

# 큐레이(Q-ray)와 티스캔(T-scan)을 사용한 치아균열증후군 (cracked tooth syndrome)과 교합 사이의 상관관계에 대한 분석

## Analysis of relationship between cracked tooth syndrome and occlusion using Q-ray and T-scan

안도관·최진우·김유성·표세욱·김희경\*

Do-Gwan Ahn, Jin-Woo Choi, Yuseong Kim, Se-Wook Pyo, Hee-Kyung Kim\*

아주대학교 의과대학 치과학교실 치과보철과

Department of Prosthodontics, Institute of Oral Health Science, Ajou University School of Medicine, Suwon, Republic of Korea

### ORCID iDs

Do-Gwan Ahn

<https://orcid.org/0000-0002-2583-2108>

Jin-Woo Choi

<https://orcid.org/0000-0001-7426-6328>

Yuseong Kim

<https://orcid.org/0000-0002-7059-7629>

Se-Wook Pyo

<https://orcid.org/0000-0003-1835-8302>

Hee-Kyung Kim

<https://orcid.org/0000-0002-9079-6086>

### Corresponding Author

Hee-Kyung Kim

Department of Prosthodontics,  
Institute of Oral Health Science,  
Ajou University School of Medicine,  
#506 Song-jae center, 164 World  
cup-ro, Yeongtong-gu, Suwon-si,  
Gyeonggi-do 16499, Republic of  
Korea

+82 (0)31 219 5322

denthk@ajou.ac.kr

**Article history** Received February

19, 2021 / Last Revision May 24,

2021 / Accepted June 21, 2021

**Purpose.** The aim of this study was to evaluate the relationship between the patient's occlusion and a cracked tooth by using T-scan occlusal analysis and a quantitative light-induced fluorescence (QLF) technology. **Materials and methods.** This study was carried out on 51 patients having cracked teeth between January, 2019 and December, 2020. The tooth crack was determined with a Q-ray pen and QLF parameters ( $\Delta F_{\max}$  and  $\Delta R_{\max}$ ) were obtained by a Q-ray software. T-scan tests were conducted to all subjects and then, the occlusal force and disclosing time were analyzed. Mann-Whitney U test was performed to compare the occlusal force and disclosing time between cracked teeth groups and contra-lateral normal teeth groups ( $\alpha = .05$ ). Mann-Whitney U test was performed to compare  $\Delta F_{\max}$  and  $\Delta R_{\max}$  according to the results of cold/bite tests ( $\alpha = .05$ ). A Spearman correlation analysis was run to determine the relationship between  $\Delta F_{\max}$  or  $\Delta R_{\max}$  and occlusal force or disclosing time ( $\alpha = .05$ ). **Results.** The mean occlusal force and disclosing time were significantly higher on cracked teeth than on normal teeth ( $P < .05$ ). The  $\Delta F_{\max}$  or  $\Delta R_{\max}$  were not significantly different according to the results of cold/bite tests ( $P > .05$ ). There was no correlation between  $\Delta F_{\max}$  or  $\Delta R_{\max}$  and occlusal force or disclosing time ( $P > .05$ ). **Conclusion.** There was a significant relationship between occlusion and cracked tooth syndrome. QLF has the potential to be a valuable tool for the diagnosis of tooth crack in clinical practice. (J Korean Acad Prosthodont 2021;59:271-80)

### Keywords

Bite force; Cracked tooth syndrome; Dental occlusion; Fluorescence

© 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

치아균열증후군(cracked tooth syndrome)을 Cameron은 치아의 상아질(치수까지 포함 가능)을 포함하는 불완전한 치아 파절로 정의 하였다.<sup>1</sup> 이러한 치아파절(tooth fracture)을 여러 저자들은 각각 다르게 정의 및 분류하였다. 그 중 미국근관치료학회(The American Association of Endodontists, AAE)는 치아파절(tooth fracture)을 잔금균열(craze line), 교두파절(cuspal fracture), 치아균열(cracked tooth syndrome), 치아분할(split tooth), 수직치근파절(vertical root fracture)과 같이 5가지로 분류하였다.<sup>2</sup> 치아균열증후군의 원인으로는 큰 부피의 수복물, 강한 저작력, 물리적 외상, 비기능적 습관, 균형측 간섭 등이 있다.<sup>3,4</sup> 치아균열증후군은 30 - 50세 구간에서 가장 많이 발견되며, 대부분 강한 저작력에 놓이는 대구치에서 발생한다고 보고되었다.<sup>5,6</sup> 이러한 치아균열증후군은 증상 재현이 일정하지 않고 방사선 사진 또는 육안 상으로 관찰하기가 어려워 진단시기를 놓치는 경우가 많다.<sup>7</sup> 또한 치아균열증후군은 발치를 포함한 불안정한 예후를 갖는다. 따라서, 치아균열증후군의 원인을 분석하여 이를 예방하는 것이 우선이라고 할 수 있다.<sup>8</sup>

정량 광유도 형광법(Quantitative light-induced fluorescence technology, QLF)는 405 nm의 파장을 가지는 푸른색의 가시광선을 치아에 조사하여 초기 우식 병소를 감지해내는 기술이다. 이 가시광선이 건전한 치아에 조사되면 녹색의 자연 형광(auto fluorescence)가 발생하지만, 우식병소에서는 빛이 산란되면서 형광이 소실되어 검게 보인다. 이러한 정상 치질과 우식치질 간의 비교를 통해 형광 소실도( $\Delta F$ )를 측정할 수 있다. 이후 QLF 기술을 접목한 Q-ray pen (All-in-one Bio, Seoul, Korea)이 개발되었다. Q-ray pen은 일반 백색 광원과 청색 광원이 장착되어 있어 한 번의 촬영으로 일반 이미지와 청색 형광 이미지를 모두 촬영한다. 또한 특수 필터가 내장되어 있어 세균이 분비하는 포피린(porphyrin)이 띠는 붉은색 형광을 탐지할 수 있다. 이러한 정상 치질과 병소 부위의 붉은색 형광 차이를 정량화한 수치가 적색형광도( $\Delta R$ )이다.<sup>9</sup> 이러한 QLF 기술을 이용하면 기존 육안으로 확인하기 어려웠던 균열부위 속의 미생물이 분비한 잔존 포피린의 붉은색 형광을 감지하여 치아균열의 존재유무 및 위치를 직접 확인할 수 있다 (Fig. 1).<sup>10</sup> 형광소실도( $\Delta F$ )와 적색형광도( $\Delta R$ )은 비교영역 전체의 평균값이며, 비교영역 중 가장 형광도의

차이가 큰 지점의 형광소실도와 적색형광도를 각각 최대형광소실도( $\Delta F_{max}$ ), 최대적색형광도( $\Delta R_{max}$ )라고 한다. 선행 *in vitro* 연구에서는 이러한 Q-ray를 이용해 측정된 수치 중 최대형광소실도( $\Delta F_{max}$ ) 값이 치아균열의 유무와 깊이와 연관성이 있고, QLF 기술이 치아균열증후군을 진단하는데 타당한 임상적 방법이 될 수 있음을 입증하였다.<sup>11</sup> 따라서 본 연구에서는 Q-ray pen을 활용하여 치아균열증후군을 진단하였으며, 치아균열의 정량적 평가를 하기 위해 최대형광소실도( $\Delta F_{max}$ )와 최대적색형광도( $\Delta R_{max}$ )를 측정하였다.

T-scan III (Tekscan, Boston, MA, USA)는 디지털 센서를 이용하여 시간에 따른 개개 치아의 상대적 상대적 교합강도(%)을 동영상 형식의 데이터로 측정하는 교합분석기기이다. 특히, 하악의 측방운동 시에도 개개 치아의 상대적 상대적 교합강도(%)을 측정하여, 치아가 접촉하고 있는 시간을 정량화할 수 있다.<sup>12,13</sup> 이러한 원리를 기반으로, 선행 연구들은 T-scan을 이용하여 자연치열이나 보철 수복 후 교합 강도 및 교합 양식을 분석하였으며 이러한 분석 방법이 신뢰도 및 타당성 측면에서 우수하다고 발표하였다.<sup>14,15</sup>

본 연구의 목적은 첫 째로, T-scan III를 이용해 치아균열증후군을 가진 환자의 개개 치아의 상대적 교합강도, 측방 유도 시간을 평가하여 균열치(cracked tooth)와 정상치아 간의 상대적 교합강도 및 측방 유도 시간의 차이를 분석하는 것이다. 두 번째로 Q-ray를 사용하여 균열치(cracked tooth)에서 최대형광소실도( $\Delta F_{max}$ )와 최대적색형광도( $\Delta R_{max}$ )를 측정 후, 이러한 정량적 수치와 균열치(cracked tooth)의 임상적 증상 간의 상관관계를 분석하는 것이다. 세 번째로 개개 치아의 최대형광소실도( $\Delta F_{max}$ )와 상대적 교합강도, 측방 유도 시간 변수 간에 양의 상관 관계가 있는지 분석하는 것이다. 따라서 본 연구의 첫 번째 귀무가설은 균열치(cracked tooth)와 정상 치아 간에 저작력과 측방 유도 시간의 유의미한 차이는 없다는 것이다. 두 번째 귀무 가설은 균열치(cracked tooth)의 임상적 증상 유무간의 결과에 따라 최대형광소실도( $\Delta F_{max}$ ) 혹은 최대적색형광도( $\Delta R_{max}$ ) 값의 차이가 없다는 것이다. 세 번째 귀무 가설은 개개 치아의 최대형광소실도( $\Delta F_{max}$ ) 혹은 최대적색형광도( $\Delta R_{max}$ )와 상대적 교합강도와 측방 유도 시간 변수 사이에는 상관관계가 없다는 것이다.

## 대상 및 방법

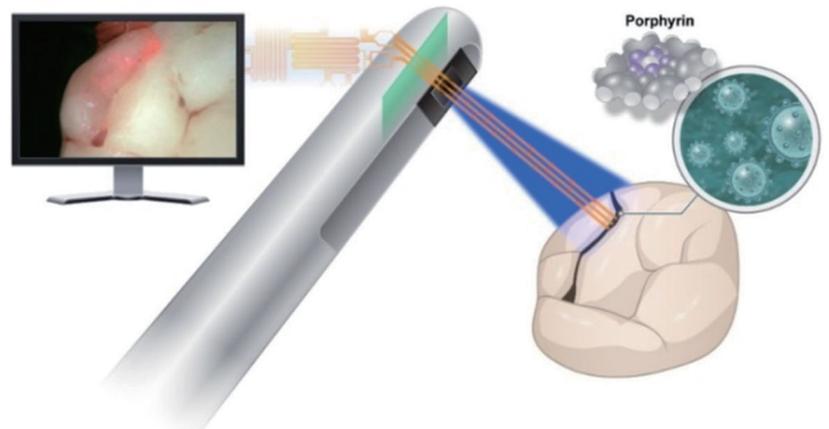
본 연구는 아주대학교병원 연구윤리심의위원회의 승인 하에 진행하였다(IRB No. AJIRB-DEV-OBS-19-142). 2019년 3월 1일부터 2020년 12월 31일까지 아주대학교병원 치과진료센터 치과보철과에 내원한 환자 중 실험대상 포함기준을 만족하며 치아균열증후군으로 진단된 대구치를 1개 이상 가지고 있으나 동일 악궁 반대측에는 정상 치아를 가진 환자 51명을 대상으로 하였다. 단, 대구치 수복, 근관 치료, 외상 이력, 비기능적 습관 이력 상실 대구치가 있는 환자는 제외하였다 (Table 1).

치아균열증후군의 진단은 Q-ray pen (All-in-one Bio, Seoul, Korea)을 통해 균열선을 확인함으로써 진행하였다. 그리고 냉검사(cold test)와 교합검사(bite test)를 시행하였다. 냉검사는 냉각된 cotton pellet을 이용하여 -/+ /++ /+++로 구분하였다. 교합검사는 cotton roll을 이용해 +/- 로 구분하였다. 이어서 Q-ray 검사를 진행하였다. 치면을 충분히 건조한 후 Q-ray pen을 이용하여 치아균열증후군에 이환된 치아(실험군)와 반대측 정상치아의 형광사진(대조군)을 촬영하였다 (Fig. 1, Fig. 2). 촬영된 두 사진을 Q-ray software (All-in-one Bio, Seoul, Korea)에 업로드 한 후 분석하려는 부위를 설정하였다. 본 연구에서는 치아 사진상 균열선 인접 1

**Table 1.** Inclusion and exclusion criteria of this study

Inclusion criteria	Exclusion criteria
- Patient diagnosed with cracked tooth syndrome in more than one molar	- Past dental history of restorative treatment on molar diagnosed with cracked tooth syndrome
- Patient with normal tooth on the opposite side of the same arch	- Past dental history of endodontic treatment on molar diagnosed with cracked tooth syndrome
	- Past dental history of dental trauma on molar diagnosed with cracked tooth syndrome
	- Patient with parafunctional habit
	- Patient with missing molar

**Fig. 1.** Illustration of principle of quantitative light-induced fluorescence.



**Fig. 2.** Example of quantitative light-induced fluorescence images using Q-ray pen. (A) Fluorescent image of cracked tooth (test side), (B) Normal image of cracked tooth (contralateral site).





Fig. 3. T-scan test for analyzing occlusion.

mm zone을 설정하였다. 이 zone을 기준으로 최대형광소실도( $\Delta F_{max}$ )와 최대적색형광도( $\Delta R_{max}$ )을 실험군과 대조군에서 측정하였다. 이후 T-scan III (Tekscan, Boston, MA, USA)을 이용한 교합검사를 시행하였다 (Fig. 3).

악궁 크기에 맞는 크기의 센서(small, medium, large)를 선택하고 환자의 중절치 폭경을 측정하여 프로그램에 입력하였다. 그리고 환자에게 예비로 센서를 교합시킨 후 화면 상에서 가장 강한 강도를 나타내는 붉은색 점이 나타나지 않도록 강도를 조절함으로써 T-scan 검사를 위한 기본 준비를 완료하였다. 검사는 최대교두감합위와 편심위 운동(좌측, 우측) 세가지를 시행하였다. 환자에게 최대교두감합위로 악물고 3초간 유지하도록 지시하였다. 또한, 최대교두감합위 상태에서 편심위 운동을 시켰다(좌측, 우측). 각 과정은 3번 반복시행하였다. 검사가 끝나면 T-scan software 상에서 데이터를 분석하였다.

최대교두감합위 시 교합분석은 다음과 같이 하였다. 그래프 상에서 가장 상대적 교합강도가 강한 시점을 최대교두감합위로 해석하고 그 시점을 선택하면 악궁 모양의 화면이 나타난다. 이 화면에서 각 치아별 상대적 교합강도 분포가 %단위로 표시된다. 실험군 치아와 대조군 치아의 상대적 교합강도(Relative occlusal force)를 측정하였다 (Fig. 4). 3번의 시행 모두에서 이를 측정한 후 평균값을 이용하였다.

편심위 운동시에서는 전체 악궁의 작업측 유도시간(Total arch working disclusion time, TW), 비작업측 유도시간(Total arch non-working disclusion time, TN)을 측정하였다. 이는 모든 구치부 치아가 이개될 때까지 걸리는 시간을

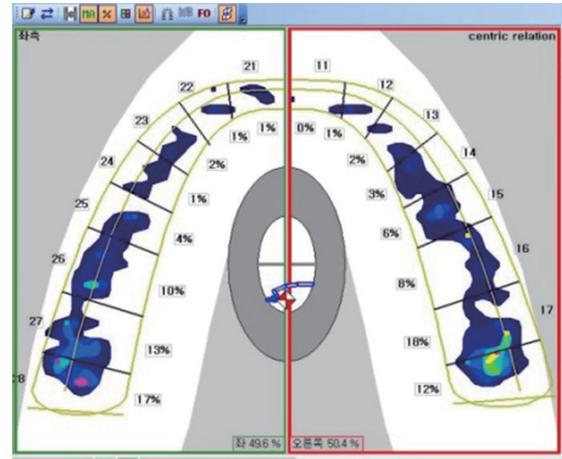


Fig. 4. T-scan analysis of Occlusal force.

의미한다. 다만, 견치 이외의 치아가 측전방 유도를 담당하는 경우는 해당 치아 이외의 구치가 이개 될 때까지의 시간을 측정하였다. 시작점은 최대교두감합위로 하였으며 종점은 모든 구치가 이개되는 시점으로 하였다. 3번의 시행에서 얻은 실험값의 평균값을 이용하였다.

실험군 치아와 대조군 치아 각각에 대한 작업측 유도시간(Single tooth working disclusion time, SW), 비작업측 유도시간(Single tooth non-working disclusion time, SN)을 측정하였다. 유도의 시작점과 종점은 악궁 전체 유도시간의 측정과 동일한 기준으로 설정하였으며, 이 또한 3번의 시행 모두에서 얻은 실험값의 평균값을 이용하였다. 먼저, 실험군과 대조군 간에  $\Delta F_{max}$ ,  $\Delta R_{max}$ , 상대적 교합강도, SW, SN, SW/TW, SN/TN의 값에 차이가 있는지 분석하였다. 여기서 SW/TW와 SN/TN은 전체 악궁의 유도시간중 분석하고자 하는 특정 치아의 유도시간의 비율을 뜻하는 수치이다.

모든 데이터는 SPSS statistical software (v25.0, IBM, Chicago, IL, USA)을 사용하여 분석하였다. 우선, 정규성 검정을 위한 Shapiro-Wilk test를 시행하였고, 일부 군에서 정규 분포를 만족하지 못하였다. 따라서 Mann-Whitney U test를 이용하여 실험군과 대조군 간의 상대적 교합강도, SW, SN, SW/TW, SN/TN 값의 차이를 분석하였다 ( $\alpha = .05$ ). 이 때 실험군과 대조군 간 진단의 성능을 평가하기 위해 receiver-operating characteristic (ROC) curve를 이용하여 각 종속변수들의 cut-off value 및 이 때의 민감도와 특이도를 구하였다. (T 균열치로 진단된 실험군의 치아들을 냉

검사 결과에 따라서  $\Delta F_{max}$  (%),  $\Delta R_{max}$  (%) 값의 차이가 있는지 살펴보고자 하였다. 냉검사 결과 cold (-)와 cold (+++)로 검사된 치아는 없었기 때문에, cold (+) 군과 cold (++) 군으로 분류한 후 이들 군의 종속변수들에 대한 정규성 검정 후 Mann-Whitney U test를 이용해 두 군간에 차이를 분석하였다 ( $\alpha = .05$ ). 그리고 cold (+)군과 cold (++)군 균열치로 진단된 실험군의 치아들 중 bite test 증상 유무에 따라서  $\Delta F_{max}$  (%),  $\Delta R_{max}$  (%) 값의 차이가 있는지 살펴보기 위해 bite (+) 군과 bite (-) 군으로 분류한 후 이들 군의 종속변수들에 대한 정규성 검정 후 Mann-Whitney U test를 이용해 두 군간에 차이를 분석하였다 ( $\alpha = .05$ ). 각 군간의 차이를 비교검정하는 위 세가지 통계분석 모두에서 각 군간 선별진단의 성능을 평가하기 위해 추가적으로 receiver-operating characteristic (ROC) curve를 이용해 분석하였다. 마지막으로  $\Delta F_{max}$  (%)와 상대적 교합강도(%), SW, SN, SW/TW, SN/TN 간의 상관관계는 Spearman correlation analysis로 분석하였다.

## 결과

총 51명의 환자를 대상으로 조사를 하였다. 이 중 남성은 28명, 여성은 23명이였다. 전체 환자의 평균 연령은 50.9세였다. 종속 변수들에 대한 정규성 검정을 위한 Shapiro-Wilk test 결과 일부 군은 정규성을 따르지 않았다 ( $P > .05$ ) (Table 2).

정규성을 따르지 않는 군들이 있었기에 Mann-Whitney U test를 시행한 결과 상대적 교합강도, SW, SW/TW, SN/TN

변수는 균열 유무에 따라 통계적으로 유의미한 차이를 보였다 ( $P < .05$ ) (Table 3). 상대적 교합강도를 보면 실험군의 평균은 22.08%, 대조군의 상대적 교합강도 평균은 16.14%로 실험군이 통계적으로 유의미하게 높았다 ( $P < .001$ ). SW를 보면 실험군의 평균은 0.60, 대조군의 평균은 0.47로 실험군이 통계적으로 유의미하게 높았다 ( $P < .05$ ). SN을 보면 실험군의 평균은 0.38, 대조군의 평균은 0.32로 둘 간의 차이는 통계적으로 유의미한 차이가 없었다 ( $P < .05$ ). SW/TW를 보면 실험군의 평균은 0.80, 대조군의 평균은 0.65로 실험군이 통계적으로 유의미하게 높았다 ( $P < .05$ ). SN/TN을 보면 실험군의 평균은 0.84, 대조군의 평균은 0.69로 실험군이 통계적으로 유의미하게 높았다 ( $P < .001$ ).

또한, ROC curve 분석 결과 각 종속변수들의 cut-off value와 이때의 민감도와 특이도를 조사하였다 (Fig. 5). 상대적 교합강도의 경우 cut-off value는 18.50으로 이때의 민감도는 63%, 특이도는 73%로 나타났다. TW의 경우 cut-off value는 0.695로 이때의 민감도는 51%, 특이도는 53%로 나타났다. TN의 경우 cut-off value는 0.490으로 이때의 민감도는 49%, 특이도는 43%로 나타났다. SW의 경우 cut-off value는 0.455로 이때의 민감도는 63%, 특이도는 60%로 나타났다. SN의 경우 cut-off value는 0.335로 이때의 민감도는 57%, 특이도는 61%로 나타났다. SW/TW의 경우 cut-off value는 0.734로 이때의 민감도는 73%, 특이도는 71%로 나타났다. SN/TN의 경우 cut-off value는 0.782로 이때의 민감도는 69%, 특이도는 69%로 나타났다.

**Table 2.** Shapiro-Wilk test of T-scan data

	Group	Statistics	P-value
Relative occlusal force (%)	Crack (+)	0.897	< .001
	Crack (-)	0.971	.252
SW	Crack (+)	0.952	.038
	Crack (-)	0.900	< .001
SN	Crack (+)	0.903	.001
	Crack (-)	0.960	.080
TW	Crack (+)	0.861	< .001
	Crack (-)	0.970	.231
TN	Crack (+)	0.840	< .001
	Crack (-)	0.960	.084

SW: Single tooth working disclusion time, SN: Single tooth non-working disclusion time, TW: Total arch working disclusion time, TN: Total arch non-working disclusion time.

**Table 3.** Mann-Whitney U test of T-scan data between each group

	Crack(+) (N = 50) Mean ± SD	Crack(-) (N = 50) Mean ± SD	P-value
Occlusal Force (%)	22.08 ± 7.163 <sup>a</sup>	16.14 ± 5.020 <sup>b</sup>	< .001
SW*	0.60 ± 0.339 <sup>c</sup>	0.47 ± 0.257 <sup>d</sup>	.025
SN <sup>†</sup>	0.38 ± 0.183 <sup>e</sup>	0.32 ± 0.134 <sup>e</sup>	.082
SW/TW <sup>‡</sup>	0.80 ± 0.206 <sup>f</sup>	0.65 ± 0.274 <sup>g</sup>	.001
SN/TN <sup>§</sup>	0.84 ± 0.177 <sup>h</sup>	0.69 ± 0.196 <sup>i</sup>	< .001

Different superscript letters in each row represent statistically significant differences based on Mann-Whitney U test ( $P < .05$ ). SW: Single tooth working disclusion time, SN: Single tooth non-working disclusion time, TW: Total arch working disclusion time, TN: Total arch non-working disclusion time.

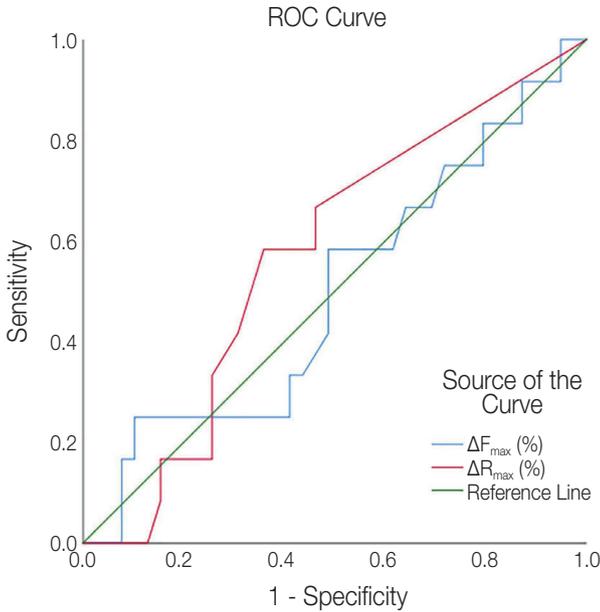


Fig. 5. The receiver operating characteristic (ROC) curve of each value used to obtain the new cut-off value.

치아균열증후군으로 진단된 치아를 cold (++)인 그룹과 cold (+)인 그룹으로 나누어 각 군간에  $\Delta F_{max}$  (%)와  $\Delta R_{max}$  (%) 값의 차이를 조사하였다. 또 bite (+)인 그룹과 bite (-)인 그룹으로 나누어 각 군간에  $\Delta F_{max}$  (%)와  $\Delta R_{max}$  (%) 값의 차이를 조사하였다. 각 그룹 별로 종속 변수들에 대한 정규성 검정을 위한 Shapiro-Wilk test 결과 모두 정규성을 따르지 않았다 ( $P > .05$ ) (Table 4).

정규성을 따르지 않기 때문에 cold (++)인 그룹과 cold (+) 그룹 간의 차이를 Mann-Whitney U test를 이용해 분석하였다.  $\Delta F_{max}$  (%)의 경우 cold (++) 군의 평균값은 -13.00이고 cold (+)인 군의 평균값은 -12.51으로 통계적으로 유의미한 차이라 할 수 없었다 ( $P > .05$ ) (Table 5).  $\Delta R_{max}$  (%)의 경우 cold (++)의 평균값은 16.17이고 cold (+)의 평균값은 12.56으로 통계적으로 유의미한 차이라 할 수 없었다 ( $P > .05$ ) (Table 5).

또한 cold (++)군과 cold (+)군 간의 선별진단 성능평가를 위해 ROC curve 분석을 이용하여  $\Delta F_{max}$ 와  $\Delta R_{max}$  값의 cut-off value와 이때의 민감도와 특이도를 조사한 결과  $\Delta F_{max}$ 는 cut-off value가 -23.25로 이때의 민감도는 42%, 특이도는 51%였다.  $\Delta R_{max}$ 는 cut-off value가 20.50으로 이때의 민감도는 58%, 특이도는 59%였다 (Fig. 6).

Table 4. Shapiro-Wilk test of Q-ray data for cold or bite test

	Group	Statistics	P-value
$\Delta F_{max}$ (%)	cold (++)	0.889	.113
	cold (+)	0.921	.009
$\Delta R_{max}$ (%)	cold (++)	0.824	.018
	cold (+)	0.786	.001
$\Delta F_{max}$ (%)	bite (+)	0.938	.041
	bite (-)	0.895	.096
$\Delta R_{max}$ (%)	bite (+)	0.814	< .001
	bite (-)	0.791	.004

Table 5. Mann-Whitney U test of Q-ray data between each group

	Cold (++) Mean $\pm$ SD	Cold (+) Mean $\pm$ SD	P-value
$\Delta F_{max}$ (%)	-27.56 $\pm$ 13.33	-26.85 $\pm$ 14.442 <sup>a</sup>	.965
$\Delta R_{max}$ (%)	18.17 $\pm$ 14.16 <sup>b</sup>	14.31 $\pm$ 16.934 <sup>b</sup>	.428

Same superscript letters in each row mean the values are not significantly different base on Mann-Whitney U test ( $P > .05$ )

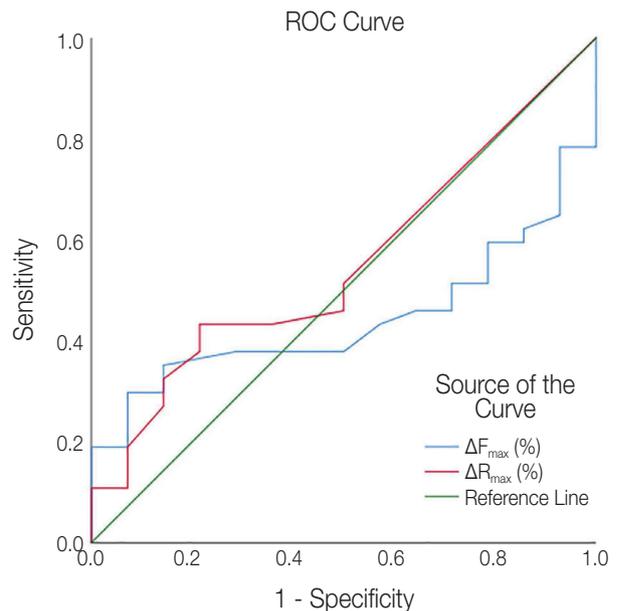


Fig. 6. The receiver operating characteristic (ROC) curve of  $\Delta F_{max}$  and  $\Delta R_{max}$  used to obtain the new cut-off value in cold test.

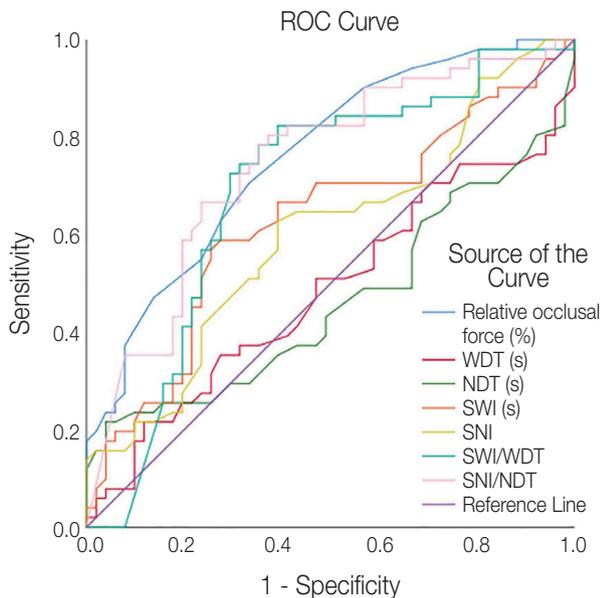
교합검사 결과, bite (+)인 그룹과 bite (-)인 그룹도 정규성을 따르지 않았기 때문에 그룹 간의 차이를 Mann-Whitney U test를 이용해 분석하였다.  $\Delta F_{max}$  (%)의 경우 bite (+) 군은 평균값은 -13.29, bite (-) 군은 평균값 -10.87으로 통계적으로 유의미한 차이라 할 수 없었다 ( $P > .05$ ) (Table 6).

$\Delta R_{max}$  (%)의 경우 bite (+)의 평균값은 14.43, bite (-)의 평균값은 10.71으로 통계적으로 유의미한 차이라 할 수 없었다 ( $P > .05$ ) (Table 5).

**Table 6.** Mann-Whitney U test of Q-ray data between each group

	bite (++) Mean $\pm$ SD	bite (-) Mean $\pm$ SD	P-value
$\Delta F_{max}$ (%)	-28.41 $\pm$ 15.88 <sup>a</sup>	-23.33 $\pm$ 6.45 <sup>a</sup>	.526
$\Delta R_{max}$ (%)	16.00 $\pm$ 17.08 <sup>b</sup>	13.21 $\pm$ 14.33 <sup>b</sup>	.536

Same superscript letters in each row mean that values are not significantly different based on Mann-Whitney U test ( $P > .05$ )



**Fig. 7.** The receiver operating characteristic (ROC) curve of  $\Delta F_{max}$  and  $\Delta R_{max}$  used to obtain the new cut-off value in bite test.

또한 bite (+)군과 bite (-)군 간의 선별진단 성능평가를 위해 ROC curve 분석을 이용하여  $\Delta F_{max}$ 와  $\Delta R_{max}$  값의 cut-off value와 이때의 민감도와 특이도를 조사한 결과  $\Delta F_{max}$ 는 cut-off value가 -23.25로 이때의 민감도는 43%, 특이도는 43%였다.  $\Delta R_{max}$ 는 cut-off value가 18.50으로 이때의 민감도는 49%, 특이도는 50%였다 (Fig. 7).

Spearman correlation analysis를 이용하여  $\Delta F_{max}$  (%)와 상대적 교합강도(%), SW, SN, SW/TW, SN/TN 간의 correlation coefficient (r)을 계산한 결과,  $\Delta F_{max}$  (%)는 SN/TN을 제외하고는 다른 변수들과 통계적으로 유의한 상관관계를 보이지 않았다 (Table 7).

### 고찰

본 연구결과에 따르면 T-scan을 이용해 측정된 상대적 교합강도, 측방 운동시 치아가 접촉하는 정도는 균열치와 정상치아 간에 유의한 차이를 보였다 ( $P < .05$ ) (Table 2). 따라서 본 연구의 첫번째 귀무가설은 기각되었다. 균열치의 임상증상에 따라 분류한 군들 사이의 최대형광소실도( $\Delta F_{max}$ )와 최대적색형광도( $\Delta R_{max}$ )의 값에는 유의미한 차이를 보이지 않았다 ( $P > .05$ ) (Table 4, Table 5). 따라서 본 연구의 두번째 귀무가설은 채택되었다. 개개 치아의 최대형광소실도( $\Delta F_{max}$ )와 상대적 교합강도, 측방 유도 시간 변수 사이에는 유의미한 상관관계가 발견되지 않았다. 따라서 본 연구의 세번째 귀무가설은 채택되었다.

균열치로 진단된 실험군은 대조군에 비하여 통계적으로 유의미하게 높은 상대적 교합강도를 보여 강한 교합력과 치아 균열증후군의 발병 간의 상관관계를 유추할 수 있었다 ( $P < .001$ ). 편심위 운동 분석시 해당 치아의 작업측 측방유도시간 (SW)의 경우 실험군에서 대조군에 비하여 통계적으로 유의미하게 더 높은 수치를 나타냈다. 이를 통해 작업측 운동시 접촉되는 정도와 치아균열증후군의 발병 간의 상관관계가 입증되었다. 하지만 해당 치아의 비작업측 측방유도시간(SN)의 경우 통계적으로 유의미한 결과는 보이지 않았다 ( $P > .05$ ).

**Table 7.** Spearman correlation analysis of Q-ray data between each group

	Occlusal Force (%)	SN	SW	SN/TN	SW/TW
$\Delta F_{max}$ (%)	.039	.201	.061	-.058	-.016

SW/TW의 경우 실험군에서 대조군보다 통계적으로 유의미하게 높은 값을 나타내었다 ( $P < .05$ ). SN/TN의 경우 또한 실험군에서 대조군보다 통계적으로 유의미하게 높은 값을 나타내었다 ( $P < .001$ ). 이러한 결과를 바탕으로 편심위 운동에서 치아가 접촉되는 비율과 치아균열증후군의 발병 간의 상관관계가 입증되었다. TW와 TN은 각각 작업측, 비작업측 편심위 운동에서 모든 구치가 이개될 때까지 걸리는 시간이며, SW/TW, SN/TN은 치아의 접촉 시간이 아닌 전체 편심위 운동에서 해당 치아가 어느 정도의 비율로 접촉하는가를 나타내는 변수이다. 이렇게 편심위운동시 치아의 접촉시간과, 접촉비율을 구분하여 조사한 이유는 저작패턴 때문이다. 선행연구에서 사람의 습관적 저작 패턴은 개인마다 속도와 운동범위가 다르다고 보고하였다.<sup>16</sup> 따라서 어떤 환자들은 오른쪽으로는 빠르게 측방운동을 하지만 왼쪽으로는 천천히 측방운동을 하는 등 단순히 접촉시간을 조사하였을 때 왜곡의 소지가 있다고 판단하였다. 하지만 접촉비율은 이러한 전체 악궁운동시간에 관계없이 관찰하고자 하는 해당치아의 측방운동시 접촉하는 정도를 더 정확하게 정량화할 수 있었다. 따라서 SN은 유의미한 차이를 보이지 않았다 하더라도 SN/TN이 유의미한 차이를 보였기 때문에 비작업측 운동에서의 접촉 또한 치아균열증후군을 유발할 수 있다고 추정하였다.

치아에 가해지는 강한 교합력과 전방유도 상실로 인한 구치부 치아의 비작업측 간섭이 치아균열증후군을 일으킬 수 있다는 연구는 과거에도 있었다.<sup>17</sup> 하지만 치아에 가해지는 교합력이나 측방운동시 간섭되는 정도를 정량화된 수치로 측정해 이를 입증한 연구는 없었다. 본 연구에서는 T-scan을 이용해 균열치와 정상 치아의 상대적 교합강도와, 측방운동시 치아가 접촉하는 시간을 측정해 비교하였다. 이러한 교합요소 외에도 치아균열증후군의 원인으로 수복물 유무, 수복물의 크기, 수복물의 형태 등의 다양한 요소가 있음이 주장되어 왔다.<sup>18</sup> 또, 이갈이와 같은 비기능적인 습관 또한 치아균열증후군을 일으킬 수 있다고 주장되었다.<sup>19</sup> 본 연구에서는 이러한 요소에 의한 왜곡을 없애기 위해 수복 이력이 있거나, 비기능적인 습관이 있는 환자는 연구대상에서 배제하였다.

사람의 치열에서 전방유도에 의한 구치부의 보호는 저작계의 조화로운 기능을 위해 매우 중요하다.<sup>20</sup> 이러한 전방유도는 교합양식에 따라 견치유도교합(canine protection), 군기능교합(group function), 균형교합(balanced occlusion)으로 크게 세가지로 분류된다.<sup>21</sup> 사람의 교합양식은 견치유도교

합에서 나이가 들에 따라 군기능유도교합과 균형교합으로 서서히 변화하여 점차 구치들의 측방운동시 접촉 정도가 많아짐에 따라 더욱 마모현상이 가속화될 수 있다.<sup>22</sup> 마모가 지속되면 상아질이 노출되고 이러한 상아질은 수직적, 수평적 힘에 의해 쉽게 균열이 유발된다. 이러한 이유로 편심위운동에서 긴 접촉 기간은 치아균열증후군의 유발률과 관계가 있을 것이라고 예상하여 본 연구를 진행하였다. 실제로 치아균열증후군은 여러 연구에 따르면 30 - 50세 구간의 중년층에서 가장 많이 발생한다.<sup>5,6</sup> 이를 통해 노화에 의한 마모 및 교합양식의 변화가 선행하고 이에 의해 치아균열증후군이 유발될 수 있음을 유추해볼 수 있다. 선행 연구에 따르면 마모에 의해 법랑질이나 상아질이 소실된 치아에서 형광소실도( $\Delta F$ ) 값이 유의미하게 크다는 것이 보고되었다.<sup>23</sup> 이를 활용하여 상아질이 노출된 치아와 마모가 진행되지 않은 치아를 대상으로 교합력을 가했을 때 치아에 균열이 발생하는 정도를 비교해보는 후속 연구를 통해 이를 좀더 정확하게 입증할 수 있을 것이라 생각한다.

본 연구 결과 치아균열증후군으로 진단된 연구대상 치아들은 냉검사(cold test) 및 교합검사(bite test)에 각기 다른 반응을 보였다. 이러한 임상증상에 따라 최대형광소실도( $\Delta F_{max}$ ) 및 최대적색형광도( $\Delta R_{max}$ )의 수치의 크기 차이가 있는지를 살펴보고자 하였다. 치아균열증후군은 진단이 쉽지 않기 때문에 이러한 정량화된 수치와 임상증상 간에 연관성이 입증된다면 유용할 것이다. 하지만 냉검사, 교합검사 모두 이러한 최대형광소실도( $\Delta F_{max}$ ) 및 최대적색형광도( $\Delta R_{max}$ )는 통계적으로 유의미한 관계가 없었다 ( $P > .05$ ) (Table 4, Table 5). 따라서, 임상증상만으로는 치아균열증후군을 진단하기는 어렵다는 것을 유추해볼 수 있다.

본 연구에서 측정한  $\Delta F_{max}$ 와  $\Delta R_{max}$  값은 표준편차가 매우 크게 측정이 되었다 (Table 5, Table 6). 이렇게 표준편차가 큰 것은 Q-ray pen 카메라의 부족한 해상도가 원인일 것으로 추정된다. 실제로, 육안으로는 적색형광이 관찰되어도, Q-ray pen으로 촬영하고 소프트웨어에 업로드 하였을 때는 적색형광이 관찰되지 않는 경우가 많았다. 반면에 확실하게 적색형광이 육안으로 관찰될 경우에는 소프트웨어 상에서도 적색형광이 관찰되었다. 이러한 이유로 최대적색형광도( $\Delta R_{max}$ )의 편차가 치아별로 크게 나타났을 것으로 추정한다. 이러한 부분을 보완하기 위해 해상도가 더 높은 제품을 이용하여 추후 연구가 필요할 것으로 생각된다. 그리고, T-scan 을 이용한 교합분석의 경우 음식이 개재되지 않은 상태에서의 교합을 분석하였

다. 하지만, 실제환경에서는 음식물이 개재된 상태에서 교합이 이루어지기 때문에 이 점이 고려되지 않은 점이 한계점이라고 생각된다. 이를 고려하여 환자 구강내에 다른 물질을 개재한 뒤 T-scan 검사를 시행하는 후속연구가 필요할 것으로 생각된다.

본 연구의 결과 교합과 치아균열증후군간의 관계가 입증되었으므로 T-scan을 이용해 교합을 분석하여 병적 교합을 판단한다면 예방적 수복이나 교합조정을 통해 치아균열증후군을 예방할 수 있다는데 임상적 의의가 있다. 또한, Q-ray 를 통한 치아균열증후군 진단법은 육안으로 직접 균열선 확인이 가능해 치아균열이 더욱 진행되기 전에 조기 진단을 할 수 있다는 임상적 의의가 있다고 생각된다.

## 결론

본 연구의 결과에 따르면 상대적 교합강도와 이개시간 등의 교합 요소는 치아균열증후군의 발병과 연관이 있었다. Q-ray 검사를 통한 최대형광소실도( $\Delta F_{max}$ )와 최대적색형광도( $\Delta R_{max}$ )의 측정은 치아균열증후군의 진단에는 임상적으로 유용하게 사용될 수 있지만, 임상증상과 정량적인 관계를 입증하지는 못하였다.

## References

1. Cameron CE. Cracked-tooth syndrome. *J Am Dent Assoc* 1964;68:406-11.
2. Kahler W. The cracked tooth conundrum: terminology, classification, diagnosis, and management. *Am J Dent* 2008;21:275-82.
3. Roh BD, Lee YE. Analysis of 154 cases of teeth with cracks. *Dent Traumatol* 2006;22:118-23.
4. Ricucci D, Siqueira JF Jr, Loghin S, Berman LH. The cracked tooth: histopathologic and histobacteriologic aspects. *J Endod* 2015;41:343-52.
5. Ellis SG, Macfarlane TV, McCord JF. Influence of patient age on the nature of tooth fracture. *J Prosthet Dent* 1999;82:226-30.
6. Türp JC, Gobetti JP. The cracked tooth syndrome: an elusive diagnosis. *J Am Dent Assoc* 1996;127:1502-7.
7. Ehrmann EH, Tyas MJ. Cracked tooth syndrome: diagnosis, treatment and correlation between symptoms and post-extraction findings. *Aust Dent J* 1990;35:105-12.
8. Berman LH, Kuttler S. Fracture necrosis: diagnosis, prognosis assessment, and treatment recommendations. *J Endod* 2010;36:442-6.
9. Stookey GK. Quantitative light fluorescence: a technology for early monitoring of the caries process. *Dent Clin North Am* 2005;49:753-70.
10. Jun MK, Park SW, Lee ES, Kim BR, Kim BI. Diagnosis and management of cracked tooth by quantitative light-induced fluorescence technology. *Photodiagnosis Photodyn Ther* 2019;26:324-6.
11. Jun MK, Ku HM, Kim E, Kim HE, Kwon HK, Kim BI. Detection and analysis of enamel cracks by quantitative light-induced fluorescence technology. *J Endod* 2016;42:500-4.
12. Cohen-Lévy J, Cohen N. Computerized occlusal analysis in Dentofacial orthopedics: indications and clinical use the T-scan III system. *J Dentofacial Anom Orthod* 2012;15:203-27.
13. Mizui M, Nabeshima F, Tosa J, Tanaka M, Kawazoe T. Quantitative analysis of occlusal balance in intercuspal position using the T-scan system. *Int J Prosthodont* 1994;7:62-71.
14. Ayuso-Montero R, Mariano-Hernandez Y, Khoury-Ribas L, Rovira-Lastra B, Willaert E, Martinez-Gomis J. Reliability and validity of T-scan and 3D intraoral scanning for measuring the occlusal contact area. *J Prosthodont* 2020;29:19-25.
15. Bozhkova TP. The T-scan system in evaluating occlusal contacts. *Folia Med (Plovdiv)* 2016;58:122-30.
16. Mongini F, Tempia-Valenta G, Benvegna G. Computer-based assessment of habitual mastication. *J Prosthet Dent* 1986;55:638-49.
17. Swepston JH, Miller AW. The incompletely fractured tooth. *J Prosthet Dent* 1986;55:413-6.
18. Banerji S, Mehta SB, Millar BJ. Cracked tooth syndrome. Part 1: aetiology and diagnosis. *Br Dent J* 2010;208:459-63.
19. Attanasio R. Nocturnal bruxism and its clinical management. *Dent Clin North Am* 1991;35:245-52.
20. Schuyler CH. Factors of occlusion applicable to restorative dentistry. *J Prosthet Dent* 1953;3:772-82.
21. Thornton LJ. Anterior guidance: group function/canine guidance. A literature review. *J Prosthet Dent*

1990;64:479-82.

22. Yaffe A, Ehrlich J. The functional range of tooth contact in lateral gliding movements. J Prosthet Dent 1987;57:730-3.

23. Kim SK, Jung HI, Kim BI. Detection of dentin-exposed occlusal/incisal tooth wear using quantitative light-induced fluorescence technology. J Dent 2020;103:103505.

## 큐레이(Q-ray)와 티스캔(T-scan)을 사용한 치아균열증후군 (cracked tooth syndrome)과 교합 사이의 상관관계에 대한 분석

안도관·최진우·김유성·표세욱·김희경\*

아주대학교 의과대학 치과학교실 치과보철과

**목적:** 본 연구의 목적은 큐레이(Q-ray)와 티스캔(T-scan)을 사용하여 치아균열증후군 (cracked tooth syndrome)과 교합 사이의 상관관계를 평가하는 것이다. **대상 및 방법:** 2019년 3월 1일부터 2020년 12월 31일까지 아주대학교병원 치과진료센터 치과보철과에 내원한 환자 중 실험대상 포함기준을 만족하며 치아균열증후군으로 진단된 대구치(실험군)를 1개 이상 가지고 있으나 동일 악궁 반대측에는 정상 치아(대조군)를 가진 환자 51명을 대상으로 하였다. 실험군과 대조군 치아의 사진을 Q-ray pen을 이용해 촬영하여 최대형광소실도( $\Delta F_{max}$ )와 최대적색형광도( $\Delta R_{max}$ )를 측정하였고 T-scan 검사를 통해 실험군과 대조군 치아의 상대적 교합강도 및 편심위운동시 이개시간을 측정하였다. Mann-Whitney U test를 통해 실험군과 대조군 사이의 상대적 교합강도와 이개시간의 차이 및 균열치아의 냉검사와 온검사 결과에 따른 군들 간의 최대형광소실도( $\Delta F_{max}$ )와 최대적색형광도( $\Delta R_{max}$ )의 차이를 통계적으로 분석하였다 ( $\alpha = .05$ ). Spearman correlation analysis를 이용해 최대형광소실도( $\Delta F_{max}$ )와 최대적색형광도( $\Delta R_{max}$ )와 상대적 교합강도 및 이개시간 간의 상관관계를 분석하였다. **결과:** 균열치의 상대적 교합강도 및 이개시간은 정상치아에 비하여 통계적으로 유의하게 컸다 ( $P < .05$ ). 균열치 중 냉검사와 온검사 결과에 따른 각 군들 간의 최대형광소실도( $\Delta F_{max}$ )와 최대적색형광도( $\Delta R_{max}$ )는 통계적으로 유의미한 차이를 보이지 않았다 ( $P > .05$ ). Spearman correlation analysis 결과, 최대형광소실도( $\Delta F_{max}$ )와 최대적색형광도( $\Delta R_{max}$ )와 상대적 교합강도 및 이개시간 간에는 유의미한 상관관계가 없었다 ( $P > .05$ ). **결론:** 본 연구의 결과에 따르면 상대적 교합강도와 이개시간 등의 교합 요소는 치아균열증후군의 발병과 연관이 있었다. Q-ray 검사를 통한 최대형광소실도( $\Delta F_{max}$ )와 최대적색형광도( $\Delta R_{max}$ )의 측정은 치아균열증후군의 진단에는 임상적으로 유용하게 사용될 수 있지만, 임상증상과 정량적인 관계를 입증하지는 못하였다. (대한치과보철학회지 2021;59:271-80)

### 주요단어

교합력; 치아균열증후군; 교합; 자가형광

교신저자 김희경  
16499 경기도 수원시 영통구 월드컵로  
164 아주대학교 의과대학 치과학교실  
치과보철과  
031-219-5322  
denthk@ajou.ac.kr

원고접수일 2021년 2월 19일  
원고최종수정일 2021년 5월 24일  
원고채택일 2021년 6월 21일

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