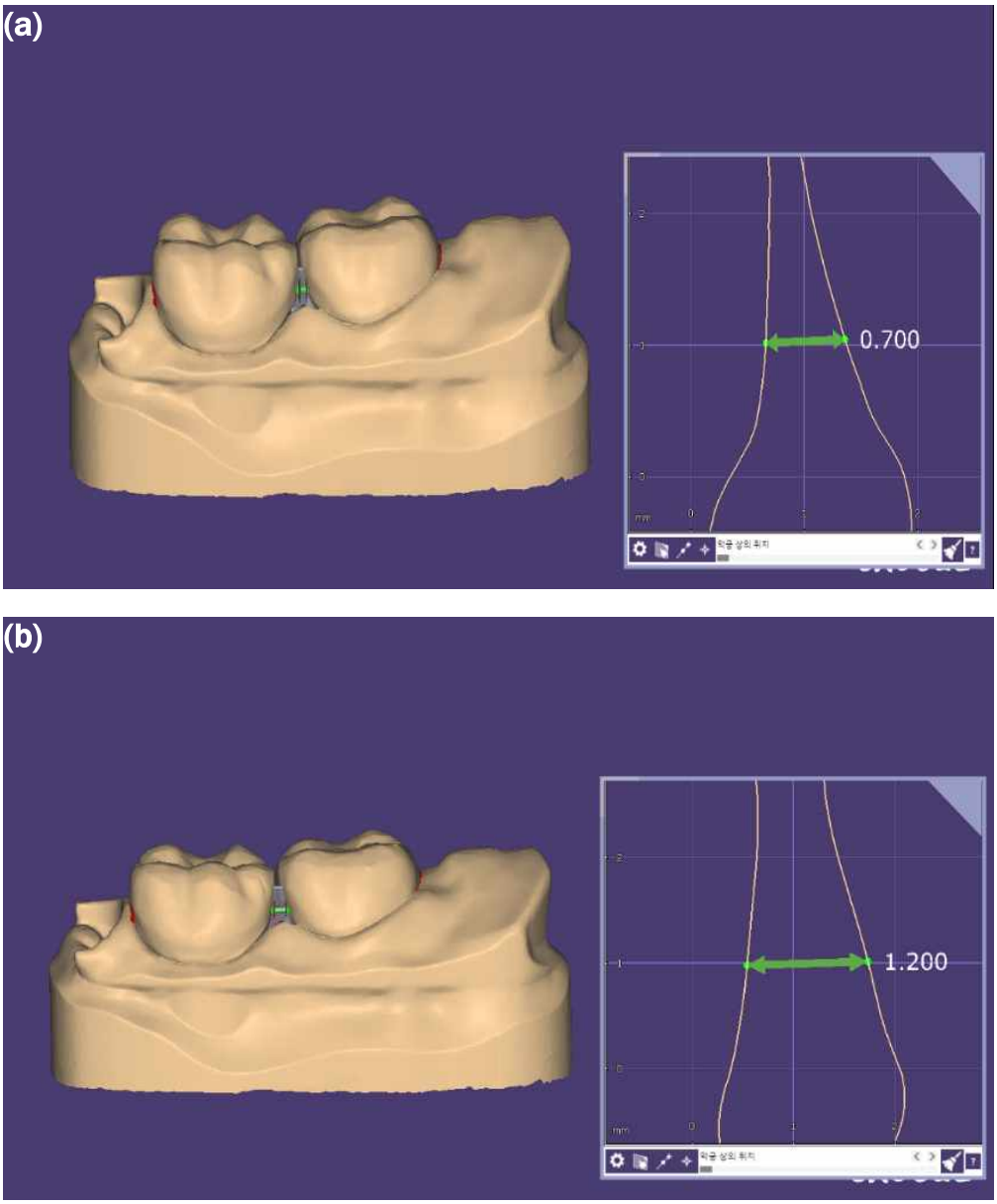
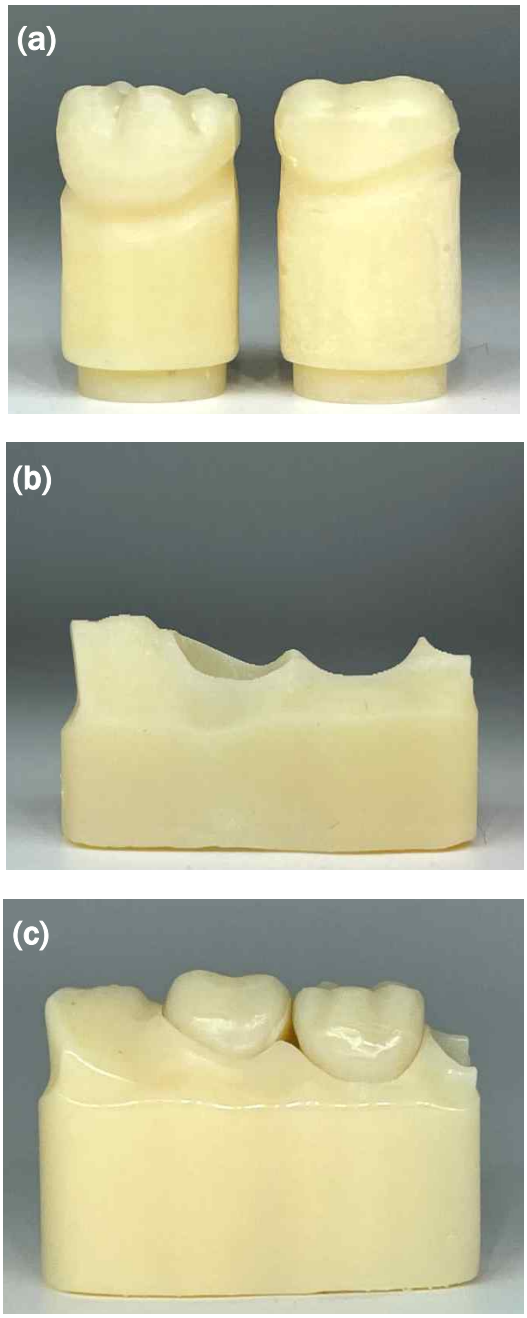


Figure 2. Representative digital images of (a) 0.7 mm embrasure and (b) 1.2 mm embrasure with cross sectional images in the square.



[Figure 3] Representing images of 3-dimensional reproduced (a) model, (b) model base, and (c) combination of model and model base for interdental brushes tested.

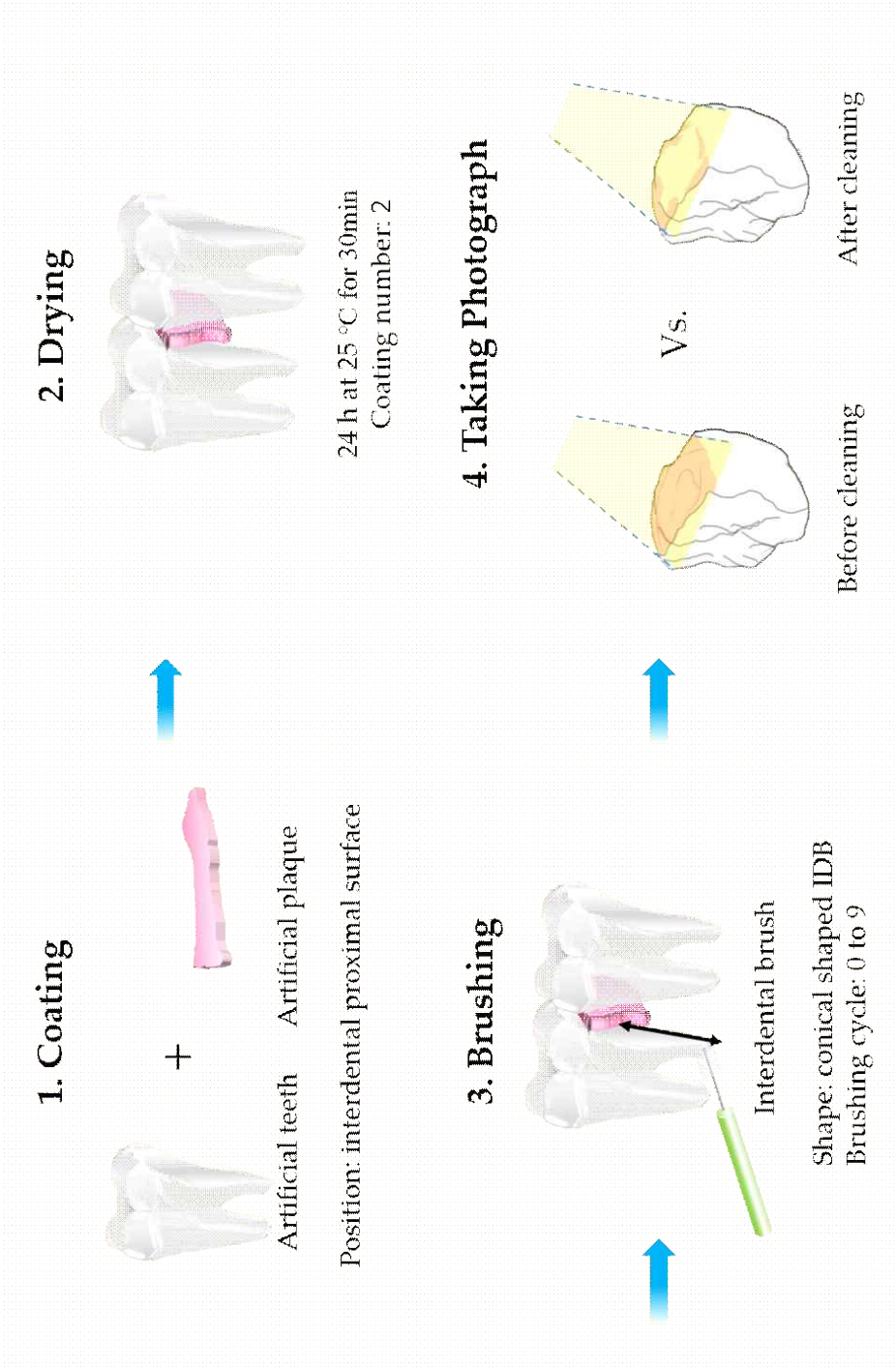


Figure 4. Representing images of experimental procedures.

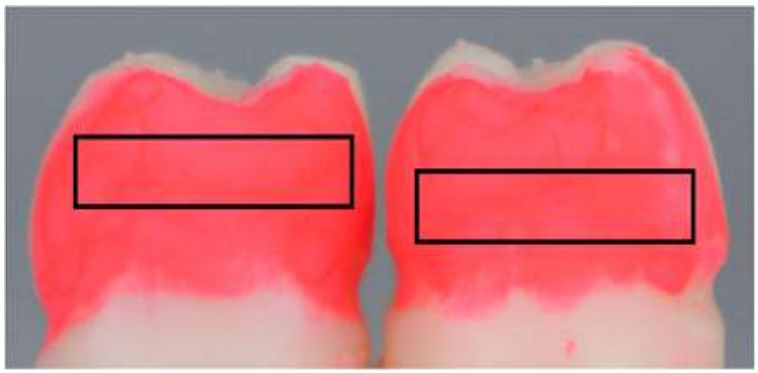


Figure 5. A representative image of rectangle area of 2.08cm × 0.47cm was set from the bottom part of a point of contact between the first molar (distal surface) and the second molar (mesial surface).

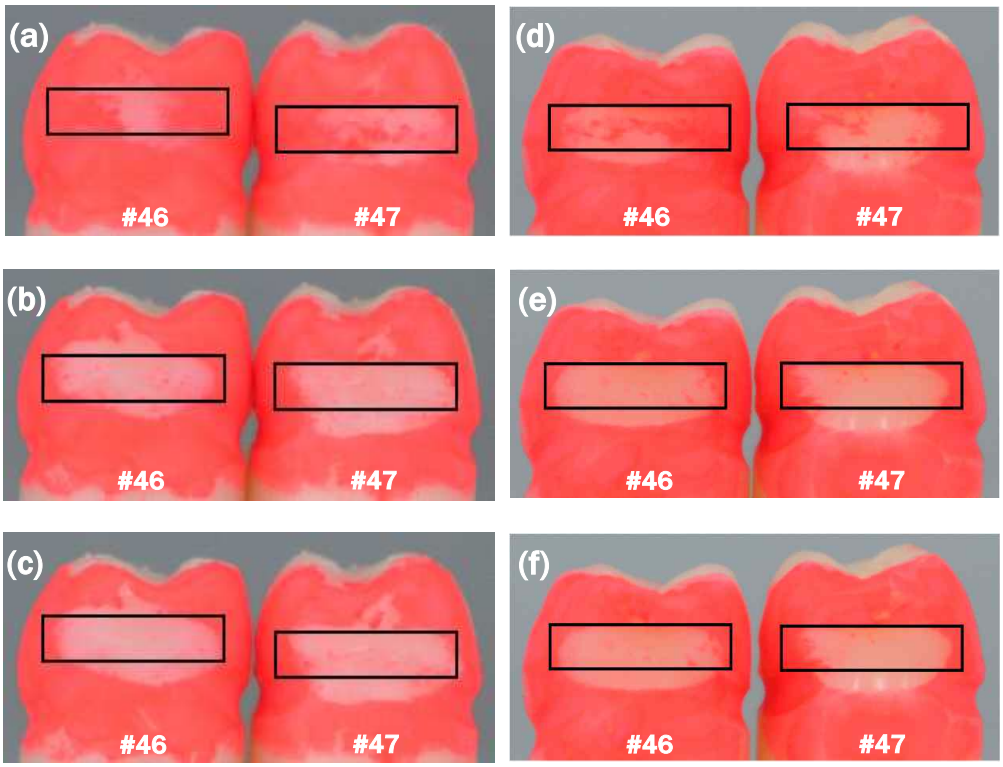


Figure 6. Representative digital images of the artificial plaque coated #46 distal surface and the #47 mesial surface(0.7 mm embrasure) after (a) 1st, (b) 5th, and (c) 9th brushing cycles with the 0.7 mm interdental brushes, and (d) 1st, (e) 5th, and (f) 9th brushing cycles with the 1.2 mm interdental brushes.

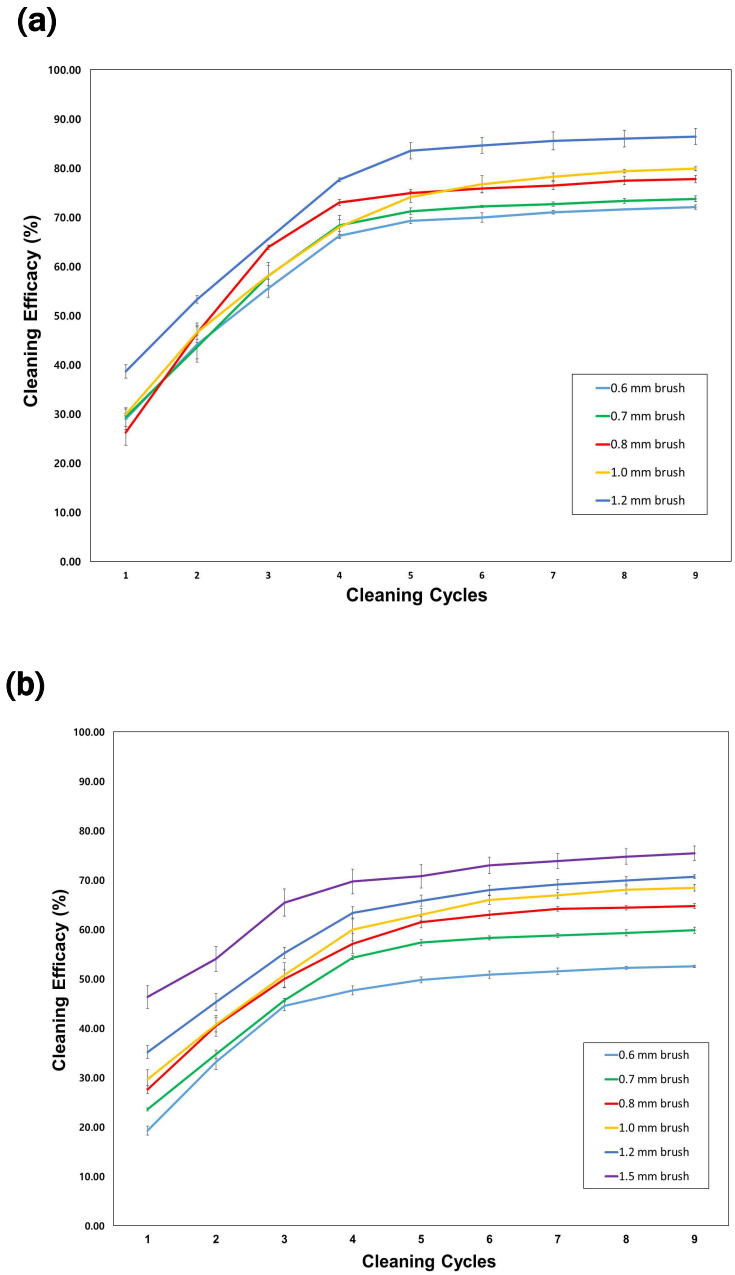


Figure 7. Gradual increment and convergence of the cleaning efficacy over the cleaning cycles at (a) 0.7 mm embrasure and (b) 1.2 mm embrasure. (Error bar: mean error; 5 repetitions for each data point)

Abstract

Cleaning Effect of Interdental Brush on Artificial Plaque Using 3-dimensional printed Model Base

Seo Eun Kim R.D.H., M.S.D

Program in Neuroscience, Department of Dental Science, Graduate School, Seoul National University

(Directed by Professor, Seung Pyo Lee, D.D.S., M.S.D., Ph.D.)

Background: Among interdental cleansing devices (ICDs), interdental b rushes (IDBs) are in the spotlight because they can effectively remove plaque from interdental surfaces. Guidance on the correct use of ICDs, such as IDBs, is required to prevent dental plaque accumulation. Since it is impossible to confirm the interdental proximal surface unless extra cted, it is difficult to conduct quantitative experiments. This study pres ented an efficient way to evaluate IDBs by realizing dental structures a nd embrasures using a Computer-Aided Design/Computer-Aided Manuf

acturing (CAD/CAM) and a 3D printer.

Methods: Two different sizes of embrasure(0.7 and 1.2 mm) crown models were prepared with CAD/CAM and a 3D printer. To evaluate the cleaning efficacy of IDBs of each size(0.6, 0.7, 0.8, 1.0, 1.2, and 1.5 mm diameters), the 9th cycle of brush move was performed where artificial plaque was spread and a digital camera was used to record the process. The pixels and percentage of cleaning from the recorded digital images were analyzed.

Results: The plateau was formed after the 5th brushing cycle under all conditions after the 5th cycle, the cleaning efficacy of the two crown models was 69.3 ~ 86.4 % and 49.8 ~ 75.4 %. In these results, the optimal diameters for the IDB were 1.2 and 1.5 mm for embrasure sizes of 0.7 and 1.2 mm, respectively. Moreover, the cleaning efficacy was the highest at 86.4 % and 75.4 % after the 9th cycle.

Conclusions: The 3D printed model base for the human oral embrasure structure is an adequate model to test artificial plaque removal using IDBs. The use of IDBs for more than five cycles does not support the conventional idea that a greater number of IDBs brushing moves is more effective in a statistically substantial manner.

Key words : Interdental Brush, Plaque Removal, 3D Printed Model, Gingivitis, Periodontal Disease

Student Number **: 2018-31347**