

다양한 가상 골 결합에 따른 공진 주파수의 비교 분석

강릉대학교 치과대학 치과보철학교실 및 구강과학연구소,

*치주과학교실 및 구강과학연구소

김상미 · 박찬진 · 이양진 · 장범석* · 조리라

I. 서 론

임플란트의 성공을 위한 골유착의 선결조건으로 임플란트의 안정성은 필수적이다.¹⁾ 임플란트의 안정성은 임플란트 식립시 얻을 수 있는 일차 안정성과 골 치유와 골 형성 결과에 의한 이차 안정성으로 구분할 수 있는데, 일차 안정성은 임플란트 식립 부위의 골질과 골량, 임플란트의 길이, 직경, 형태, 식립 방법에 영향을 받는다.²⁾

임플란트의 안정성을 측정하는 방법인 타진 반응, 방사선 사진, Periotest®, Dental Fine Tester®, 식립 시 절삭력 측정, 역 토르크 실험 등의 비파괴적(non-invasive) 방법은 간단하고, 임상적으로 적용이 가능하다.^{2,3)} 그 외의 비파괴적 방법으로 Meredith 등^{4,5)}은 생체내 임플란트의 안정성을 정량적으로 측정하기 위한 장치를 개발하였으며, 이는 공진 주파수 측정(resonance frequency analysis, RFA)을 기본 원리로 하고 있다.

두 개의 피조-세라믹 요소(piezo-ceramic element)로 구성된 트랜스듀서를 임플란트에 고정하고 연속된 주파수로 가진을 하였을 때 안정성에 따라 공진 주파수가 발생하는 원리를 따르는 이 방법은 트랜스듀서의 디자인 자체와 임플란트-조직 계면 사

이의 견고도(stiffness)^{5,6)}, 유효 지대주 길이(effective implant length, EIL)²⁾에 영향을 받는다.

유효 지대주 길이란 변연골 상방으로 노출된 고정체와 지대주의 수직적 길이를 합한 것으로, Meredith 등^{4,7)}은 자가 중합 레진과 광중합 레진의 중합에 관한 실험에서, 매몰된 고정체를 통해 측정된 공진 주파수 측정치가 시간에 따른 레진의 중합도 변화에 따라 변화하며 고정체의 노출 정도와 유효 지대주 길이에 반비례함을 밝혔다. 박 등⁸⁾도 전기자극을 가진원으로 한 공진 주파수 장치를 이용하여 임플란트-조직 계면 사이의 견고도와 유효 지대주 길이가 공진 주파수와 상관관계가 있음을 제시한 바 있다.

공진 주파수의 측정 방향에 대해 Meredith 등^{6,9)}은 가토의 경골에서 트랜스듀서의 장착 방향이 골 장축에 수평 방향일 때 보다 수직적인 방향에서 측정했을 때 공진 주파수가 더 분명한 최상승점을 가진 변화를 보였다고 하였고, 박 등¹⁰⁾은 소의 늑골에서 유효 지대주 길이를 증가시켜 Periotest® 수치와 implant stability quotient(ISQ)를 비교해 본 실험에서 우골의 장축방향으로 측정된 ISQ가 더 높은 이유를 골 장축에 의한 버팀목 효과(buttrussing effect)로 설명한 바 있다.

※This study was supported by research grant of Biochallenge from MOST of Korea and MediSciTec AB (Korea).

임플란트는 임상적으로 대략 90% 이상의 높은 장기적 성공률을 보이나 임플란트 식립시 골질이 불량하거나 골량이 불충분한 경우 실패의 가능성이 높아진다.^{11,12)} Friberg 등¹³⁾은 732개의 상악 구치부 임플란트 중 2차 수술시에 4.8%의 실패를 보고하였고, Fugazzoto 등¹⁴⁾은 골질 D4의 골에 매식된 34개의 임플란트 중 22개가 실패하였다고 하는 등, 불량한 골질에서의 높은 실패율은 이미 알려진 바이다.

골량이 부족한 부위에 임플란트를 식립할 경우 임플란트 접촉면이 상대적으로 작아 임플란트 실패의 잠재적 가능성이 높아질 수 있다. 이러한 상황으로 인한 열개와 천공, 임플란트 주위의 골 연하 결손에 대해 골 유도 재생술을 비롯한 다양한 방법이 시도되고 있다.^{15,16)} Tinti 등¹⁷⁾은 지금까지 문헌 상에 보고된 골 결함을 다섯 가지로 정리하여 구분하였지만 골 결함의 크기나 분류에 대해 학자들 간의 일치된 의견은 제시되지 않았다.

공진 주파수 측정으로 임플란트 식립시 초기 안정성과 치유기간 동안의 안정성을 평가할 수 있어 실패 가능성이 높은 임플란트를 조기에 발견하고 임플란트 보철 후의 안정성을 평가하는 것이 가능하게 되었으나, 지금까지 골 결함에 따른 임플란트의 안정성을 평가한 연구는 없었다. 따라서 본 연구는 식립시 또는 기능 중 발생하는 골 결함과 관련한 임플란트의 안정성 변화를 규명하고자, 레진 블록으로

다양한 형태의 골 결함과 점진적 골 소실을 재현하여 그로부터 얻어진 공진 주파수 수치를 비교하고, 골 결함 부위에 트랜스듀서의 방향을 달리하여 골 결함 부위를 추적할 수 있는지 알아보고자 하였다.

Ⅱ. 연구 재료 및 방법

가. 연구 재료

1) 임플란트

직경 3.75mm, 길이 10mm의 기계 절삭형 (machined) 순수 티타늄(gradeⅢ) 셀프-탭(self-tapping) 임플란트 고정체(Neoplant®, Neobiotek, Seoul, Korea) 15개를 사용하였다.

2) 임플란트 포매 재료

자가 중합 투명 레진(Orthojet®, Lang Dental, U.S.A)을 이용하였다.

3) 공진 주파수 측정 장치

공진 주파수 측정 장치로는 Osstell™(Integration Diagnostics Ltd., Göteborg, Sweden)을 사용하였다. Osstell™ 장치와 임플란트 고정체 수준에서 측정 가능한 트랜스듀서(Type F1 L5)를 연결하여 사용하였다(Fig. 1, 2).

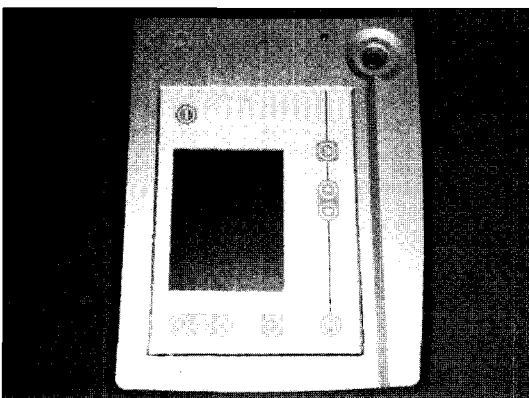


Fig. 1. Osstell™ LCD graphical display.

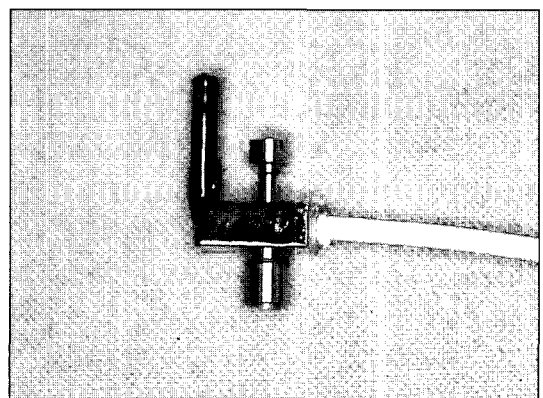


Fig. 2. Transducer (Type F1 L5).

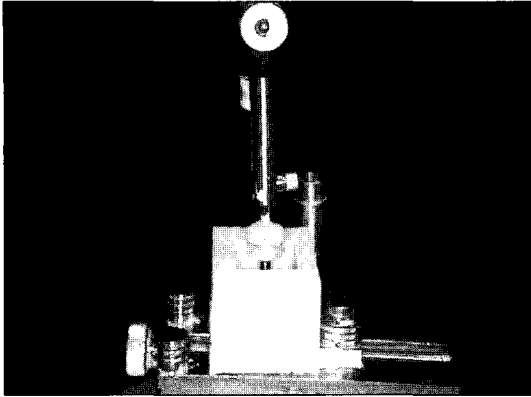


Fig. 3. After simulation of bone defect with wax, the implant was fixed to the dental surveyor and embedded into self-curing clear resin in the mold.

Table I. Experimental group

Group	N	Experimental group		
		Defect angle(°)	Exposed thread	Defect size
1	15	90	1	90×1
2	15	180	1	180×1
3	15	270	1	270×1
4	15	360	1	360×1
5	15	90	3	90×3
6	15	180	3	180×3
7	15	270	3	270×3
8	15	360	3	360×3
9	15	90	5	90×5
10	15	180	5	180×5
11	15	270	5	270×5
12	15	360	5	360×5

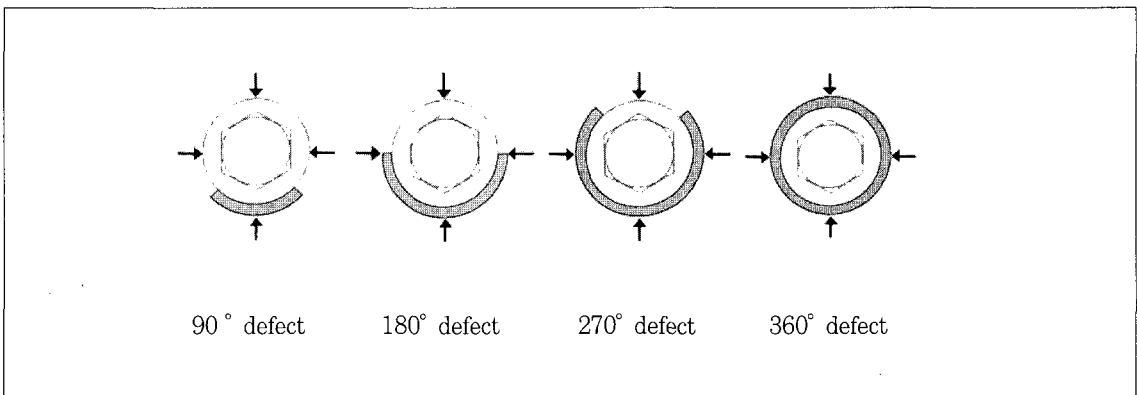


Fig. 4. Schematic diagram of measurement directions and simulated bony defects.

나. 연구 방법

1) 시편 제작

시편은 다음과 같은 12개의 군으로 분류하였다. 임플란트 주위골 결함 범위를 달리하여 90도에서 360도까지 90도 간격으로 4 단계 수평 노출 범위를 재현하고, 각 노출 범위 내에서 각각 첫 번째, 세 번째, 다섯 번째 나사산(thread)까지의 골 결함을 가지도록 고안하였다(Table I, Fig. 4). 수평골 결손 범위는 임플란트를 써베이어에 고정시킬 수 있는 포지셔닝 지그(positioning jig)에 4 지점을 표시하여 노출

범위의 기준점으로 삼아 재현하였다. 수직골 결손 재현을 위해서는 각 노출 범위마다 임플란트 플랜지(flange) 하방을 기준선으로 하여 첫 번째, 세 번째, 다섯 번째 나사산이 수직적으로 노출되게 하였다. 임플란트를 포지셔닝 지그에 먼저 고정시킨 후 각 노출 범위와 나사산 수만큼 베이스플레이트(Modeling wax®, Kim's International, Inc.) 왁스로 플랜지 상방까지 모두 덮었다. 레진에 포매하여 중합시킨 후 왁스를 제거함으로써 골 결함을 재현하였다. 각 군마다 실험 시편의 수는 15개로 하였다(Table I).

대조군의 경우 임플란트의 플랜지만 노출될 수 있도록 포지셔닝 지그에 연결 후 플랜지 상방까지만 엑스로 덮었다.

2) 임플란트 포매

골 결합이 표현된 임플란트에 대한 포지셔닝 지그를 써베이어에 고정시킨 후 20×20×20mm의 실리콘 몰드를 제작하여 자가 중합 투명 레진으로 포매하였다. 임플란트가 정방형의 실리콘 몰드의 중앙에 오도록 위치시킨 후(Fig. 3), 자가 중합 투명 레진을 분말/액 비율 20:15(무게비, g)로 혼합하여 실리콘 몰드에 붓고 경화시켰다. 임플란트 포매시 임플란트 나사산 사이에 레진을 미리 묻혀서 엑스로 골 결합을 재현한 부위를 제외하고는 가급적 레진과 임플란트 사이에 틈이 생기지 않도록 주의하였다. 30분을 경화시킨 후 엑스를 제거하였고 10분간 건조시켰다.

3) 공진 주파수 측정

제작된 시편에 트랜스듀서의 수직빔(vertical beam)을 연결하여 90도 각도마다 위치를 달리하며 측정하였다(Fig. 4). 이로써 각 군마다 4 방향으로 측정하여 골 결합 부위에 따라 트랜스듀서의 측정 방향에 의한 ISQ 수치의 차이가 있는지 알아보았다. 일부 시편에서 공진 주파수 측정시 이중 피크(double peak)가 나타난 경우 결과에서 제외하였다.

다. 통계분석

골 결합을 재현한 각 군마다의 ISQ 수치에 차이가 있는지 일원분산분석(one-way ANOVA)으로 알아보았다. 또한 골 결합의 크기와 트랜스듀서의 방향에 따른 차이에 대한 이원분산분석(two-way ANOVA)을 시행하였으며, Schéffe 법으로 사후 검정하였다. 모든 분석은 95% 신뢰수준으로 시행하여 통계적 유의성을 확인하였다($P < .05$).

Ⅲ. 연구 성적

대조군의 경우 4 방향에서의 측정치가 각각 85.8 ± 1.0 , 86.7 ± 1.1 , 86.2 ± 1.2 , 86.7 ± 1.4 로 실험군에 비해 높은 ISQ 수치를 보였으며, 5 thread-360°의 12군에서 71.1 ± 1.5 , 70.9 ± 1.0 , 70.9 ± 1.0 , 70.9 ± 1.0 로 가장 낮은 ISQ 수치를 보였다(Table II). 이원분산분석 결과 노출부위의 크기에 따라 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다.

Schéffe법으로 사후 검정을 시행한 결과, 3 thread-90°, 5 thread-90°, 1 thread-270° 군 간에 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았으며, 1 thread-270°와 1 thread-360° 군 간에 유의한 차이가 없었다. 1 thread-360°와 3 thread-180°, 5 thread-180° 군 간에 유의한 차이가 없었으며, 5 thread-180°와 5

Table II. The mean \pm SD of ISQ values in each group

Group	0 degree	90 degree	180 degree	270 degree
Control	85.8 \pm 1.01	86.7 \pm 1.12	86.2 \pm 1.17	86.7 \pm 1.35
1(1thread-90°)	86.7 \pm 1.96	84.5 \pm 1.71	84.4 \pm 1.7	84.4 \pm 1.35
2(1thread-180°)	82.3 \pm 2.32	82.5 \pm 2.22	82.7 \pm 1.96	82.9 \pm 2.19
3(1thread-270°)	81.0 \pm 1.46	80.2 \pm 1.42	80.5 \pm 1.59	80.3 \pm 1.59
4(1thread-360°)	79.3 \pm 1.28	79.3 \pm 1.62	79.0 \pm 1.37	79.2 \pm 1.57
5(3thread-90°)	81.3 \pm 2.16	80.9 \pm 2.78	80.5 \pm 2.42	80.6 \pm 2.13
6(3thread-180°)	79.4 \pm 1.4	78.8 \pm 1.38	78.5 \pm 0.88	77.3 \pm 2.5
7(3thread-270°)	77.0 \pm 1.2	76.0 \pm 1.26	76.5 \pm 1.02	75.6 \pm 1.06
8(3thread-360°)	73.3 \pm 1.54	73.0 \pm 1.6	73.4 \pm 1.62	73.0 \pm 1.51
9(5thread-90°)	80.9 \pm 2.22	81.2 \pm 2.26	80.3 \pm 2.19	80.4 \pm 2.06
10(5thread-180°)	79.0 \pm 2.04	77.9 \pm 1.77	78.0 \pm 1.79	77.7 \pm 1.44
11(5thread-270°)	76.8 \pm 1.93	77.1 \pm 2.6	76.9 \pm 1.88	77.6 \pm 2.19
12(5thread-360°)	71.1 \pm 1.49	70.9 \pm 0.96	70.9 \pm 1.02	70.9 \pm 1.03

($P < .05$)

Table III. The result of Scheffe test of ISQ value according to bone defects

Groups	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
12	60	70.9333				
8	60		73.9667			
7	60			76.8833		
11	60			77.0667		
10	60			78.1667	78.1667	
6	60				78.8187	
4	60				79.2000	79.2000
3	60					80.5000
9	60					
5	60					
2	60					
1	60					
control	60					
sig		1.000	1.000	.178	.563	.161

Groups	N	Subset for alpha = .05			
		6	7	8	9
12	60				
8	60				
7	60				
11	60				
10	60				
6	60				
4	60				
3	60	80.5000			
9	60	80.7167			
5	60	80.8333			
2	60		82.6000		
1	60			84.4333	
control	60				86.3500
sig		1.000	1.000	1.000	1.000

thread-270°, 3 thread-270° 군 간에 유의한 차이를 보이지 않았다($P > .05$, Table III). 각 군마다 트랜스듀서의 측정 방향에 따른 큰 차이는 보이지 않았다(Fig. 5). 이원분산분석 결과 트랜스듀서의 측정 방향에 통계적으로 유의한 차이가 없었으나($P = .061$), 노출 부위의 크기는 통계적으로 유의한 차이를 보였다($P = .000$).

가. 수직적으로 노출된 나사산에 따른 비교
90°, 180°, 270°, 360° 크기의 임플란트 노출에 따라서 각 나사산의 노출을 증가시켜 유효 지대주의 길이에 의한 효과를 비교하였다. 모두 첫 번째 나사산에서 세 번째 나사산으로 증가 시 통계적으로 유의한 ISQ 수치의 감소가 있었다($P < .05$, Figs. 6~9 및 Table III).

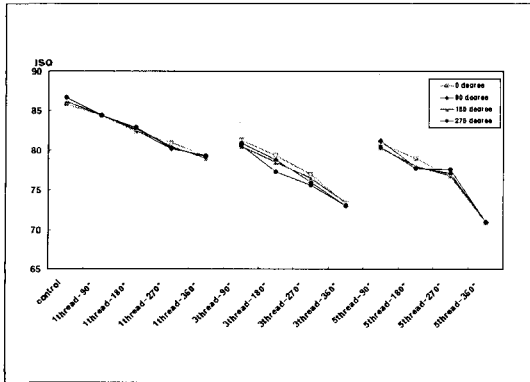


Fig. 5. The means of ISQ values in each group.

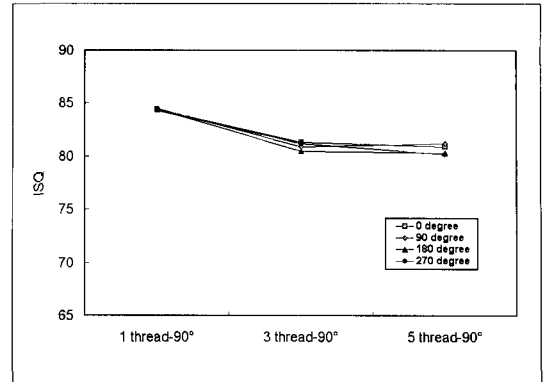


Fig. 6. The ISQ values according to thread exposure (90° defect).

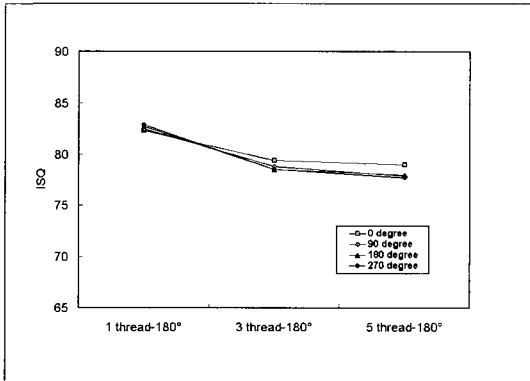


Fig. 7. The ISQ values according to thread exposure (180° defect).

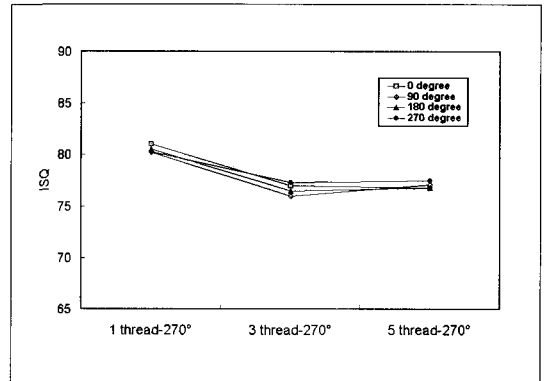


Fig. 8. The ISQ values according to thread exposure (270° defect).

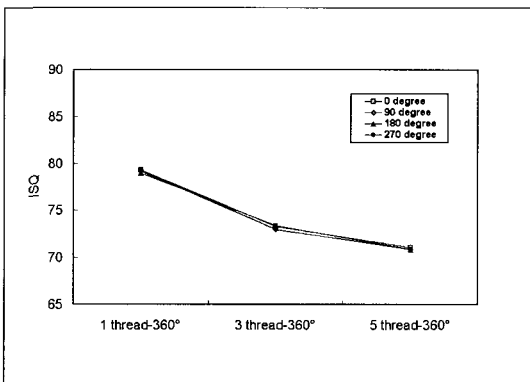


Fig. 9. The ISQ values according to thread exposure (360° defect).

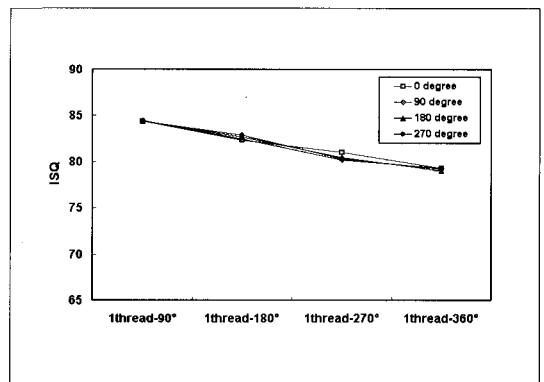


Fig. 10. The ISQ values according to defect angle (1 thread).

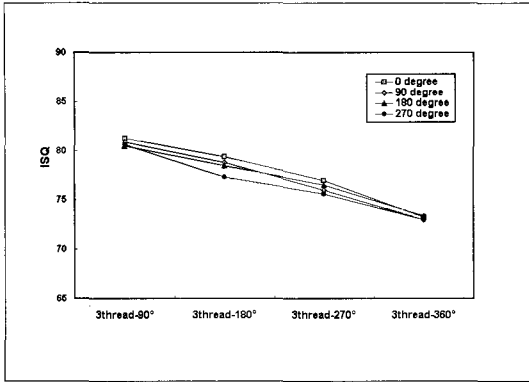


Fig. 11. The ISQ values according to defect angle (3 thread).

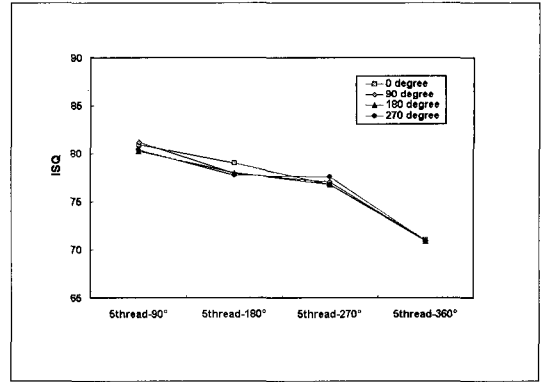


Fig. 12. The ISQ values according to defect angle (5 thread).

Table IV. The results of two-way ANOVA with defect size and direction of measurement

Source	DF	Sum of squares	Mean square	F value	P value
Measurement direction	3	25.026	8.342	2.763	.041
Defect size	12	12211.733	1017.644	337.095	.000
Measurement direction × defect size	36	302.041	8.390	2.779	.000
Error	728	2197.733	3.019		
Corrected total	799	14736.533			

나. 수평적으로 노출된 범위에 따른 비교

각 첫 번째, 세 번째, 다섯 번째 나사산의 노출에 따라서 노출 범위를 증가시켜 ISQ 수치를 비교한 결과, 모두 노출 각도가 증가함에 따라 ISQ 수치는 감소하였으나 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다($P > .05$, Figs. 10~12 및 Table III).

IV. 총괄 및 고안

본 연구에서는 레진 블록 상에 포매된 임플란트의 노출량을 달리하여 다양한 골 결합과 점진적 골 소실을 재현한 후 공진 주파수를 측정 비교하였다. Meredith 등이 임플란트의 안정성을 평가하기 위해 개발한 공진 주파수 분석법은 객관적이고 비위해적인 방법으로 인정받고 있다.^{2,3)} 공진 주파수 분석은 5-15kHz/1kV의 정현파(sinusoidal sinewave)를 연속 가진하여 첫 굴곡 곡선(flexural curve)의 최상승점(peak)을 기록함으로써 임플란트의 안정성을

평가하는 것으로 L자 모양의 트랜스듀서가 이용된다.^{2,4)} 초기에는 RFA(resonance frequency analysis) value를 Hz로 표시하였으나 Osstell™로 상용화된 뒤 ISQ(implant stability quotient)란 수치로 1-100까지 표시하게 되어있다.

본 연구에서는 임플란트 포매 재료로 아크릴릭 자가 중합 투명 레진을 사용하였다. 아크릴릭 레진의 구성 성분인 poly methyl methacrylate (PMMA)의 탄성계수는 3.8×10^3 MPa으로서 해면골(292 MPa)보다는 피질골의 탄성계수(1.5×10^4 MPa)와 유사하다.¹⁹⁾ 아크릴릭 레진은 균질하고 경성의 재료여서 다양한 골질과 골밀도를 재현할 수 없으나, 공진주파수 측정법(RFA)이 골과 임플란트 계면의 견고도(stiffness)를 반영한다고 볼 때 이를 충족시킬 수 있다고 사료된다. 아크릴릭 레진은 상온에서 중합 20분 경과 시에 중합 수축의 80%가 일어난다.²⁰⁾ 따라서 본 연구에서는 최대한 중합 수축 완결도를 높이고 시간이 경과하면서 탄성계수에 영향을 줄 수 있

는 응력을 감안하여 중합 시간을 30분으로 하였다.

본 연구에서 부여한 12개의 실험 분석 결과 대조군의 ISQ 수치가 85 이상으로 가장 높았으며, 5 thread-360° 군에서 70-71 정도로 가장 낮았다. 자가 중합 레진으로 임플란트 골유착 진행 과정을 시뮬레이션한 윤 등¹⁷⁾의 모델에서는 대조군과 같은 실험 조건의 경우 완전히 중합이 끝난 후 ISQ 수치의 평균값은 80.6으로 본 실험의 결과보다 다소 낮았는데, 3.75×13mm의 실험용 나사형 임플란트를 사용하여 본 실험과는 조건이 달랐기 때문이라 생각된다. 박 등은 47명의 환자의 하악에서 기계절삭형과 수산화인회석 (HA) 코팅된 임플란트를 식립 시부터 안정성을 추적한 결과 식립전 완전한 피질골판을 보인다면 식립 직후의 ISQ 수치가 75-78 정도로 분포되었다고 보고하였다.¹⁸⁾ 임상 실험과 견주어 볼 때 레진 블록에 포매한 경우 다소 ISQ 수치가 높은 것으로 사료된다.

네 가지 경우의 노출 범위 모두에서 나사산의 수직적 노출량이 증가될수록 ISQ 수치가 낮아졌다. 특히 첫 번째 나사산에서 세 번째 나사산까지 노출량이 증가할 때보다 세 번째 나사산에서 다섯 번째 나사산 증가에서 ISQ 수치가 두드러지게 감소하였으며 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 이는 네오플란트 임플란트 고정체의 나사산이 600 μm 간격으로 사면을 형성하는 형태임을 고려할 때 임플란트 플랜지 하방에서 첫 번째 나사산까지의 길이가 1.2mm가 안되기 때문인 것으로 사료된다. 각 나사산 수준에서 수평적 노출 범위가 증가할수록 ISQ 수치가 낮아졌다. 통계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았으나 역시 레진과의 접촉 면적의 감소로 인한 ISQ 수치의 감소로 사료된다.

각 군에서 임플란트 노출량 증가시 ISQ 수치는 점차 감소하였으나, 1 thread-360° 군에서보다 3 thread-90° 군에서, 3 thread-360° 군에서보다 5 thread-90° 군에서 ISQ 수치가 더 높았다. 이는 임플란트와 레진과의 접촉 면적이 3 thread-90° 군과 5 thread-90° 군에서 상대적으로 증가하여 생긴 결과로 보인다.

각 군에서 임플란트 노출량을 증가시킨 결과 ISQ 수치는 낮아졌으나 일부 군에서 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 이것은 공진 주파수 측정 장

치가 서로 다른 골 결합에 대해 같은 수치를 보일 수 있기 때문으로 사료된다.

골 결합 부위에 따라 트랜스듀서의 방향을 달리하였을 때 골 결합 부위가 추적될 수 있는지를 평가한 결과, 각 군에서 네 가지 방향으로 측정된 ISQ 수치는 변화량이 유사하며 통계적으로 유의한 차이는 관찰되지 않았다($P=.061$). 생체 내에서 골의 장축에 수직인 협설 방향의 진동에 의해 측정되는 공진 주파수 분석은 임플란트 노출 부위에 따라 트랜스듀서의 방향에 의한 영향을 받으리라는 예상과는 달랐다. 레진 블록의 장축에 의한 효과를 상쇄시키기 위해서 정방향으로 제작된 레진 블록 상에서는 임플란트 노출에 의한 효과를 보이지 않는 것으로 보인다.

이상의 결과로 볼 때 공진 주파수 분석은 노출된 유효 지대주 길이의 영향을 받으나, 접촉 면적의 정도에도 다소간 영향을 받을 수 있는 것으로 사료된다. 그러나 이 실험의 결과는 레진 블록을 이용하여 얻어진 것으로서 상악과 하악, 피질골과 해면골의 두께에 따른 다양한 생체내 조건을 만족시킬 수 없다. 따라서 새로운 실험 모형을 개발할 필요성이 있으며 생체내 연구를 통한 적절한 비교 평가가 필요하리라 사료된다.

V. 결 론

본 연구에서는 레진 블록 상에 다양한 골 결합을 재현하여 공진 주파수를 비교 평가하고, 트랜스듀서의 측정 방향에 따른 차이를 알아본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 골 결합 양상이 다른 군 간에는 통계적으로 유의한 차이가 있었으나($P=.000$), 측정 방향에 따라서는 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다($P=.061$).
2. 대조군의 ISQ 수치가 가장 컸으며, 5 thread-360° 군에서 ISQ 수치가 가장 낮았다.
3. 각 노출 범위에 따라 임플란트의 수직적 노출량이 증가함에 따라 ISQ 수치는 낮아졌다.
4. 각 나사산 수준에서 수평적 노출 범위가 증가함에 따라 ISQ 수치는 통계적으로 유의한 차이를 나타내지는 않았으나 낮아지는 경향을 보였다.

참고문헌

1. Zarb GA, Schmitt A. Osseointegration and the edentulous predicament. The 10-year-old Toronto study. *Br Dent J* 1991; 170:439-444.
2. Meredith N. Assessment of implant stability as a prognostic determinant. *Int J Prosthodont* 1988;11:491-501.
3. Sennerby L, Meredith N. Resonance frequency analysis: Measuring implant stability and osseointegration. *Compendium* 1998;19:493-502.
4. Meredith N, Alleyne D, Cawley P. Quantitative determination of the stability of the implant-tissue interface using resonance frequency analysis. *Clin Oral Impl Res* 1996;7:261-267.
5. Meredith N. Determination of the elastic modulus of resin based materials as a function of resonance frequency during polymerisation. *Dent mater* 1999;15:98-104.
6. Meredith N, Shagaldi F, Sennerby L, Alleyne D, Cawley P. The application of resonance frequency measurements to study the stability of titanium implants during healing in the rabbit tibia. *Clin Oral Impl Res* 1997;8:234-243.
7. Meredith N, Friberg B, Jemt T, Sennerby L. Resonance frequency measurements of implant stability *in vivo*. A cross-sectional and longitudinal study of resonance frequency measurements on implants in the edentulous and partially dentate maxilla. *Clin Oral Impl Res* 1997;8:226-233.
8. Park C, Lim JH, Cho IH, Lim HS. A study of the measurement of the implant stability using resonance frequency analysis. *J Korean Academy of Prosthodontics* 2003;41:182-206.
9. Meredith N, Rasmussen L, Sennerby L, Alleyne D. mapping implant stability by resonance frequency analysis. *Med Sci Res* 1996;24:191-193.
10. Park CJ. *In vitro* comparative study between ISQ and Periotest values on the implant stability measurements according to the increased effective implant length. *J Korean Academy of Prosthodontics* 2001; 39:625-635.
11. Lekholm U, Adell R, Branemark P-I. Complications. In: Branemark P-I, Zarb GA, Albreksson T(eds). *Tissue-integrated prostheses: Osseointegration in clinical Dentistry*. Chicago: Quintessence, 1985:233-240.
12. Jaffin RA, Berman CI. The excessive loss of Branemark fixture in type IV bone: a 5-year analysis. *J Periodontol* 1991;62:2-4.
13. Friberg B, Jemt T, Lekholm U. Early failures in 4,641 consecutively placed Branemark dental implants. A study from stage I surgery to the connection of completed prostheses. *Int J Oral Maxillofac Impl* 1991;6:142-146.
14. Fugazzotto PA, Wheeler SL, Lindsay JA. Success and failure rates of cylinder implants in type IV bone. *J Periodontol* 1993; 64:1085-1087.
15. Lundgren D, Sennerby L, Falk H, Friberg B, Nyman S. The use of a new bioresorbable barrier for guided bone regeneration in connection with implant installation. Case reports. *Clin Oral Implants Res* 1994;5:177-184.
16. Dahlin C, Lekholm U, Linde A. Membrane-induced bone augmentation at titanium implants. A report on ten fixtures followed from 1 to 3 years after loading. *Int J Periodontics Restorative Dent* 1991;11:273-281.
17. Tinti C, Parma-Benfenati S. Clinical classification of bone defects concerning the

- placement of dental implants. *Int J Periodontics restorative Dent* 2003;23:147-155.
18. Yun KS, Kwon JS, Kim DK, Sul YT. Assessment of implant stability in an osseointegration simulated model. *Quintessence Dental Implantology* 2002;4:360-363.
19. Van Oosterwyck H, Duyck J, Vander Sloten J, Van Der Perre G, Naert I. Peri-implant bone tissue strains in cases of dehiscence: a finite element study. *Clin Oral Implants Res* 2002;13:327-333.
20. Mojon P, Oberholzer JP, Meyer JM, Belser UC. Polymerization shrinkage of index and pattern acrylic resins. *J Prosthet Dent* 1990;64:684-688.

Reprint request to:

Lee-Ra Cho, D.D.S., Ph.D.

Dept. of Prosthodontics, College of Dentistry, Kangnung National University

Chibyun-dong 123, Kangnung, Kangwon-do, 210-702, Korea

lila@kangnung.ac.kr

ABSTRACT

A COMPARATIVE ANALYSIS WITH RESONANCE FREQUENCY ACCORDING TO VARIOUS SIMULATED BONE DEFECTS

Sang-Mi Kim, D.D.S., Chan-Jin Park, D.D.S., Ph.D., Yang-Jin Yi, D.D.S., Ph.D.,
Beom-Seok Chang*, D.D.S., Ph.D., Lee-Ra Cho, D.D.S., Ph.D.

*Department of Prosthodontics, *Department of Periodontology,
Research Institute of Oral Science, College of Dentistry, Kangnung National University*

Purpose: Resonance frequency analysis (RFA), a non-invasive technique for the clinical measurement of implant stability, was investigated. Peri-implant bony defect may contribute to implant failure. This *in vitro* study evaluated the resonance frequencies according to various bony defects and determined whether the directional bone defect can affect the value of frequency analysis.

Material and Method: Fifteen 3.75 mm in diameter and 10 mm in length, machined self-tapping implant fixture were used. Twelve types of bone defects that have different horizontal and vertical dimensions were simulated. Embedded implants were attached to the dental surveyor. Then, the transducer was connected with the implant fixture and the ISQ value was measured at four different directions. Two-way analysis of variance and post hoc Schèffé' test were performed at the 95% significance level.

Results: The control group showed the highest ISQ value and 5 thread-360° group had the lowest one. As the vertical exposure of implants in each angle was increased, the ISQ value was decreased. Although the horizontal exposure in each thread was increased, the ISQ value was not significantly decreased.

Conclusion: Although the simulated defect type was different from each other, the ISQ value was similar among groups.

Key words : Bone defect, Implant stability, Measurement direction, Resonance frequency analysis