

Retrospective study on pathological effects of single implant-supported fixed prosthesis on antagonistic and adjacent teeth

단일 임플란트 고정성 보철이 대합치 및 인접치에 미치는 병리적 영향에 대한 후향적 연구

Young-Jin Yook¹, Deuk-Sang Ma², Se-Hee Park¹, Kyung-Mo Cho¹, Jin-Woo Kim^{1*}

¹Department of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Gangneung-Wonju National University, Gangneung, Korea

²Department of Preventive Dentistry, College of Dentistry, Gangneung-Wonju National University, Gangneung, Korea

ABSTRACT

Purpose: This study evaluated the pathological effects of single posterior implant-supported fixed prostheses on adjacent and antagonistic teeth and investigated the influence of systemic diseases, occlusal conditions, implant site, and patient sex.

Materials and Methods: A retrospective observational study was conducted on 100 patients who had received a single posterior implant and were followed for at least one year at Gangneung-Wonju National University Dental Hospital. Clinical and radiographic assessments compared adjacent and antagonistic teeth at the implant site (experimental group) with the corresponding contralateral teeth (control group). Parameters included tooth cracks, cusp fractures, alveolar bone status, treatment history, and occlusal contact assessed using the Shimstock test. Associations with systemic diseases, occlusal contact, sex, and implant position were also analyzed. Statistical analysis was performed using the chi-square test with a significance level of 0.05.

Results: The distal adjacent tooth at the implant site showed significantly higher mobility than the control group ($p<0.05$). In patients without unilateral mastication, periapical lesions in antagonistic teeth ($p<0.05$) and cracks in adjacent teeth ($p<0.05$) were more frequent. Diabetic patients demonstrated a significantly higher prevalence of alveolar bone loss and treatment history in both adjacent and antagonistic teeth ($p<0.05$). When no occlusal contact was present on the implant-antagonistic tooth, less alveolar bone loss was observed ($p<0.05$), whereas cusp fractures in adjacent teeth were more common. Male patients showed a higher frequency of cusp fractures and cracks in adjacent teeth ($p<0.05$).

Conclusion: Single posterior implant-supported fixed prostheses can induce pathological changes in adjacent and antagonistic teeth. Implant treatment planning should consider systemic health, occlusal dynamics, sex-related differences, and long-term maintenance. (*J Korean Dent Assoc* 2025; 63(12): 381-390)

Key words : Alveolar Bone Loss; Dental Implants; Dental Occlusion; Periapical Diseases; Tooth Fracture

서론

선천적 결손, 외상, 치아 우식 또는 치주질환 등으로 인해 치

아가 상실된 경우, 임플란트 수복은 저작 기능을 회복하고 심미성을 복원하는 데 효과적인 치료 방법으로 널리 사용되고 있다. 임플란트는 인접 치아를 삭제하지 않고 단독으로 수복이 가능하다는 점에서 브릿지나 가철성 보철물보다 우수한 대안으로 평가받고 있다. 또한 충분한 골량이 확보된 경우 장기적인 성공률이 높으며, 환자의 삶의 질을 향상시킬 수 있는 치료로 자리 잡았다¹⁾.

하지만 임플란트는 생물학적으로 자연치와 완전히 동일하지는 않다. 자연치와 임플란트 간의 가장 큰 차이점은 치주인대

Received Jul 28, 2025; Revised Nov 28, 2025; Accepted Dec 5, 2025

This study was supported by the Collaborative Clinical Research Grant of Gangneung-Wonju National University Dental Hospital in 2022 (Grant No. CR2201).

*Corresponding author: Prof. Jin-Woo Kim

Department of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Gangneung-Wonju National University, 7 Jukheon-gil, Gangneung, Gangwon 25457, Korea
 Tel: +82-33-640-3189, E-mail: mendo7@naver.com

ISSN: 0376-4672
 eISSN: 2713-7961

Copyright© 2025 by Korean Dental Association

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY-NC-ND) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

의 유무이다²⁾. 자연치의 치근을 둘러싼 치주인대(periodontal ligament, PDL)는 응력 분산, 교합 외상에 대한 내구성, 고유감각을 통해 과도한 교합력을 조절하는 데 중요한 역할을 한다³⁾. 반면, 골유착된 임플란트에는 이러한 생리적 조절 기전이 결여되어 있어, 자연치 간 교합에서는 약 20 μ m의 접촉 간섭도 감지할 수 있는 반면, 자연치와 임플란트 간 교합에서는 약 48 μ m 이상의 간섭이 있어야 감지된다고 알려져 있다^{2,4,5)}. 임플란트 고정성 보철은 전통적인 교합 원리에 따라 설계되기 때문에 이러한 한계를 보완하기 위하여 교합 과부하를 줄이기 위한 다양한 접근이 제안되고 있다⁶⁾. 임플란트의 교합 과부하를 줄이기 위한 교합으로 상부 보철물을 제작하면, 자연 치아에 전달되는 힘의 분포에 영향을 줄 수 있으며 임플란트 설계와 인접 치아 간의 복잡한 상호작용이 나타날 수 있다^{3,7)}.

임플란트 보철 치료 후 대합치와 인접치의 예후에 대한 다양한 연구가 보고되었으나, 주변 자연치에 미치는 영향은 아직 명확히 규명되지 않았다⁷⁻⁹⁾. Rosen 등⁷⁾ 임플란트의 대합치나 인접치에서 균열이나 치근 수직 파절의 위험이 높다고 하였고, Urdaneta 등¹⁰⁾ 자연치에서의 치조골 상실이 대합치가 자연치인 경우보다 임플란트인 경우가 더 크다고 하였으며, Yoshino 등¹¹⁾ 임플란트 주위 치아의 상실률이 높다고 하였다. 반면 Duqum 등¹²⁾ 임플란트 인접 치아가 자연 치아보다 더 높은 수복 빈도를 보였으나, 생존율이나 근관 치료율에서는 유의미한 차이가 없다 하였고, Misch 등¹³⁾의 연구에서는 단일 임플란트 주위의 인접치를 10년 동안 경과 관찰한 결과, 상실된 치아는 없었으며 근관 치료가 시행된 경우는 0.4%로 인접치에 미치는 영향은 거의 없다고 보고하였다.

이처럼 다양한 보고에도 불구하고, 대합치와 인접치에서 관찰되는 균열, 파절, 수직 파절 등의 물리적 손상과 그에 따른 구체적인 병리적 양상, 그리고 원인 인자에 대한 체계적인 분석은 아직 부족한 실정이다. 특히, 대부분의 이전 연구는 의무기록 및 방사선 자료에 의존한 연구로, 교합 등의 실제 구강 내 상황을 반영한 생체 내 연구는 거의 이루어지지 않았다.

한편, 다수 임플란트가 식립된 경우에는 개별 임플란트 간의 교합 간섭이나 생역학적 영향이 중첩되어, 주변 구조물에 미치는 병리적 변화를 일관되게 분석하기 어렵고, 결과 해석에 제한이 있을 수 있다^{7,14)}. 이에 비해, 단일 임플란트 식립 환자의 경우, 반대측 대합치 및 인접치와의 비교가 용이하고, 병리적 양상을 일정한 기준으로 평가할 수 있어 연구 설계의 일관성과 타당성을 확보할 수 있다. 이러한 이유로 본 연구에서는 구치

부 단일 임플란트 식립 환자를 연구 대상으로 설정하였다. 따라서 본 연구는 환자의 전신질환, 교합 관계, 임플란트 식립 위치, 성별 등 다양한 요인을 고려하여, 구치부 단일 임플란트 고정성 보철이 대합치 및 인접치에 미치는 영향을 평가하고 분석하고자 한다.

재료 및 방법

본 연구는 강릉원주대학교 치과병원 연구윤리위원회의 승인을 받아 시행되었다(승인 번호: GWNUDH-IRB2022-A011). 연구 대상자는 2022년 9월부터 2024년 2월까지 강릉원주대학교 치과병원에 내원한 환자 중 선정 기준을 만족한 100명을 대상으로 하였다. 만 19세 이상의 성인 남녀로서, 임플란트 치관의 종류와 관계없이 편측으로 소구치 또는 대구치 부위에 단일 임플란트 1개가 식립되고, 그 대합치가 자연치이며, 임플란트 치관이 대합치와 정상적인 교합 관계를 이루고 있고, 임플란트 식립 후 최소 1년 이상이 경과한 경우를 연구 대상에 포함하였다. 반면, 소구치 또는 대구치 부위에 브릿지 형태의 임플란트를 가진 경우, 의치를 보유한 경우, 임플란트 대합치에 치아 균열이나 파절 이외의 원인으로 금관 수복을 시행한 경우, 임플란트가 편측에 국한되지 않고 좌우 양측에 모두 존재하는 경우, 방사선학적으로 치근 길이의 1/2 이상 치조골 소실이 관찰되고 임상적으로 5mm 이상의 부착 소실과 6mm 이상의 치주낭 깊이가 동반된 치주질환이 있는 경우는 제외하였다¹⁵⁾.

연구 대상자에 대해 진료기록부를 통해 성별, 연령, 임플란트 식립 위치(상악 또는 하악, 소구치 또는 대구치), 임플란트 식립 연도, 편측 저작 여부와 저작 부위, 고혈압 및 당뇨 여부, 골다공증 여부, 정기적 잇몸 관리(supportive periodontal therapy, SPT) 시행 여부를 조사하였다. 임상 검사는 단일 임플란트 식립 환자를 대상으로 해당 임플란트의 인접치 및 대합치뿐만 아니라 동일 악궁 반대측 구치부에 위치한 치아의 인접치 및 대합치에서도 동일한 항목에 대해 시행하였다. 임플란트 식립치의 인접치 및 대합치에서 발치 여부와 치과 치료 여부를 조사하였으며, 조명 검사를 통한 치아 균열, 교두 파절, 치아 파절, 굴곡 파절 등의 물리적 손상 여부를 평가하였다. 치주 상태는 치주낭 깊이 4mm 초과 여부, 탐침 시 출혈(bleeding on probing), 치아 동요도를 기준으로 평가하였고, 타진 검사도 함께 시행하였다. 교합 요인은 shimstock test를 이용하여 평가하였으며,

임플란트 식립 부위의 교합 접촉을 평가하기 위해 두께 $8\mu\text{m}$ 의 HANEL shimstock foil(Coltene, Altstätten, Switzerland)을 사용하였다. 대상자는 최대교두감합위(maximum intercuspation position, MIP)에서 중심위를 유지하도록 유도한 후, foil을 대합치 사이에 위치시키고 수평 방향으로 조심스럽게 당겨 저항감을 기준으로 교합 접촉 상태를 평가하였다(tensile testing 방식). Shimstock의 탈락 여부에 따라 foil이 쉽게 빠지는 경우를 접촉 없음(-), 손으로 당겨도 빠지지 않는 경우를 강한 접촉(+)으로 분류하였으며, 동일 관찰자가 동일한 조건에서 반복 측정하였고 임플란트 식립 부위에 해당하는 치아의 대합치에 대해 평가하였다.

방사선학적 검사는 파노라마방사선사진을 이용하여 임플란트 식립치의 인접치 및 대합치와 임플란트 식립 부위와 동일한 악궁에 위치한 반대측 구치부의 인접치 및 대합치를 대상으로 근관치료 여부, 치조골 흡수 여부, 치근단 병소의 존재 여부를 평가하였다. 다근치는 치근 이개부까지 골 소실이 진행된 경우를 치조골 흡수로 판단하였으며, 단근치는 치근의 1/3 이상 골 소실이 관찰된 경우를 치조골 흡수로 간주하였다.

본 연구에서는 단일 임플란트 식립이 대합치 및 인접치에 미치는 영향을 다양한 요인과 연계하여 분석하였다. 임플란트 식립 부위의 대합치 및 인접치(실험군)와 동일 악궁 반대측 구치부의 대합치 및 인접치(대조군)를 비교하여 동요도, 균열, 파절 등의 병리적 양상의 유의성을 평가하였으며, 편측 저작 여부에 따른 하위 집단 분석도 함께 시행하였다. 또한 당뇨, 고혈압, 골다공증, SPT 여부와 같은 전신질환 변수 및 shimstock test를 통해 평가한 교합 접촉 유무에 따라 임플란트의 대합치 및 인접치에서 관찰된 병리적 상태를 분석하였다. 임플란트 식립 위치에 따른 대합치 및 인접치의 치료 경험, 치주 상태 및 병리적 양상의 차이도 비교하였으며, 성별에 따른 실험군과 대조군 간 병리적 양상의 차이도 분석하였다.

각 환자의 특성과 임플란트 식립치의 인접치 및 대합치의 관계를 분석하기 위해 카이제곱 검정을 시행하였으며, 유의수준은 0.05로 설정하였다. 모든 통계 분석은 SPSS 버전 23.0(IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 이용하여 수행하였다.

결과

연구 대상자 100명 중 남성은 52명(52.0%), 여성은 48명

(48.0%)이었으며, 평균 연령은 55.2 ± 13.0 세였다. 임플란트 식립 위치는 하악 대구치가 38명(38.0%)으로 가장 많았고, 상악 대구치 34명(34.0%), 상악 소구치 18명(18.0%), 하악 소구치 10명(10.0%)의 순으로 나타났다(Table 1).

임플란트 식립 부위의 대합치 및 인접치에서 관찰된 병리적 양상은 Table 2에 제시하였다. 임플란트 식립치 원심 인접치의 동요도는 대조군에 비해 통계적으로 유의하게 높게 나타났다($p < 0.05$).

편측 저작의 영향을 분석하기 위해 편측 저작을 시행하는 대상자를 제외한 95명을 대상으로 추가 분석한 결과, 실험군은 대조군에 비해 대합치의 치근단 병소 발생 빈도가 유의하게 높았으며($p < 0.05$), 인접치의 치아 균열 발생 빈도 역시 유의하게 높게 나타났다($p < 0.05$).

전신질환 및 shimstock test 결과에 따른 병리적 상태는 Tables 3-5에 제시하였다. 당뇨 환자의 경우, 대합치의 치조골 흡수(Table 5)와 치료 경험(Table 3), 인접치의 치료 경험(Table 3)에서 유의하게 높은 빈도를 보였다. 성별에 따른 세부 항목 분석에서는 남성에서 대합치의 교두 파절과 인접치의 교두 파절 발생 빈도가 유의하게 높게 나타났다(Table 4). 정기적인 잇몸 관리(SPT)를 시행하지 않은 환자군에서는 대합치 및 인접치의 발치, 치조골 흡수, 치료 경험 등의 발생 빈도가 상대적으로 높았으나, 통계적으로 유의한 차이는 확인되지 않았다. 임플란트 대합치에서 shimstock test 결과 접촉이 없는 경우, 치조골 흡수는 유의하게 낮게 나타났으며(Table 5), 대합치의 교두 파절과 동요도의 빈도 또한 낮은 양상을 보였다(Tables 4 and 5). 반면, 접촉이 없는 경우 인접치의 교두 파절 발생률은 유의하게 높았다(Table 4).

Table 1. Demographic characteristic of subjects (N=100)

Variables	Value
Sex	
Male	52 (52.0)
Female	48 (48.0)
Age (y)	55.2 ± 13.0
Implant site	Maxillary premolar
	18 (18.0)
	Maxillary molar
	34 (34.0)
	Mandibular premolar
	10 (10.0)
	Mandibular molar
	38 (38.0)

Values present the number (%) or mean $\pm$ standard deviation

Table 2. Comparison of pathological changes between the experimental and control groups (N=100)

	Antagonistic teeth			Adjacent teeth		
	Experimental	Control	p-value	Experimental	Control	p-value
Ext.	11 (10.9)	8 (7.9)	0.47	5 (5.0)	8 (7.9)	0.39
Tx.	66 (66.0)	68 (68.0)	0.764	66 (66.0)	68 (67.3)	0.842
Crack	22 (22.0)	17 (17.0)	0.372	20 (20.0)	16 (15.8)	0.442
Cusp fx.	20 (20.0)	16 (16.0)	0.462	17 (17.0)	10 (9.9)	0.14
Abfraction	26 (26.0)	18 (18.0)	0.172	38 (38.0)	30 (29.7)	0.214
PPD	35 (35.0)	36 (36.0)	0.883	29 (29.0)	39 (38.6)	0.15
BOP	40 (40.0)	40 (40.0)	1	36 (36.0)	42 (41.6)	0.417
Bone	13 (13.0)	15 (15.0)	0.684	11 (11.0)	14 (13.9)	0.539
Per	10 (10.0)	4 (4.0)	0.096	7 (7.0)	9 (8.9)	0.617
Mobility	10 (10.0)	14 (14.0)	0.384	14 (14.0)	9 (8.9)	0.257
└mesial				7 (7.0)	7 (7.0)	1
└distal				11 (15.7)	3 (4.3)	<0.05
Lesion	9 (9.0)	6 (6.0)	0.421	9 (9.0)	5 (5.0)	0.259

Values present the number (%). Ext: extracted tooth, Tx: restoratively treated tooth, fx: fracture, PPD: periodontal probing depth, BOP: bleeding on probing, Bone: alveolar bone loss, Per: pain in percussion

Table 3. Restorative and extraction history of adjacent and antagonistic teeth according to implant- and patient-related factors (N=100)

		Antagonistic teeth				Adjacent teeth			
		Ext.	p-value	Tx.	p-value	Ext.	p-value	Tx.	p-value
Gender	M	5 (9.6)	0.672	32 (62.7)	0.483	(3.8)	0.598	25(48.1)	0
	F	6 (12.2)		34 (69.4)		3(6.1)		41(85.4)	
Diabetes mellitus	N	10 (11.9)	0.467	59 (71.1)	<0.05	4(4.8)	0.846	59(71.1)	<0.05
	Y	1 (5.8)		7 (41.2)		1(5.9)		7(41.2)	
Hypertension	N	6 (8.5)	0.261	47 (68.1)	0.505	4(5.7)	0.595	48(69.6)	0.262
	Y	5 (16.1)		19 (61.3)		1(3.2)		18(58.1)	
Osteoporosis	N	8 (8.5)	0.005	60 (64.5)	0.254	4(4.3)	0.238	61(64.9)	0.355
	Y	3 (42.9)		6 (85.7)		1(14.3)		5(83.3)	
Unilateral mastication	N	6 (12.5)	0.621	34 (72.3)	0.208	2(4.2)	0.73	33(68.8)	0.577
	Y	5 (9.4)		32 (60.4)		3(5.7)		33(63.5)	
Shimstock test	(-)	9 (13.8)	0.2	49 (76.6)	0.067	5(7.7)	0.088	43(67.2)	0.738
	(+)	2 (5.6)		17 (47.2)		0(0.0)		23(63.9)	
Implant site	Premolar	1 (3.4)	0.128	12 (41.4)	<0.05	2(6.9)	0.567	20(69.0)	0.689
	Molar	10 (13.9)		54 (76.1)		3(4.2)		46(64.8)	
Unilateral mastication/implant side match	N	3 (11.1)	0.67	19 (70.4)	0.13	2(7.4)	0.575	17(65.4)	0.773
	Y	2 (7.7)		13 (50.0)		1(3.8)		16(61.5)	

Values are presented as number (%). Ext: extracted tooth, Tx: restoratively treated tooth

Table 4. Mechanical complications of adjacent and antagonistic teeth according to implant- and patient-related factors (N=100)

		Antagonistic teeth						Adjacent teeth					
		Crack	p-value	Cuspal fx.	p-value	Abfraction	p-value	Crack	p-value	Cuspal fx.	p-value	Abfraction	p-value
Gender	M	10 (19.6)	0.556	15 (29.4)	<0.05	13 (25.5)	0.906	13 (25.0)	0.193	13 (25.0)	<0.05	18 (34.6)	0.468
	F	12 (24.5)		5 (10.2)		13 (26.5)		7 (14.6)		4 (8.3)		20 (41.7)	
Diabetes Mellitus	N	20 (24.1)	0.263	17 (20.5)	0.79	22 (26.5)	0.799	17 (20.5)	0.79	12 (14.5)	0.135	30 (36.1)	0.398
	Y	2 (11.8)		3 (17.6)		4 (23.5)		3 (17.6)		5 (29.4)		8 (47.1)	
Hypertension	N	16 (23.2)	0.669	13 (18.8)	0.665	16 (23.2)	0.339	14 (20.3)	0.914	12 (17.4)	0.876	24 (34.8)	0.323
	Y	6 (19.4)		7 (22.6)		10 (32.3)		6 (19.4)		5 (16.1)		14 (45.2)	
Osteoporosis	N	20 (21.5)	0.663	20 (21.5)	0.17	23 (24.7)	0.292	20 (21.3)	0.207	15 (16.0)	0.272	35 (37.2)	0.532
	Y	2 (28.6)		0 (0.0)		3 (42.9)		0 (0.0)		2 (33.3)		3 (50.0)	
Unilateral mastication	N	6 (12.8)	0.036	11 (23.4)	0.423	9 (19.1)	0.141	11 (22.9)	0.484	7 (14.6)	0.536	18 (37.5)	0.921
	Y	16 (30.2)		9 (17.0)		17 (32.1)		9 (17.3)		10 (19.2)		20 (38.5)	
Shimstock test	(-)	14 (21.9)	0.968	9 (14.1)	0.048	16 (25.0)	0.761	14 (21.9)	0.532	17 (26.5)	0.031	22 (34.4)	0.319
	(+)	8 (22.2)		11 (30.6)		10 (27.8)		6 (16.7)		4 (11.1)		16 (44.4)	
Implant site	PM	5 (17.2)	0.463	4 (13.8)	0.321	11 (37.9)	0.082	4 (13.8)	0.321	6 (20.7)	0.53	11 (37.9)	0.993
	M	17 (23.9)		16 (22.5)		15 (21.1)		16 (22.5)		11 (15.5)		27 (38.0)	
Unilateral mastication/ implant side match	N	9 (33.3)	0.611	6 (22.2)	0.3	8 (29.6)	0.697	5 (19.2)	0.714	7 (26.9)	0.159	12 (46.2)	0.254
	Y	7 (26.9)		3 (11.5)		9 (34.6)		4 (15.4)		3 (11.5)		8 (30.8)	

Values are presented as number (%). Fx: fracture

Table 5. Periodontal conditions of adjacent and antagonistic teeth according to implant- and patient-related factors (N=100)

		Antagonistic teeth						Adjacent teeth					
		PPD	p-value	Bone	p-value	Mob	p-value	PPD	p-value	Bone	p-value	Mob	p-value
Gender	M	16 (31.4)	0.438	8 (15.7)	0.415	15 (14.7)	0.23	13 (25.0)	0.359	5 (9.6)	0.645	6 (11.5)	0.46
	F	19 (38.8)		5 (10.2)		9 (9.2)		16 (33.3)		6 (12.5)		8 (16.7)	
Diabetes mellitus	N	27 (32.5)	0.253	8 (9.6)	<0.05	18 (10.8)	0.266	25 (30.1)	0.585	11 (13.3)	0.112	12 (14.5)	0.771
	Y	8 (47.1)		5 (29.4)		6 (17.6)		4 (23.5)		0 (0.0)		2 (11.8)	
Hypertension	N	24 (34.8)	0.946	6 (8.7)	0.056	15 (10.8)	0.427	19 (27.5)	0.63	6 (8.7)	0.272	10 (14.5)	0.832
	Y	11 (35.5)		7 (22.6)		9 (14.8)		10 (32.3)		5 (16.1)		4 (12.9)	
Osteoporosis	N	33 (35.5)	0.712	13 (14.0)	0.289	23 (12.4)	0.562	27 (28.7)	0.809	9 (9.6)	0.071	12 (12.8)	0.159
	Y	2 (28.6)		0 (0.0)		1 (7.1)		2 (33.3)		2 (33.3)		2 (33.3)	
Unilateral mastication	N	13 (27.7)	0.147	5 (10.6)	0.508	9 (9.5)	0.296	11 (22.9)	0.198	5 (10.4)	0.858	6 (12.5)	0.678
	Y	22 (41.5)		8 (15.1)		15 (14.3)		18 (34.6)		6 (11.5)		8 (15.4)	
Shimstock test	(-)	20 (31.3)	0.295	5 (7.8)	<0.05	11 (8.6)	0.048	20 (31.3)	0.509	6 (9.4)	0.489	6 (9.4)	0.076
	(+)	15 (41.7)		8 (22.2)		13 (18.1)		9 (25.0)		5 (13.9)		8 (22.2)	
Implant site	PM	4 (13.8)	0.004	2 (6.9)	0.246	1 (3.4)	0.163	8 (27.6)	0.842	2 (6.9)	0.402	7 (24.1)	0.062
	M	31 (43.7)		11 (15.5)		9 (12.7)		21 (29.6)		9 (12.7)		7 (9.9)	
Unilateral mastication/ implant side match	N	11 (40.7)	0.908	6 (22.2)	0.14	5 (18.5)	0.245	9 (34.6)	1	2 (7.7)	0.385	6 (23.1)	0.124
	Y	11 (42.3)		2 (7.7)		2 (7.7)		9 (34.6)		4 (15.4)		2 (7.7)	

Values are presented as number (%). PPD: periodontal probing depth, Bone: alveolar bone loss, Mob: mobility

임플란트 식립 위치에 따른 분석에서는 대구치 부위에 식립된 경우가 소구치 부위에 식립된 경우보다 대합치의 치료 경험 빈도가 유의하게 높았고($p<0.05$), 대합치의 치주낭 깊이 또한 유의하게 더 깊게 나타났다($p<0.05$, Tables 3 and 5).

성별에 따른 실험군과 대조군의 병리적 양상 비교 결과는 Tables 6과 7 및 Figure 1에 제시하였다. 대합치에서는 남성과 여성 모두 실험군과 대조군 간에 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다. 반면, 남성의 임플란트 인접치에서는 치아 균열과 교두 파절 발생 비율이 유의하게 더 높게 나타났다

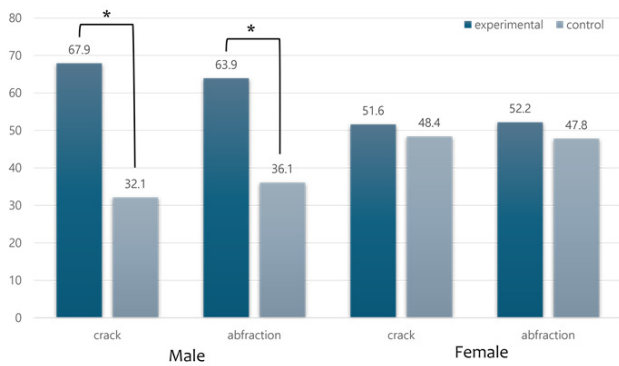


Fig. 1. Comparison of pathological conditions in antagonistic and adjacent teeth between the experimental and control groups by sex (N = 100; male = 52, female = 48). Bars represent the percentage of affected teeth within each sex group. *: $p<0.05$.

Table 6. Sex-based comparison of pathological changes in antagonistic teeth

		Antagonistic teeth					
		Male (N = 52)			Female (N = 48)		
		Experimental group	Control group	p-value	Experimental group	Control group	p-value
Crack	N	41 (48.2)	44 (51.8)	0.425	36 (48.6)	38 (51.4)	0.628
	Y	10 (58.8)	7 (41.2)		12 (54.5)	10 (45.5)	
Cuspal fracture	N	36 (46.8)	41 (53.2)	0.25	43 (50.5)	42 (49.5)	0.749
	Y	15 (60.0)	10 (40.0)		5 (45.5)	6 (54.5)	

Table 7. Sex-based comparison of pathological changes in adjacent teeth.865605

		Adjacent teeth					
		Male (N = 52)			Female (N = 48)		
		Experimental group	Control group	p-value	Experimental group	Control group	p-value
Crack	N	39 (45.3)	47(54.7)	0.038	41(52.5)	37(47.5)	0.319
	Y	13 (72.2)	5(27.8)		7(38.9)	11(61.1)	
Cuspal fracture	N	39 (45.3)	47(54.7)	0.038	44(50.5)	43(49.5)	0.751
	Y	13 (72.2)	5(27.8)		4(44.4)	5(55.6)	

($p<0.05$). 대합치와 인접치를 모두 포함한 전체 분석에서도 남성의 임플란트 주변 치아에서 치아 균열($p<0.05$)과 굴곡 파절($p<0.05$)이 더 많이 발생하였으며, 이는 통계적으로 유의한 차이를 보였다(Fig. 1).

고찰

본 연구는 구치부 단일 임플란트 고정성 보철이 인접치 및 대합치에 미치는 영향을 임상적, 방사선학적, 기능적 요소들과 연계하여 분석한 후향적 관찰 연구이다. 기존의 Misch 등¹³⁾은 10년간 단일 후방 임플란트와 인접 자연치의 상태를 평가한 연구를 통해 의미 있는 결과를 제시하였으나, 고혈압 및 당뇨병 환자를 제외하고 분석이 이루어졌으며, Park 등¹⁷⁾의 연구에서는 SPT를 받은 환자들을 대상으로 대합치 및 인접치에 미치는 영향을 평가하였으나 편측 저작과 같은 교합 양상은 고려되지 않았다. 이처럼 선행 연구들은 대부분 제한된 인자 또는 단편적인 병리적 상태에 초점을 맞춘 반면, 본 연구는 임플란트 고정성 보철의 교합 상태, 환자의 전신질환 등 다양한 변수를 포괄적으로 고려하여 대합치 및 인접치에 미치는 영향을 종합적으

로 분석하였다는 점에서 의의가 있다.

실험군과 대조군의 병리적 양상을 비교한 결과, 임플란트 원심 인접치의 동요도가 대조군에 비해 유의하게 높게 나타났으며($p<0.05$), 이는 임플란트 고정성 보철의 교합력 전달 방식이 인접한 자연치에 부정적인 영향을 줄 수 있음을 시사한다. 그러나 실험군에서 인접치 및 대합치의 교두 파절과 치아 균열 발생 빈도는 더 높게 관찰되었지만, 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 또한, 인접치 및 대합치의 치료 경험이나 치조골 흡수 여부에 있어서도 두 군 간의 유의한 차이는 확인되지 않았다.

한편, 본 연구에서 편측저작이 없는 하위 그룹을 별도로 분석한 결과, 임플란트 대합치의 치근단 병소 발생률($p<0.05$)과 인접치의 치아 균열 발생률($p<0.05$)이 유의하게 높게 나타났다. 이는 교합 양상을 고려할 경우, 임플란트 주변 자연치에 미치는 영향을 보다 정밀하게 평가할 수 있음을 시사한다.

자연치와 임플란트는 그 생물학적 구조에서 본질적인 차이를 가진다. 특히 자연치는 치주인대(periodontal ligament, PDL)를 통해 교합력에 대한 완충 작용과 감각 피드백을 제공하며, 고유 감각수용기(proprioceptor)가 존재하여 교합 접촉에 대한 감지 및 조절 기능을 수행한다³⁾. 반면, 임플란트는 이러한 기능이 결여되어 감각 조절 능력이 떨어지고, 교합력 전달 시 직접적인 하중 전달이 발생한다²⁾. 이러한 구조적 차이는 주변 치아, 특히 인접치 및 대합치에 가해지는 기계적 스트레스의 양상에 영향을 줄 수 있으며, 본 연구에서 관찰된 인접치 동요도의 증가, 균열 및 파절의 양상도 이러한 생역학적 특성과 무관하지 않을 것으로 판단된다. 따라서 향후 연구에서는 교합력 전달의 차이를 정량적으로 평가하고, PDL의 존재 유무가 임플란트 보철 주위 자연치에 미치는 영향을 보다 정밀하게 분석할 필요가 있다.

이러한 구조적 차이에 따른 임상적 결과는 본 연구에서도 확인되었다. 특히 임플란트 고정성 보철 후 1년 이상 경과한 시점에서 균열 치아가 진단된 비율이 70%에 달하고, 임플란트 식립이 다수의 균열 발생과 유의한 관련성을 보인다고 보고한 Rosen 등⁷⁾의 연구 결과와 유사한 경향을 보인다. 또한 환자의 성별도 병리적 영향의 중요한 변수 중 하나로 관찰되었다. 본 연구에서는 남성에서 대합치의 교두 파절($p<0.05$) 및 인접치의 교두 파절($p<0.05$)이 여성보다 더 빈번하게 나타났다. 그러나 환자의 성별이 치아균열의 발생 위험에 미치는 영향에 대해서는 여전히 논란이 있다. Rosen 등¹⁴⁾의 연구에서는 임플란트 인접치의 치아 균열이 남성보다 여성에서 더 많이 나타났으

며, Cameron¹⁸⁾의 연구에서도 유사한 경향이 보고되었다. 반면, 균열 치아의 분포와 특성을 분석한 Kang 등¹⁹⁾의 연구에서는 남성에서 더 높은 유병률을 보여 본 연구와 유사한 결과를 나타냈다. 이러한 성별에 따른 임플란트 주변 치아의 치아 균열 발생 위험에 대해서는 추가적인 연구가 필요하다.

당뇨병과 치주 질환은 상호작용하는 질환으로, 다수의 연구에서 당뇨병이 치주질환의 발생과 진행에 영향을 미치는 위험 인자로 보고되고 있다²⁰⁻²²⁾. 흡연 여부, 당뇨병, 고혈압, 골다공증 병력 및 SPT 여부 등 환자의 전신질환 및 치주 관리 상태와 임플란트 주변 자연치의 상태를 분석한 Park 등의 연구에서는, 당뇨병과 다른 독립 변수들 간에 유의한 상관관계는 관찰되지 않았다고 보고하였다¹⁷⁾.

반면, 본 연구에서는 당뇨 환자에서 임플란트 대합치의 치조골 흡수($p<0.05$), 대합치의 치료 경험($p<0.05$), 인접치의 치료 경험($p<0.05$) 등이 유의하게 높게 나타났다. 이 중 대합치의 치조골 흡수는 당뇨병이 치주 질환의 병태생리에 영향을 미친다는 기존 연구들과 일치하며²⁰⁻²²⁾, 당뇨병과 치주 질환 간의 입증된 상호 관계를 재확인하는 결과로 볼 수 있다.

한편, 당뇨 환자에서 인접치 및 대합치의 치료 경험이 높게 나타난 결과는, 당뇨병이 치아우식증 및 병적 변화의 발생 위험을 높이는 전신적 요인과 임플란트 보철 주변 환경의 구조적 요인이 복합적으로 작용한 결과로 해석된다. Fridenberg 등²³⁾의 연구에서는 임플란트 인접 치아에서 초기 우식 및 이차 우식이 빈번히 관찰되었으며, 이러한 합병증은 식편물 압입, 접촉 상실, 인접면 관리의 어려움과 밀접하게 연관된 것으로 나타났다. 특히, 치아와 임플란트 사이의 거리, 보철물 디자인, 접촉점 형성의 적절성 등이 우식 발생에 영향을 미치는 주요 요인으로 지목되었다. Coelho 등²⁴⁾의 메타분석 연구 또한 당뇨병 환자에서 치아우식증의 발생 위험이 유의하게 높다는 점을 보고하였으며, 고혈당 상태에서의 타액 분비 저하, 면역 기능 저하, 병원성 세균 증식, 구강 위생 상태 악화 등이 그 원인으로 제시되었다. 따라서 본 연구에서 확인된 치료 경험 증가 소견은, 당뇨병으로 인한 전신적 감수성 증가와 임플란트 보철 주위 구조적 요인이 함께 작용한 결과로 이해될 수 있다.

한편, Park 등¹⁷⁾의 연구에서는 SPT 미이행환자군이 이행환자군에 비해 대합치의 보철치료율이 유의하게 높았다고 보고한 바 있으나, 이번 연구에서는 SPT 미이행환자군에서 대합치 및 인접치의 발치, 치조골 흡수, 우식 치료 등의 비율이 더 높게 나타났음에도 불구하고, 통계적으로 유의하지 않았다.

여러 연구에서 치아 균열은 대구치에서 가장 흔하게 발생한다고 보고된 바 있다^{18,25,26)}. 대구치, 소구치, 전치의 교합력의 크기는 비율로 각각 4:2:1로 알려져 있으며, 이러한 교합력 분포에 따라 측두하악관절에 가까운 대구치에서 치아 균열이 더 자주 발생하는 것으로 해석된다²⁷⁾. 이번 연구에서 임플란트 식립 위치가 대구치 부위인 경우, 소구치 부위에 식립된 경우보다 대합치의 치료 경험 빈도($p<0.05$)와 치주낭 깊이($p<0.05$)가 유의하게 높게 나타났다. 또한 소구치 임플란트에 비해 대구치 임플란트의 대합치에서 치아균열 또는 교두 파절 경험이 더 자주 보고되었지만, 통계적으로 유의하지는 않았다. 이러한 결과는 대구치가 교합력이 집중되는 구조적 특성상, 임플란트의 유무와 관계없이 소구치에 비해 더 많은 기능적 부하와 치주적 변화에 노출될 수 있음을 시사하며, 이에 따라 본 연구에서 관찰된 병리적 양상 역시 이러한 일반적인 해부학적·생역학적 특성을 완전히 배제할 수는 없다. 종합해보면 임플란트가 식립된 부위가 교합력이 강한 대구치인 경우, 대합치가 더 큰 기능적 스트레스를 받아 치료가 요구되거나 치주 상태에 영향을 미칠 가능성을 고려해볼 수 있다. 이러한 해석은 실험군과 대조군의 비교에서 임플란트의 원심 인접치의 동요도가 대조군보다 유의하게 높았던 결과($p<0.05$)와도 같은 맥락에서 해석될 수 있다. 따라서 대구치 부위에 임플란트를 식립하는 경우, 식립 이후 대합치 및 임플란트 인접 후방치에 대한 정기적인 임상검사와 관리가 더욱 중요하며, 기능적 부하 및 치주적 변화에 대한 면밀한 모니터링이 필요하다.

이러한 기능적 부하에 영향을 미치는 또 다른 요소로는 교합 접촉의 유무가 있으며, 이에 따른 병리적 양상도 함께 확인되었다. Shimstock test에서 접촉이 없는 경우(-), 임플란트 대합치에서의 치료 경험 빈도가 유의하게 높게 나타났지만($p<0.05$), 반면 치조골 흡수는 유의하게 낮게 관찰되었다($p<0.05$). 이는 교합 접촉이 없는 경우 보철물의 하중 전달이 제한되어 대합치의 치주적 스트레스가 줄어들 수 있음을 시사한다. 한편, 교합 접촉이 없는 군에서는 대합치의 교두 파절과 동요도가 더 낮은 경향을 보였고($p<0.05$), 반대로 인접치에서는 교두 파절 발생률이 유의하게 높게 나타났다($p<0.05$). 이러한 결과는 교합력이 대합치보다는 기능적 스트레스가 인접치에 집중될 수 있음을 시사하며, 교합 조정 시 인접 구조물에 가해지는 부하 분산을 고려해야 함을 시사한다. 이러한 결과는 Purintarapiban 등²⁸⁾의 연구에서도 확인되었으며, shimstock test에서 접촉이 없는 임플란트 보철은 인접 자연치에 상대적으로 더 많은 교

합력을 전달함으로써, 인접치에 병리적 변화가 생길 수 있음을 시사한다. Stilwell²⁹⁾ 또한 임플란트의 낮은 감지 민감도를 고려할 때 주변 치아에 과부하가 전달될 수 있는 위험성을 지적한 바 있다. 향후 연구에서는 T-scan, Occlusense와 같은 디지털 교합 분석기를 활용한 정량적 교합력 평가를 통해, 대합치 및 인접치에 전달되는 실제 하중의 정량적 비교 분석이 필요하다.

임플란트 식립측에서 병리적 양상을 분석한 결과, 남성에서 대합치 및 인접치의 교두 파절이 여성보다 유의하게 더 많이 관찰되었다. 이에 따라 성별에 따른 영향을 보다 정밀하게 분석하고자, 환자를 남성과 여성으로 구분한 후, 각 성별 내에서 실험군과 대조군 간의 병리적 양상을 비교·분석하였다. 그 결과, 대합치에서는 남성과 여성 모두 실험군과 대조군 간에 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다. 반면, 남성의 임플란트 인접치에서는 치아 균열 및 교두 파절의 발생률이 유의하게 높았다($p<0.05$). 대합치와 인접치를 함께 고려한 전체 분석에서는, 남성의 임플란트 주변 치아에서 치아 균열($p<0.05$) 및 교두 파절($p<0.05$)이 더 많이 발생하였고, 이는 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 여성의 경우 임플란트 주변 치아에서 유의한 병리적 양상은 관찰되지 않았던 반면, 남성은 실험군과 대조군 간의 차이가 뚜렷하게 나타나, 임플란트 식립 시 남성 환자에게 더 주의를 기울일 필요가 있음을 시사한다.

이러한 결과는 남성에서만 임플란트 인접치의 균열과 교두 파절이 유의하게 높게 관찰된 원인이 교합적·보철적 하중 분담의 차이에 기인했을 가능성을 시사한다. 자연 치열이 마모와 재조직을 통해 군기능 교합을 형성해 가는 동안, 임플란트 보철물은 이러한 측방 유도에 적극적으로 참여하지 않도록 설계되는 경우가 많다. 따라서 실제 기능 시에는 임플란트 수복치가 하중에서 제외되고, 그 인접 자연치가 반복적인 유도 하중을 받게 된다. 이러한 교합·보철적 상황에 남성의 상대적으로 높은 저작력이 더해지면서, 대합치에서는 성별 차이가 통계적으로 드러나지 않은 반면 인접치에서는 병리적 변화가 먼저 관찰된 것으로 보인다.

본 연구 결과는 임플란트 고정성 보철이 주변 자연치의 구조적 안정성과 기능에 영향을 미칠 수 있음을 시사한다. 임플란트는 기능 회복을 위한 임상적으로 검증된 수복 수단으로 널리 사용되지만, 인접 구조물에 기능적 스트레스를 유발할 수 있다. 따라서 자연치의 보존이 가능할 경우, 이를 우선적으로 고려하는 것이 바람직하며, 임플란트 수복은 신중한 판단 하에 적용해야 한다. 치료 계획 수립 시에는 단일 치아 수복이라는 국소적

관점에 머무르지 않고, 주변 치아의 생물학적 특성과 장기적인 예후를 함께 고려한 통합적인 접근이 필요하다.

앞서 언급했듯이, 환자의 성별이 치아균열 발생 위험에 미치는 영향에 대해서는 여전히 논란의 여지가 있지만, 본 연구 결과에 따르면, 남성은 임플란트 식립 이후 주변 자연치에서 위험이 상대적으로 높을 수 있다는 가능성을 보여준다. 따라서 향후 연구에서는 성별에 따른 기전 및 임상적 예후에 대한 보다 체계적인 검토가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구는 후향적 연구의 한계에도 불구하고, 임플란트 고정성 보철이 인접치 및 대합치에 미치는 영향을 임상적, 방사선학적, 기능적 요소들과 통합적으로 분석하였다는 점에서 기존 연구와 차별성을 가진다. 특히 치주 소견, 교합 상태, 교두 파절 및 치아 균열 유무, 교합 외상 여부 등 다양한 임상 지표를 함께 평가함으로써, 임플란트 주변 자연치에 발생할 수 있는 복합적인 변화 양상을 실질적으로 반영하고자 하였다.

그럼에도 불구하고 본 연구는 몇 가지 제한점을 가진다. 첫째로, 단일기관에서 수행된 후향적 연구로 표본의 지역적, 인구학적 대표성이 제한되며, 표본 수가 적어 연구 결과의 해석에 한계가 존재한다. 이에 따라 향후에는 보다 큰 표본을 포함한 다기관 연구를 통해 결과의 일반화 가능성을 높일 필요가 있다. 두번째로, 시점별로 동일한 기준으로 정량적 분석이 이뤄지지 못했으며, 일부 항목에서는 임플란트 식립 전의 대합치 및 인접치에 대한 기초 상태 정보가 충분하지 않아 인과관계를 명확히 규명하기 어려운 한계가 있다.

또한, 본 연구에서는 임플란트 보철물과 인접 자연치 간의 근심, 원심 접촉 상태를 정량적으로 평가하지 못한 한계가 있다. 단일 임플란트 보철에서 인접 접촉의 소실이나 약화는 식편 압입, 인접면 수복의 증가, 나이가 균열 또는 교두 파절을 유발할 수 있는 독립적 위험 요인으로 보고되어 왔다. 따라서 본 연구에서 관찰된 인접치의 병리적 변화에는 이러한 보철적, 교합적 요인이 일부 포함되었을 가능성을 배제할 수 없다. 향후 연구에서는 보철물-인접치 간 접촉 양식을 임상 검사나 디지털 치과 기록과 연계하여 수집하고, 교합 접촉과 함께 다변량으로 분석하는 연구 설계가 필요하다.

향후 연구에서는 다기관 기반의 전향적 장기추적 연구를 통해, 보다 일반화 가능한 근거를 축적할 필요가 있으며, 디지털 교합 분석 시스템이나 교합력 센서 등 정량적 도구를 활용한 체계적인 평가 체계가 구축된다면, 임플란트 고정성 보철이 인접 및 대합 자연치에 미치는 영향을 보다 명확하게 규명할 수

있을 것이다.

이 연구 결과는 환자 요인에 따라 구치부 단일 임플란트 고정성 보철이 인접치 및 대합치에 다양한 병리적 양상에 영향을 줄 수 있음을 시사한다. 따라서 임플란트 고정성 보철 수복 계획 시 식립 위치, 환자의 교합 양상, 성별, 전신질환 등의 다양한 요인을 함께 고려해야 한다.

Conflicts of Interest: None

References

1. Oshida Y, Tuna EB, Aktören O, Gençay K. Dental implant systems. *Int J Mol Sci* 2010; 11: 1580-1678.
2. Depprich R, Zipprich H, Ommerborn M, Naujoks C, Wiesmann HP, Kiattavorncharoen S, et al. Osseointegration of zirconia implants compared with titanium: an in vivo study. *Head Face Med* 2008; 4: 30.
3. Jackson BJ. Occlusal principles and clinical applications for endosseous implants. *J Oral Implantol* 2003; 29: 230-234.
4. Jacobs R, van Steenberghe D. Comparison between implant-supported prostheses and teeth regarding passive threshold level. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1993; 8: 549-554.
5. Jacobs R, van Steenberghe D. Comparative evaluation of the oral tactile function by means of teeth or implant-supported prostheses. *Clin Oral Implants Res* 1991; 2: 75-80.
6. Koyano K, Esaki D. Occlusion on oral implants: current clinical guidelines. *J Oral Rehabil* 2015; 42: 153-161.
7. Rosen E, Beitlitz I, Tamse A, Tschier S, Tsesis I. Implant-associated vertical root fracture in adjacent endodontically treated teeth: a case series and systematic review. *J Endod* 2016; 42: 948-952.
8. Lynch CD, McConnell RJ. The cracked tooth syndrome. *J Can Dent Assoc* 2002; 68: 470-475.
9. Seo DG, Yi YA, Shin SJ, Park JW. Analysis of factors associated with cracked teeth. *J Endod* 2012; 38: 288-292.
10. Urdaneta RA, Leary J, Panetta KM, Chuang SK. The effect of opposing structures, natural teeth vs. implants on crestal bone levels surrounding single-tooth implants. *Clin Oral Implants Res* 2014; 25: e179-e188.

11. Yoshino K, Nishibori M, Fujiseki M, Ito K, Kuroda M, Matsukubo T. Loss of teeth in positions mesially adjacent to implant-supported fixed dentures: a retrospective clinical survey. *Int J Prosthodont* 2015; 28: 158-160.
12. Duqum I, Barker S, Marshall E, Wang R, Preisser JS, Khan A. The effect of single tooth implant restorations on the survival, morbidity, pulpal, and periapical health of adjacent teeth: a chart review. *Clin Implant Dent Relat Res* 2018; 20: 479-482.
13. Misch CE, Misch-Dietsh F, Silc J, Barboza E, Cianciola LJ, Kazor C. Posterior implant single-tooth replacement and status of adjacent teeth during a 10-year period: a retrospective report. *J Periodontol* 2008 ;79: 2378-2382.
14. Rosen E, Goldberger T, Tamse A, Nemcovsky C, Breslauer S, Beitlitum I, et al. Implant-associated cracked teeth: case series. *Evid Based Endod* 2017; 2: 6.
15. Tonetti MS, Greenwell H, Kornman KS. Staging and grading of periodontitis: framework and proposal of a new classification and case definition. *J Periodontol* 2018; 89 Suppl 1: S159-S172.
16. Wiechens B, Brockmeyer P, Hampe T, Schubert A, Bürgers R, Wassmann T. How to register static occlusion - correlation of contemporary techniques. *Heliyon* 2024; 10: e28130.
17. Park SY, Kim YG, Suh JY, Lee DH, Lee JM. Long-term outcomes of adjacent and antagonistic teeth after implant restoration: a focus on patient-related factors. *J Periodontal Implant Sci* 2021; 51: 135-143.
18. Cameron CE. The cracked tooth syndrome: additional findings. *J Am Dent Assoc* 1976; 93: 971-975.
19. Kang SH, Kim BS, Kim Y. Cracked teeth: distribution, characteristics, and survival after root canal treatment. *J Endod* 2016; 42: 557-562
20. Negrato CA, Tarzia O, Jovanović L, Chinellato LE. Periodontal disease and diabetes mellitus. *J Appl Oral Sci* 2013; 21: 1-12.
21. Grossi SG, Genco RJ. Periodontal disease and diabetes mellitus: a two-way relationship. *Ann Periodontol* 1998; 3: 51-61.
22. Păunică I, Giurgiu M, Dumitriu AS, Păunică S, Pantea Stoian AM, Martu MA, et al. The bidirectional relationship between periodontal disease and diabetes mellitus-a review. *Diagnostics (Basel)* 2023; 13: 681.
23. Fridenberg N, Tagger-Green N, Katz M, Levartovsky S. Assessment of complications in adjacent natural teeth compared to contralateral teeth in single posterior implant cases. *Sci Rep* 2025; 15: 2136.
24. Coelho AS, Amaro IF, Caramelo F, Paula A, Marto CM, Ferreira MM, et al. Dental caries, diabetes mellitus, metabolic control and diabetes duration: a systematic review and meta-analysis. *J Esthet Restor Dent* 2020; 32: 291-309.
25. Ratcliff S, Becker IM, Quinn L. Type and incidence of cracks in posterior teeth. *J Prosthet Dent* 2001; 86: 168-172.
26. Seo DG, Yi YA, Shin SJ, Park JW. Analysis of factors associated with cracked teeth. *J Endod* 2012; 38: 288-292.
27. Arnold M. Bruxism and the occlusion. *Dent Clin North Am* 1981; 25: 395-407.
28. Purintarapiban C, Serichetaphongse P, Chengprapakorn W. The relative occlusal force of distal end implant and adjacent tooth: a cross-sectional study. In: *Proceedings of the RSU International Research Conference 2022 on Science and Technology*; 2022; Pathum Thani, Thailand. p. 175-81.
29. Stilwell C. Occlusal considerations in maintaining health of implants and their restorations. *Br Dent J* 2024; 236: 773-779.