

상악 전치의 치열 형태에 따른 스캔 반복 측정 안정성 평가: in vitro 연구

박동인, 손호정, 김웅철, 김지환
고려대학교 대학원 보건과학과 치의기공전공

Evaluation of repeated measurement stability of dentition type of maxillary anterior tooth: an in vitro study

Dong-In Park, Ho-Jung Son, Woong-Chul Kim, Ji-Hwan Kim
Department of Dental Laboratory Science & Engineering, College of Health
Science, Korea University

[Abstract]

Purpose: The purpose of this study is to evaluate the repeated measurement stability of scans related to dentition type.

Methods: A normal model and the crowding and diastema models are also duplicated using duplicating silicon. After that, a plaster model is made using a plaster-type plaster on the duplicate mold, and each model is scanned 5 times by using an extraoral scanner. The gingival part and molar part were deleted from the 3D STL file data obtained through scanning. Using the 3D stl file obtained in this way, data is nested between model groups. Thereafter, RMS values obtained were compared and evaluated. The normality test of the data was performed for the statistical application of repeated measurements with dentition type, and the normality was satisfied. Therefore, the one-way ANOVA test, which is a parametric statistical method, was applied, and post-tests were processed by the Scheffe method.

Results: The average size of each RMS in the Normal, Diastema, and Crowding groups was Normal > Crowding > Diastema. However, the standard deviation was in the order of Crowding > Normal > Diastema. The average value of each data is as follows. Diastema model was the smallest ($5.51 \pm 0.55 \mu\text{m}$), followed by the crowding model ($12.30 \pm 2.50 \mu\text{m}$). The normal model showed the maximum error ($13.23 \pm 1.06 \mu\text{m}$).

Conclusion: There was a statistically significant difference in the repeatability of the scanning measurements according to the dentition type. Therefore, you should be more careful when scanning the normal intense or crowded dentition than scanning the interdental lining. However, this error value was within the range of applicable errors for all clinical cases.

◉ **Key words:** Scanning repeatability, Digitalize, Maxillary arch, Abnormal dentition

* 2019년도 산학연 협력 기술개발 중인 과제(과제 명: 심미치과보철 제작 시 치아 비율 및 대칭 설계를 위한 필름 형태의 가이드 템플릿 개발, 과제 번호: 1425132747)의 지원을 받아 작성된 논문임

Corresponding author	Name	김 지 환	Tel.	02-3290-5665	E-mail	kjh2804@korea.ac.kr	
	Address	서울 성북구 안암동5가 하나과학관 B동 고려대학교 보건과학대학 치기공학과					
Received	2019. 7. 31		Revised	2019. 9. 26		Accepted	2019. 9. 27

I. 서론

CAD/CAM의 발전은 치과 분야에 많은 변화를 초래했다. 수복물의 제작 공정은 단순화 되었으며 이로 인해 시간적, 공간적인 제약이 줄어들었다(Wang et al, 2018). 이제는 환자가 내원한 당일에도 보철물을 제작하고 환자의 구강 내에 장착하는 one-day 보철이라는 새로운 개념이 생겨났다(Parel 2002).

CAD/CAM을 이용하여 치과 수복물을 제작함에 있어서 구강 내 상태를 디지털화 하는데 필요한 스캐너의 정확도는 매우 중요하다(Ender et al, 2016; Renne et al, 2017; Lim et al, 2018). 현재 스캐너는 크게 구강 내 스캐너와 구강 외 스캐너로 분류할 수 있다(Logozzo et al, 2014; Trifkovic et al, 2014). 구강 내 스캐너는 환자의 구강 내를 직접 스캔하여 디지털화 하는 방식이다. 이 방식은 환자의 타액, 혈액, 음식물 잔사 등으로 인해 오차가 생기기 쉽다(Trifkovic et al, 2014, Schaefer et al, 2012; Ender and Mehl 2013; Ender et al, 2016). 또한 스캔을 하는 술자의 숙련도에 따라 스캐닝 정확도가 차이가 있다는 것도 선행 연구를 통해 알려져 있다. 반면 구강 외 스캐너는 환자의 구강 내에서 체득한 인상을 통해 모형을 복제하고 그 모형을 스캔함으로써 앞서 언급한 타액이나 혈액에 의한 빛 반사 등의 오차가 생기지 않는다(Flügge et al, 2013; Trifkovic et al, 2014; Bohner et al, 2017). 그리고 환자의 구강 내를 인상재를 이용하여 인상체를 얻고 그 인상체에 석고 등을 부어 모형 복제를 한 후 스캔을 하기 때문에 환자가 치과에 머무는 시간이 줄어들며 술자의 숙련도에 따른 3차원 인상체 획득 과정에서의 오차가 발생할 확률이 적어진다(Ragain et al, 2000).

일반적으로 치과 치료를 하기 위해 내원하는 환자의 구강 상태는 균일하지 않다. 이미 보철물을 장착한 환자가 있을 수도 있으며, 치열 상태가 고르지 못한 환자도 많다. 또한 결손치가 있는 경우도 있으며 부정 교합으로 인해 과도한 undercut이 있는 경우도 있다. 따라서 디지털화를 수행함에 있어서 어려운 점이 생길 수도 있으며, 이러한 연유로 스캔을 통해 얻어진 3차원 디지털 인상체의 정확도가 낮아질 경우에는 보철물의 정확

도에 큰 영향을 미치게 된다(Ender et al, 2016; Renne et al, 2017; Lim et al, 2018).

현재 스캐너의 정확성과 반복 측정 안정성에 대한 연구는 지금까지도 계속 이어지고 있다(Brosky et al, 2002; Güth et al, 2013; Nedelcu and Persson 2014; de Villaumbrosia et al, 2016; Ender et al, 2016; Vögtlin et al, 2016; Renne et al, 2017; Lim et al, 2018). 하지만 그 논문들의 대부분은 고른 치열 상태의 모형을 기준으로 실험하였으며, 임상에서는 대다수의 연구에 사용된 모형처럼 가지런한 치열을 찾아보기 힘들다(Normando et al, 2012). 또한, 정상 치열과 치열 이상이 있는 치열을 동시에 같이 비교를 한 연구는 거의 없다. 따라서 구강 내 임상적 상황을 위해서는 다양한 치열 상태를 고려할 수 있어야 한다(Bernabé and Flores-Mir 2006; Normando et al, 2012).

따라서 이 연구의 목적은 대표적으로 많이 발생하며 다양한 치열 상태를 고려할 수 있는 총생 치열(CM 그룹) 모형과 치아 사이에 공간이 있는 치간 이개(DM 그룹) 치열 모형을 정상 치열(NM 그룹) 모형과 비교하여 여러 가지 상태의 치열 상태에 따른 스캔의 반복 측정 안정성을 평가하는 것이다.

II. 연구 방법

1. 모형 선정

모형은 치열의 이상을 표현할 수 있는 교정용 모형인 NISSIN사의 D1-kit 중 normal 모형(D1-01BN, NISSIN, Japan), crowding 모형(D1-01B, NISSIN, Japan), diastema 모형(D1-01A, NISSIN, Japan)을 표현한 모형을 선정하였다.

2. 모형 제작

선정한 모형들은 복제용 실리콘(Deguform, DeguDent GmbH, Germany)을 이용하여 복제용 몰드를 제작하였다. 몰드는 제조사의 지시에 따라 제작하

였고 기포가 생기지 않도록 구개부터 천천히 부었으며, 진공 포트에 3기압을 가하여 30분간 경화 시켰다. 이후 IV형 석고(Fuji rock, GC, Japan)를 제조사의 지시에 따라 혼합 후 몰드에 부어 치열 이상 모형을 각각 1회 복제하였다.

3. 3차원 데이터 획득

Normal Model 상악의 복제 모형을 구강 외 스캐너 (Identica blue, Medit, Seoul)를 이용하여 스캐닝 하였다 (Figure 1). 그 후 스캔 데이터의 중첩에서 오차가 생기는 것을 배제하기 위하여 치아 이외의 부분은 전부 삭제하였다. 또한 각 모형의 치열 이상은 전치와 소구치 부분에서만 차이를 나타냈기 때문에 구치 부분은 삭제하였다(NM 그룹). 이러한 방법으로 Crowding Model(CM 그룹)과 Diastema Model(DM 그룹) 역시 치은 부분과 대구치 부분을 삭제한 데이터를 만들어 내었다.

4. 데이터 중첩

이렇게 만들어진 스캔 데이터는 3차원 중첩 프로그램 (Geomagic verify, 3D Systems, America)을 사용하여 데이터를 서로 중첩하였다. 각 치열 이상 그룹간에 중첩을 하였으며 자동 중첩 프로그램의 결과값 산출 방식에 따라 평균 오차 RMS값을 산출하였다.

사후 검정은 Scheffe test를 이용하였다.

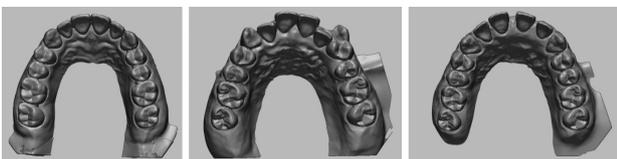


Figure 1. 3D scan data acquisition of model

5. 통계 분석

통계 프로그램(IBM SPSS Statistics 24, SPSS Inc., America)을 이용하여 각 그룹간 평균 RMS값을 서로

비교하여 반복 측정 안정성을 평가하였다. 중첩된 데이터의 RMS값의 반복 측정의 안정성을 평가하기 위해 먼저 Shapiro-Wilk test로 정규성 검정을 시행하였다.

세 그룹 중 두 그룹에서 정규성을 만족하였기 때문에 모수적 통계 방법인 One Way ANOVA 테스트를 시행하였다. 이후 사후 검정은 Scheffe 방법으로 처리하였다. 유의 수준은 0.05로 설정하고 시행하였다.

III. 결과

우선 각 집단 간 데이터가 정규성을 가졌는지 확인을 하기 위해 검정을 실시하였고, 세 집단 모두 정규성을 만족하였다. 따라서 모수 검정인 One Way ANOVA 테스트를 시행하였다. 사후 검정은 Scheffe 방법으로 처리하였다. 유의 수준은 0.05로 설정하고 시행하였다.

반복 측정 안정성의 측정 결과 NM 그룹 평균 13.23 μ m 표준 편차 1.06 μ m, Crowding Model 평균 12.30 μ m 표준편차 2.50 μ m, Diastema Model 평균 5.51 μ m 표준편차 0.55 μ m 의 값을 나타냈다. 세 집단 중 NM 그룹과 Crowding Model은 통계적으로 유의미한 차이가 없었으며 DM 그룹과는 유의미한 차이를 보였다($p < 0.05$). 또한 CM 그룹에서 가장 큰 표준편차를 나타내었다(Fig. 2).

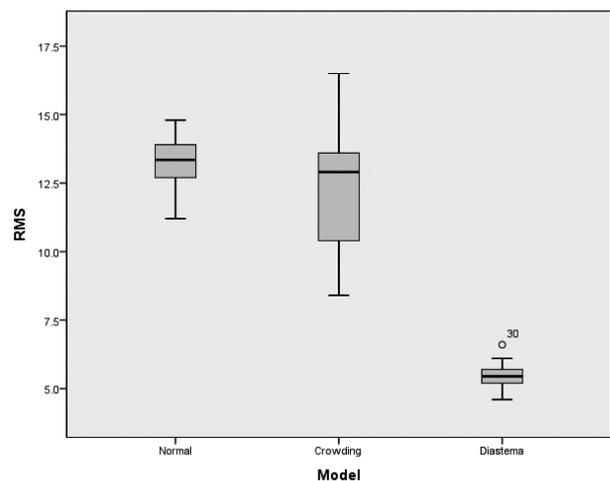


Figure 2. Boxplot showing the difference between the three groups.

Table 1. Multiple comparison analysis table of One-way ANOVA post test

			Mean difference	Significance probability
Scheffe	NM Group	DM Group	7.72000*	.000
		CM Group	.93000	.440
	DM Group	NM Group	-7.72000*	.000
		CM Group	-6.79000*	.000
	CM Group	NM Group	-.93000	.440
		DM Group	6.79000*	.000

중첩 결과로 나온 각 그룹의 오차 값의 평균을 나타내는 RMS값을 비교하여 스캐닝 반복 측정 안정성을 평가하였으며, 일원 배치 분산분석의 결과는 그룹 간 차이가 있음을 나타냈다. Scheffe 방법으로 검정한 사후 검정의 비교 결과는 아래 표에 나타나 있다(Table 1).

위의 비교 표를 보면 NM 그룹과 CM그룹은 통계적으로 유의미한 차이를 나타내지 않았다. 하지만 DM 그룹과는 차이가 있음을 알 수 있다.

자동 중첩 시 나타나는 오차는 다음 그림을 통해 한눈에 볼 수 있다(Fig. 3).

NM 그룹과 DM 그룹은 중첩 시 생기는 오차가 전반적으로 나타나고 있다. 반면에 CM 그룹의 경우는 중첩이 잘 수행된 것을 볼 수 있다. 그렇지만 CM 그룹과 NM 그룹은 공통적으로 치아 사이의 인접면에서 큰 오차를 확인할 수 있었다. 아래의 그림은 세 그룹의 중첩 결과에 대한 전반적인 오차를 가장 잘 나타낼 수 있도록 정면에 전치부가 보이게 하였다.

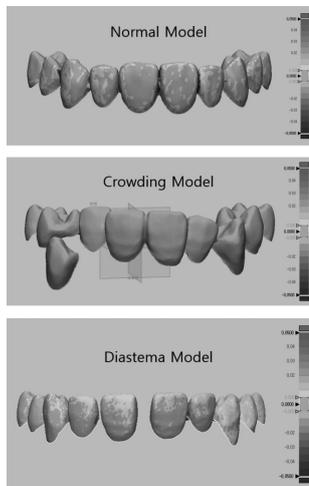


Figure 3. Overlapping model through 3-dimensional superposition program. From the top is NM, CM, DM order.

IV. 고찰

CAD/CAM이 치과에 도입된 것은 1980년대 이후로 많은 발전이 이루어 졌고, 현대에 이르러서는 치과에서 환자가 내원한 당일에 수복 치료가 가능한 수준까지 왔다. 이에 따라 구강 내 스캐너의 개발이 활발하게 진행되고 있다. 하지만 아직도 많은 치과 기공실 및 치과 기공소에서는 인상을 채득하고 모형을 복제하여 그 위에 수복물을 만드는 방식이 주로 사용된다. 따라서 구강 내 스캐너만 아니라 구강 외 스캐너의 품질의 평가 또한 중요하다(Güth et al, 2013; de Villaumbrosia et al, 2016; Ender et al, 2016; Renne et al, 2017; Lim et al, 2018).

CAD/CAM 시스템을 이용해 치과용 수복물을 제작함에 있어서 스캐너의 정밀도와 반복 측정 안정성은 매우 중요한 요소 중 하나이다. 그 중 구강 외 스캐너의 반복 측정 안정성은 치과 기공실 및 치과 기공소 내에서 모형 작업을 할 때 생기는 오차를 최소화하여 정확한 보철물을 제작함에 있어 매우 큰 영향을 미친다(Güth et al, 2013).

기존의 연구들은 정상 치열을 사용하거나(Renne et al, 2017), 혹은 맞춤 치아 모형 등을 사용하여 연구를 진행한다(Vögtlin et al, 2016; Nedelcu and Persson 2014). 하지만 실제 임상에서 치과 치료를 받으러 오는 환자 전원이 정상 치열은 아니고, 치과에서 치과 수복물 제작 의뢰를 위해 오는 인상체 역시 정상 치열이 아닌 경우도 존재한다. 이러한 경우에 치과용 스캐너를 이용해 얻은 3차원 인상이 정확하게 스캔 되었는지 객관적으로 판단할 방법이 없다. 따라서 이 연구에서는 기존의 스캔 정확도 및 정밀도 실험 방법과 동일한 방법을 사용

하였으며 실험 집단을 다르게 하여 반복 측정 안정성을 평가하였다.

기존의 선행 연구 중 여러 종류의 스캐너를 사용한 정확성에 관한 연구에서도 정상 치열의 모형을 가지고 실험을 하였다. 한 연구는 치아 외의 부분에서 생기는 오차를 줄이기 위해 기존 모형의 치은 하부에 표기를 하여 필요하지 않은 부분에서의 오차를 최소화 하려고 노력하였다. 이에 본 연구에서도 스캔 파일에서 치아 외의 요인에서 오차가 생기는 것을 방지하기 위해 치은 부분을 전부 삭제하여 수행하였다. 본 연구의 목적은 치열의 이상에 따른 스캐닝 반복 측정 안정성을 알아보기 위한 것이다. 따라서 모든 모형에서 공통적으로 존재하며 치열에 이상이 나타나지 않은 구치 부분을 전부 제거하였다.

이 연구에서는 NM 그룹과 CM 그룹, DM 그룹을 기존의 모형 제작 방식과 유사하게 제작한 후 스캔 시의 오차를 최소화 하기 위하여 stl파일을 다듬은 후 측정함으로써 나온 3차원 데이터들을 각 그룹 내에서 서로 중첩하여 비교 평가하였다.

NM의 평균 오차 값이 가장 크게 나타난 이유는 3차원 중첩 프로그램의 중첩 방식으로 설명할 수 있다. 타 연구에서 정확성을 측정하기 위해 스캔 된 데이터들을 중첩하여 평가하는 방법을 이 연구에서도 사용하였다. 이 3차원 중첩 프로그램의 자동 중첩 방식은 특징적인 3개의 점을 자동으로 설정하게 되고 그 점을 기준으로 데이터를 중첩하여 두 데이터 사이의 오차를 판단하게 된다. 또한 최적 적합 기능(best fit)을 사용하여 정확도를 높여 확인을 하게 된다.

이 연구에서 오차 값의 차이를 확인하기 위해 비교한 RMS값이란 Root Mean Square의 약자로 어떤 집단의 특징 혹은 경향을 나타내는 대푯값 중 하나이다. 이 방법은 측정 수치들의 제곱을 한 값에 루트를 씌워서 계산을 하게 되며, 기존의 평균값과 근사한 수치를 보인다. 이 방법은 3차원 모형을 중첩시 생기는 각 부분의 양의 오차값의 제곱과 음의 오차값의 제곱을 모두 합산하여 측정된 부분의 수로 나눈 값을 루트를 씌워 평균을 낸 것이다. 예시로 아래 Normal 그룹의 그림에서 A와 B, C의 측정 점을 임의로 잡았다(Fig. 4).

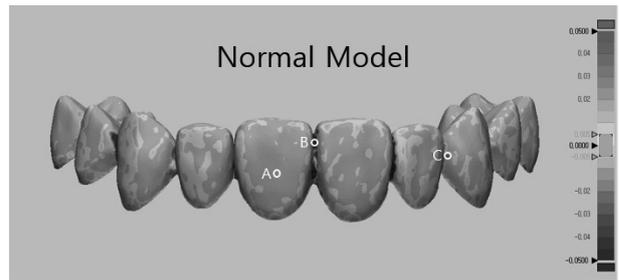


Figure 3. Measurement point notation for example RMS measurement method

A에서는 허용 범위 안에 들어왔고 B는 음의 오차가 나타났다. 또한 C에서는 양의 오차가 나타난 것을 볼 수 있다. 여기서 이 세 점만을 측정하여 RMS를 구하게 된다면 A 점에 오차 값의 제곱 값의 합과 B 점의 오차 값의 제곱 값의 합, C 점의 오차 값의 제곱 값의 합을 구하여 모두 합산 한 후 측정 점의 수인 3으로 나눈다. 그 후 루트를 씌워 구한 값은 평균 값에 근사하게 나온다. 수식으로 나타내면 $\sqrt{\{(A^2+B^2+C^2)/3\}}$ 이렇게 나오게 된다. 이 계산식을 통해 산출된 값이 곧 A, B, C의 측정 점에 대한 RMS 값이다. RMS 값은 음과 양의 오차가 혼재해 있는 3차원 중첩 프로그램에서 평균 오차를 구하는데 가장 적합한 방식이다. 이 연구에서 사용한 중첩 프로그램 상에서는 전체적인 오차 측정 점들을 계산하게 된다. 따라서 RMS 값은 두 모형의 전체적인 오차의 평균 값이라고 할 수 있다.

하지만 앞에서 서술한 중첩 방식이 원인이 되어 언더컷이나 돌출 등의 특징적인 점이 없어 기준점을 잡기 어려운 Normal 모형은 각 데이터 간에 동일한 점을 잡는 것이 어렵게 되어 중첩 시 결과값이 대체적으로 크게 나타났다. CM은 NM에 비해 평균값은 좋았지만 표준 편차는 안 좋게 나타났다. 이는 치열이 불규칙 하므로 중첩 점을 찾는 것은 쉬우나 치아 사이에 언더컷이 많아 스캔을 정확하게 하기 어려워져 나타나는 현상으로 생각된다. 또한 DM의 경우는 NM과 CM 두 그룹과는 다르게 치아 사이가 떨어져 있으므로 타 그룹에서 큰 오차를 나타냈던 인접면 부분의 스캔이 정확하게 되어 NM이나 CM보다 적은 오차 값을 나타낸 것이라고 생각한다. 하지만 DM 역시 NM과 마찬가지로 자동 중첩 시에

는 기준점을 잡기가 어려웠기 때문에 전체적으로 오차가 생긴 것으로 추측한다.

여기서 자동 중첩에서 오는 전체적인 오차를 개선할 정확한 기준점을 선택하게 되면 자동으로 선정된 기준점을 통해 중첩하여 나온 결과값보다 좀 더 좋은 결과값을 얻을 수 있을 것이다. 하지만 연구자가 기준점을 임의로 설정을 하게 됨으로써 객관성이 사라져 오류를 범할 수도 있게 된다. 따라서 이 연구에서는 연구자가 기준점을 설정하지 않고 프로그램에서 수행되는 최적의 자동 중첩 기능을 이용하여 결과를 도출하였다.

현재는 3차원 가상 모형을 사용해 진단 및 치료 계획을 세우는 곳도 많으며, 또한 앞서 설명한 one day 보철을 실현시키는 치과가 늘어나고 있다. 따라서 3차원 치과 수복을 위해서 다양한 치열 상태를 고려해서 디지털 스캔을 적용하는 것은 필수적인 요소라 할 수 있다. 하지만 치과용 수복물의 제작에는 치열의 이상만이 아니라 교합의 이상도 확인이 필요하다. 또한, 구강 내 스캐너를 사용할 시 타액과 혈액 등에 의한 빛 반사, 구강 내의 습도, 보철물의 유무를 포함한 기타 변수에 대한 오차도 고려해야 한다. 따라서 구강 내 스캐너와 구강 외 스캐너를 이용하여 얻은 결과값에 대한 비교 평가는 반드시 필요하며, 좀 더 다양한 상황을 적용시킬 수 있도록 상악 만이 아니라 하악 치아에 관한 연구도 필요하다. 또한 보철의 유무는 물론이고 구강 내 환경을 포함한 다양한 치열의 이상 상태에 따른 최적화 시스템을 개발하고 적용할 수 있도록 해야 한다.

V. 결론

본 연구인 구강 내 스캐너를 이용하여 측정된 반복 측정 안정성에 관한 평가를 통해서 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 세 모형 그룹은 반복 측정 안정성에 있어서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. NM 그룹과 CM 그룹은 DM 그룹에 비해 유사한 RMS값을 보였다.
2. CM 그룹은 NM 그룹에 비해 RMS값이 통계적으로

유의한 차이 값을 보이지 않았으나 자료의 편차 값의 변동 폭이 크므로 반복 측정 안정성은 CM 그룹에서 가장 낮았다.

3. 특히 가시적 오차 값이 큰 구간은 치아의 인접면 부위로 나타났다.

그러므로 본 연구 결과로부터 세 모형 그룹은 RMS 편차 값이 정확도 기준 범위(50~120 μ m)에 존재하므로 모두 임상적으로 적용 가능하지만 스캐너의 빛이 조사되는 방향을 고려해서 스캔을 해야 한다는 점이며, 이것은 스캔 시 치열의 복잡성을 고려하여 구강 내·외 스캔 시 반드시 주의를 기울여야 한다는 점이다.

REFERENCES

- Bernabé E, Flores-Mir C. Orthodontic treatment need in Peruvian young adults evaluated through dental aesthetic index. *AO*, 76(3), 417-21, 2006.
- Bohner LOL, Canto GDL, Marció BS, Laganá DC, Sesma N, Neto PT. Computer-aided analysis of digital dental impressions obtained from intraoral and extraoral scanners. *J Prosthet Dent*, 118(5), 617-23, 2017.
- Brosky ME, Pesun IJ, Lowder PD, DeLong R, Hodges JS. Laser digitization of casts to determine the effect of tray selection and cast formation technique on accuracy. *J Prosthet Dent*, 87(2), 204-9, 2002.
- De Villambrosia PG, Martínez-Rus F, García-Orejas A, Salido MP, Pradiés G. In vitro comparison of the accuracy (trueness and precision) of six extraoral dental scanners with different scanning technologies. *J Prosthet Dent*, 116(4), 543-50, e1, 2016.
- Ender A, Attin T, Mehl A. In vivo precision of conventional and digital methods of

- obtaining complete-arch dental impressions. *J Prosthet Dent*, 115(3), 313-20, 2016.
- Ender A, Mehl A. Accuracy of complete-arch dental impressions: a new method of measuring trueness and precision. *J Prosthet Dent*, 109(2), 121-8, 2013.
- Flügge TV, Schlager S, Nelson K, Nahles S, Metzger MC. Precision of intraoral digital dental impressions with iTero and extraoral digitization with the iTero and a model scanner. *Am J Orthod Dent ofacial Orthop*, 144(3), 471-8, 2013.
- Güth JF, Keul C, Stimmelmayer M, Beuer F, Edelhoff D. Accuracy of digital models obtained by direct and indirect data capturing. *Clin oral Investig*, 17(4), 1201-8, 2013.
- Ji-Eon Jang, Kui-ye Yang, Sun-Rak Jeong, Youn-Hee Choi. Oral health status of some dental practitioners and the relevance of use and awareness of oral care products for life care. *JKEIA*, 12(2), 189-96, 2018.
- Lim JH, Park JM, Kim M, Heo SJ, Myung JY. Comparison of digital intraoral scanner reproducibility and image trueness considering repetitive experience. *J Prosthet Dent*, 119(2), 225-32, 2018.
- Logozzo S, Zanetti EM, Franceschini G, Kilpelä A, Mäkynen A. Recent advances in dental optics - Part I: 3D intraoral scanners for restorative dentistry. *OPTICS*, 54, 203-21, 2014.
- Nedelcu RG, Persson AS. Scanning accuracy and precision in 4 intraoral scanners: an in vitro comparison based on 3-dimensional analysis. *J Prosthet Dent*, 112(6), 1461-71, 2014.
- Normando D, Almeida MA, Quintão CC. Dental crowding: the role of genetics and tooth wear. *AO*, 83(1), 10-5, 2012.
- Parel, S, A system for definitive restoration of single-stage implants in one day. *Dentistry today* 21(2), 106-111, 2002
- Ragain JC, Grosko ML, Raj M, Ryan TN, Johnston WM. Detail reproduction, contact angles, and die hardness of elastomeric impression and gypsum die material combinations. *IJP*, 13(3), 2000.
- Renne W, Ludlow M, Fryml J, Schurch Z, Mennito A, Kessler R, et al. Evaluation of the accuracy of 7 digital scanners: An in vitro analysis based on 3-dimensional comparisons. *J Prosthet Dent*, 118(1), 36-42 2017.
- Schaefer O, Schmidt M, Goebel R, Kuepper H. Qualitative and quantitative three-dimensional accuracy of a single tooth captured by elastomeric impression materials: an in vitro study. *J Prosthet Dent*, 108(3), 165-72, 2012.
- Trifkovic B, Budak I, Todorovic A, Vukelic D, Lazic V, Puskar T. Comparative analysis on measuring performances of dental intraoral and extraoral optical 3D digitization systems. *Measurement*, 47,45-53, 2014.
- Vögtlin C, Schulz G, Jäger K, Müller B. Comparing the accuracy of master models based on digital intra-oral scanners with conventional plaster casts. *PM*, 1,20-6. 2016.
- Wang W, Yu H, Liu Y, Jiang X, Gao B. Trueness analysis of zirconia crowns fabricated with 3-dimensional printing. *J Prosthet Dent*, 2018.