

즉시 부하 교정용 미니임플란트의 안정성 평가를 위한 Periotest[®]의 유효성

차정열^a · 유형석^b · 황충주^b

Periotest[®]는 보철용 임플란트 식립 3 - 4개월 후 골유착 정도를 평가하기 위해 사용되는 동요도 측정 기기로 교정용 미니임플란트 안정성 평가에 적용가능성이 높다. 본 연구는 교정용 미니임플란트의 안정성 평가를 위해 Periotest[®]의 유효성을 검증하고자 하였다. 성견 다섯 마리의 상악, 하악 협측골에 교정용 미니임플란트를 식립하고, 식립 시 식립 토크와 동요도를 측정하고 12주 동안 교정력을 부여한 후, 제거 시 제거 토크와 동요도를 측정하였다. 동요도 (Periotest[®] value, PTV) 측정은 재현성을 위해 동일 부위에 2회 측정하였다. PTV와 다른 변수와의 상관성 분석을 위해 모든 실험견은 CT 촬영 후 식립 부위의 골밀도와 피질골 두께를 계측하였다. 동요도 측정에 대한 재현성은 0.96의 상관계수를 나타내 매우 높았으며 ($p < 0.001$) 골밀도와 피질골 두께에 있어 하악골 협측치조골이 상악골에 비해 유의하게 컸다 ($p < 0.05$). 12주 동안 PTV 값은 -3.2에서 4.8의 범위를 나타내며 모든 임플란트는 임상적으로 안정적이었다. 식립 시 PTV 값은 하악에서 식립 토크(-0.51), 골밀도(-0.48), 피질골 두께(-0.42)와 상관성이 있었으나 ($p < 0.05$), 상악에서는 상관성이 없었다. 제거 시 PTV 값은 하악에서 제거 토크(-0.66)와 상관성이 있었으며 ($p < 0.05$), 상악에서는 상관성이 없었다. 이상의 결과는 Periotest[®]를 이용하여 교정용 미니임플란트의 안정성을 간접적으로 평가할 수 있으나 골밀도가 높고 피질골이 두꺼운 부위에서 제한적으로 응용할 수 있음을 시사한다. (대치교정지 2010;40(3):167-175)

주요 단어: Periotest, 미니임플란트, 식립 토크, 동요도

서론

미니임플란트의 초기 안정성은 임플란트의 성공에 영향을 미칠 수 있는 중요한 요소이며 이는 생리적 허용 범위 내에 미니임플란트의 동요를 예방하여 골계면의 새로운 골형성을 도울 수 있기 때문이다.¹

교정용 미니임플란트의 안전성을 평가하는 데 임플란트와 골조직 계면의 조직형태학적인 분석법이 있으며 식립 시에 토크를 측정하는 물리적인 방

법이 있다. 조직형태학적인 방법은 골계면의 신생골의 형성 및 골밀도 분석에 응용할 수 있으며 조직 시편의 채득 및 슬라이드 제작이 필요하므로 실험적인 목적으로 이용되고 있다.^{2,4} 반면 물리적인 계측방법은 미니임플란트 디자인에 대한 생역학적인 특성 분석을 위해 식립 토크 측정과 같은 방법이 있으며 임플란트의 초기교정에 대한 평가를 위해서 사용된다.⁵⁻⁷ 그러나 식립 시에만 측정이 가능하므로 식립 후에 임플란트의 연속적인 안정성을 평가할 수 없다는 제약점이 있다. 반면 임플란트의 안정성 평가를 위해 연속적인 임플란트의 동요도 측정 방법으로 물리적인 충격을 이용하는 방법과 resonance frequency analysis에 의한 평가방법이 있으며 이러한 계측방법에 대한 신뢰성과 임상적 의의에 대해 보고되고 있다.⁸⁻¹¹

Periotest[®] (Siemens, Bensheim, Germany)는 치아의 동요도를 측정하기 위해 개발된 전자기구로써^{8,9} Periotest Value (PTV)라는 값으로 전자식으로 표시

^a조교수, ^b교수, 연세대학교 치과대학 교정학교실, 두개안면기형 연구소 연구원, 구강과학 연구소 연구원.

교신저자: 황충주.

서울시 서대문구 성산로 250, 연세대학교 치과대학 교정학교실.

02-2228-3106; e-mail, hwang@yuhs.ac.

원고접수일: 2008년 12월 12일 / 원고최종수정일: 2009년 10월 9일 /

원고채택일: 2009년 10월 12일.

DOI: 10.4041/kjod.2010.40.3.167

*본 연구는 2008년 연세대학교 두개안면기형연구소 연구비로 진행되었음.

가 되게 되며 -8 (낮은 동요도)에서 50 (높은 동요도)까지의 범위를 나타내게 된다. Periotest[®]는 보철용 임플란트의 경우 표면처리 유무에 따라 식립 6 - 12주 후 골유착 정도를 평가하기 위해 사용될 수 있으며 -5에서 +5 사이의 좁은 범위의 수치로 안정성을 확인할 수 있으며 10 이상일 경우 골유착 실패를 의심할 수 있게 된다.^{12,13} 최근에는 보철용 임플란트의 안정성 평가뿐 아니라 교정용 미니임플란트의 안정성 평가에 사용되기 시작하였다.^{14,15} Periotest[®]는 사용방법이 단순하고 식립 후에도 연속적으로 동요도 검사를 할 수 있다는 장점이 있어 미니임플란트의 안정성 평가에 적용 가능성이 높다 (Fig 1).

교정용 미니임플란트의 동요도 측정은 식립 즉시 동요도를 측정함으로써 초기고정을 평가할 수 있다는 점에서 보철용 임플란트의 적용방법과는 다르다. 이 시기의 동요도 측정은 골유착 정도 평가라기 보다는 골과 임플란트의 기계적인 결합 정도를 평가하기 때문이다. 또한 교정용 미니임플란트의 경우 임플란트에 비해 표면적이 작기 때문에 PTV의 범위가 보철용 임플란트의 측정 범위와 차이가 발생할 수 있다. 실제로 Periotest[®]는 기기와의 접촉위치,¹⁶ 임플란트의 길이,¹⁷ 치조골의 흡수, 접촉 피질골의 양,¹¹ 골밀도,^{18,19} 악골 부위와 같은 여러 요소에 대해 영향을 받는다고 보고된 바 있기 때문에 교정용 미니임플란트에 대한 Periotest[®] 적용을 위해서는 계측값에 대한 평가와 유효성 검증이 선행되어야 한다.

본 연구는 즉시 부하 미니임플란트에 대한 Periotest[®]의 동요도 측정값의 유효성을 검증하기 위해 실험 동물에 대한 CT촬영을 통하여 미니임플란트 식립부위의 골 밀도와 피질골 두께 및 식립 및 제거 시에 토오크와의 상관성을 검증하였다.

est[®]의 동요도 측정값의 유효성을 검증하기 위해 실험 동물에 대한 CT촬영을 통하여 미니임플란트 식립부위의 골 밀도와 피질골 두께 및 식립 및 제거 시에 토오크와의 상관성을 검증하였다.

연구방법

실험 동물 및 재료

본 연구는 12개월 된 건강한 웅성 성견(Beagle dog) 다섯 마리를 대상으로 하였으며 그 체중은 12 - 13 kg이었다. 실험동물의 구입, 선택, 관리 및 실험 술식 등은 연세의료원 실험동물 위원회의 동물 실험 규정에 의거하였다. 교정용 미니임플란트는 self-drilling type으로 직경 1.5 mm, 길이 7 mm의 원통형 미니임플란트(ACR, Biomaterials Korea, Seoul, Korea)로써 총 60개를 식립하였다.

미니임플란트의 식립 및 동요도 측정

실험견을 전신 마취 후 거즈에 적신 요오드와 70% 에탄올의 혼합액으로 식립 부위를 소독하고 상악에서는 제2, 3소구치와 제1대구치 치근 사이에, 하악에서는 제2, 3, 4소구치의 치근 사이에 미니임플란트를 식립하여 실험동물 한 마리에 12개씩, 모두 60개의 미니임플란트를 식립하였다. 한 quadrant 당 3개의 미니임플란트를 식립한 후 2개의 미니임플란트 양측에 탄성체인으로 150 - 200 g의 힘을 부여하고 나머지 하나에는 힘을 부여하지 않았다. 식

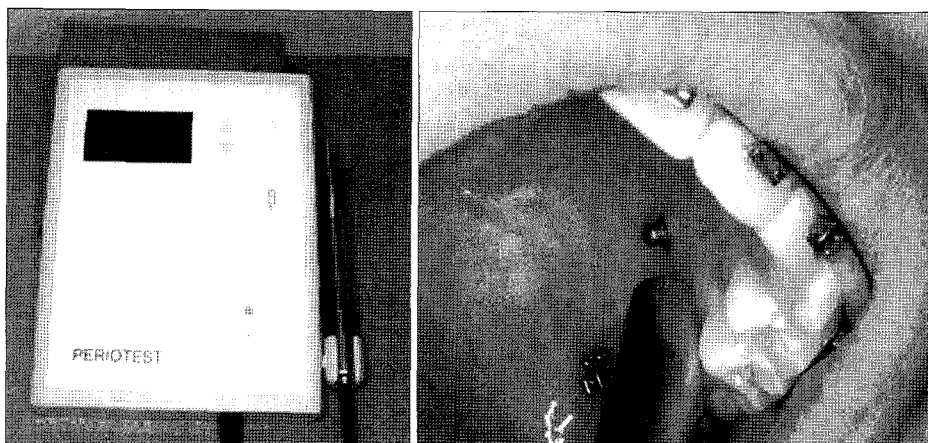


Fig 1. Periotest (Siemens, Bensheim, Germany) and clinical application for the mobility test of mini-implants.

립 3일 전에 CT 촬영을 통해 미니임플란트 식립을 위한 최적 부위를 V-works 4.0 (CyberMed, Seoul, Korea) 프로그램을 이용하여 결정하였다. 식립을 위해 2 - 3 mm 정도의 잇몸 절개를 시행하였으며 식염수 주수 하에 임플란트의 나사산이 치조골에 완전히 들어가는 것을 확인하였다. 식립 토오크는 임플란트를 완전히 식립한 후에 최종 1/4 회전에 대한 최대 토오크를 토오크 센서(Mark-10, MGT50, CA, USA)를 통해 측정하였으며 제거 토오크는 식립 12 주 후 측정하였으며 임플란트 제거 1/4 회전에 대해 최대 토오크를 측정하였다. 토오크 값은 N cm로 변환하여 기록하였다. 동요도 측정(PTV, periostest value)은 식립 후, 제거 전에 시행하였으며 동요도 측정헤드가 지면에 수평으로 위치시킨 상태에서 미니임플란트 헤드에 수직으로 1 - 2 mm 거리를 유지된 상태에서 측정하였으며 동일 위치에서 2회 측정하였다. 임플란트 주변의 염증으로 인하여 계측이 불가능한 경우 잇몸절개를 통한 임플란트 헤드 노출 후 동요도를 측정하였다.

CT 촬영법과 bone mineral density 보정

임플란트 식립에 앞서 식립될 부위의 피질골 두께와 골밀도를 측정하기 위해 임플란트 식립 및 제거

3일 전에 CT를 2회 촬영하였다. Beagle견의 교합평면에 gantry가 평행하게 위치시킨 후 두개부위를 고정하였으며 근육진정 마취하에 시행하였다. CT High speed Advantage CT 촬영 장치(GE medical System, Milwaukee, USA)를 이용하여 high-resolution algorithm, 512 × 512 matrix, 120 kV, 200 mA 조건하에 3 mm 두께의 연속적인 횡단면 나선형 CT 촬영을 시행하였으며 table speed는 6 mm/sec였다. 이렇게 촬영한 기본 영상자료를 1 mm 두께의 횡단면상으로 재구성하였다. 골밀도 보정을 위해 실험동물의 협측에 calibration standard (Dental Phantom, Image Analysis, Columbia, KY, USA)를 부착하여 Hounsfield values을 BMD values로 환산하였다.

골밀도, 피질골 두께 측정

촬영된 이미지는 V-implant 4.0 (CyberMed, Seoul, Korea)를 이용하여 분석하였다. 임플란트 제거 전에 촬영된 이미지는 상악과 하악 치열에 각기 다른 occlusal line을 구성하여 1 mm 간격으로 trans-axial image로 구성되었다. 이렇게 식립 후 촬영된 CT 이미지를 분석하여 식립 전에 촬영하였던 CT 이미지상에서 식립 위치의 근접한 위치에 대해 2 mm 폭경과 5 mm 깊이의 원추형의 구역에 대한 평균 골밀

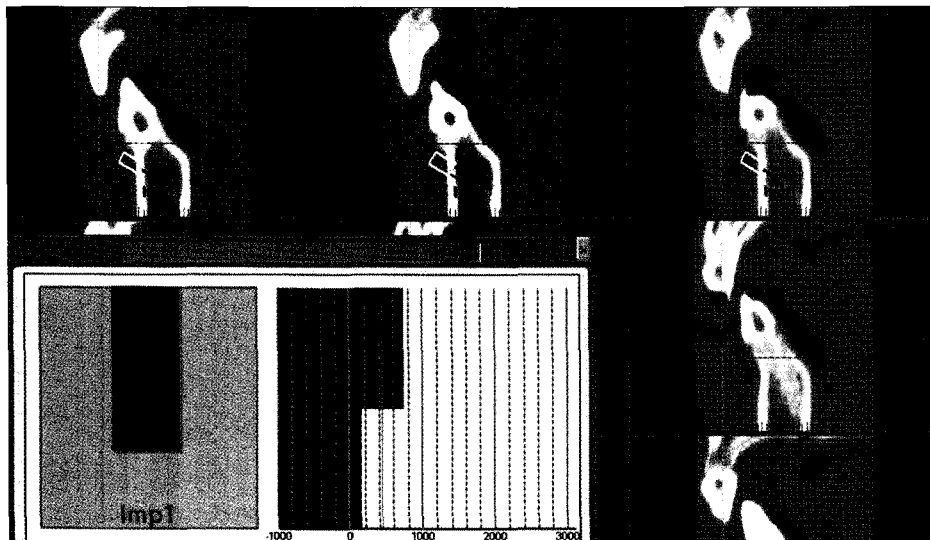


Fig 2. Bone mineral density calibration procedure. The scanned images were reconstructed to a transaxial image for each occlusal plane of the maxilla and mandible, and the average bone mineral density inside of cylindrical area (red box; diameter, 2 mm; depth, 5 mm) was measured by Hounsfield unit using V-implant program (CyberMed, Seoul, Korea).

도를 Houndsfield unit으로 측정하였으며 수질골을 제외한 피질골의 두께도 함께 측정하였으며 이 부위에 대한 평균 골밀도도 함께 측정하였다 (Fig 2).

연구성적

PTV 재현성

실험 도중 탈락된 미니임플란트는 발견되지 않았다. PTV에 대한 상관성 분석 결과 0.96으로 높게 측정되었다 ($p < 0.001$).

미니임플란트에서 PTV와 식립 및 제거 토오크

PTV는 상악과 하악에 대해 0주에서 -3.2 - 1.1의

범위가 측정되었으며, 12주 후에는 2.4 - 4.8의 범위가 측정되었다 (Table 1). 식립 토오크는 상악에서 5.8 Ncm 하악에서는 17.4 Ncm로 측정되었으며 제거 토오크는 각각 2.1 Ncm과 3.6 Ncm로 측정되었다.

미니임플란트 식립과 제거 시 PTV와 다른 변수와의 상관성

미니임플란트가 식립된 부위의 피질골의 골밀도는 하악에서 1,039.6 mgHA/cm³이었으며 상악에서 866.9 mgHA/cm³로 하악에서 높게 측정되었으며 ($p < 0.05$) 피질골 두께는 하악에서 평균 2 mm이었으며 상악에서는 평균 1.3 mm로 측정되었다 (Table 2).

Table 1. Range of periotest value (PTV), insertion torque, and removal torque for loading periods of maxilla and mandible

Variables	Mobility (PTV)				Insertion torque (Ncm)		Removal torque (Ncm)	
	0		12		0		12	
Period (weeks)	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Maxilla	1.1	3.8	4.8	4.5	5.8	2.6	2.1	0.9
Mandible	-3.2	3.6	2.4	3.8	17.4	5.7	3.6	1.0

PTV, Periotest value; SD, standard deviation; PTV with -8 to +9 indicates clinically firm teeth or implant is well osseointegrated, PTV over +10 indicates implant is not or not sufficiently osseointegrated (Shulte and Lukas, 1992).

Table 2. Comparison of bone mineral density (BMD) and cortical bone thickness of implantation site

Variables	BMD cortical (mgHA/cm ³)			BMD total (mgHA/cm ³)			Cortical bone thickness (mm)		
	Mean	SD	Sig	Mean	SD	Sig	Mean	SD	Sig
Maxilla	866.9	218.8	*	581.3	183.6	*	1.3	0.6	*
Mandible	1039.6	183.7		741.6	175.3		2.0	0.4	

SD, Standard deviation; Sig, significance; * $p < 0.05$.

Table 3. Correlation of periotest value (PTV) with each variable at implantation of mini-implant

Position	Variables	Insertion torque (Ncm)	BMD cortical (mgHA/cm ³)	BMD total (mgHA/cm ³)	Cortical bone thickness (mm)
PTV Maxilla	Correlation coefficient	-0.32	-0.07	-0.29	-0.11
	<i>p</i> value	0.14	0.75	0.18	0.63
Mandible	Correlation coefficient	-0.51*	-0.12	-0.48*	-0.42*
	<i>p</i> value	0.01	0.55	0.021	0.047

BMD cortical, Bone mineral density of cortical bone; BMD total, bone mineral density of total bone area; * $p < 0.05$.

Table 4. Correlation of periotest value (PTV) with each variable at removal of mini-implant

Position	Variables	Removal torque (Ncm)	BMD cortical (mgHA/cm ³)	BMD total (mgHA/cm ³)	Cortical bone thickness (mm)
PTV Maxilla	Correlation coefficient	-0.27	-0.22	0.24	0.23
	p value	0.084	0.16	0.12	0.15
Mandible	Correlation coefficient	-0.66*	-0.09	-0.11	0.078
	p value	0.00	0.53	0.46	0.62

BMD cortical, Bone mineral density of cortical bone; BMD total, bone mineral density of total bone area; *p < 0.01.

임플란트 식립 시 PTV는 하악에서는 식립 토오크(insertion torque)에서 -0.51, 골밀도(bone mineral density)값에서 -0.48, 피질골 두께에서 -0.42의 상관성이 관찰되었으며 (p < 0.05), 상악에서는 다른 변수와의 상관성이 관찰되지 않았다 (Table 3).

임플란트 제거 시 PTV는 하악에서는 제거 토오크(removal torque)에서 -0.66의 상관성이 있었으나 (p < 0.01), 상악에서는 측정치와의 상관성이 관찰되지 않았다 (Table 4).

고찰

교정용 미니임플란트에서 동요도 측정은 골유착에 대한 정보를 제공하기보다는 물리적인 적합 정도를 평가하는 데 더 유리하다고 보며, 주변골의 상태를 간접적으로 평가할 수 있는 수단으로 사용될 수 있어 임상에서 식립 토오크와 같은 동측 측정법을 대신하여 사용할 수 있는 방법으로 가능성이 높다. 그러나 동요도 측정에서 미니임플란트의 헤드와 수직으로 위치시켜야 한다는 점에서 구개측 부위 및 구치부위의 측정이 어렵고 간혹 측정방향에 따라 계측값이 나오지 않는 경우가 발생한다는 점에서 효율성 검증도 필요하다. 이번 실험에서는 미니임플란트의 장축에 대해 수직으로, 교합평면에 대해 70 - 90° 각도로 측정하였는데 치근방향으로 동요도를 측정할 경우 계측되지 않는 경우가 발생되었기 때문이다. 그러나 구치부위에 식립된 미니임플란트의 경우 교합평면에 수직으로 측정하는 것이 어려워 약간의 경사를 부여하여 측정하였다.

이번 실험에서 PTV 값의 범위는 식립 즉시 -3.2 - 1.1로 측정되었으며 이는 임플란트에서도 안정적인 값의 범위와 유사하였다. 12주 후에는 2.4 - 4.8 정도로 동요도가 증가하였으나 대부분 임플란트에서 안정성에 문제가 없는 10 미만의 수치를 보여주었다. Kim 등²⁰은 이미 미니임플란트의 안정성 평가

를 위해 동요도 측정을 이용하였으며 drill free type의 경우 식립 후 9.3 PTV의 값을 보고하여 이번 실험값에 비해 높은 값을 보고하였다. 그러나 당시 연구에서 식립 위치가 상악에서는 비강과 상악동에 근접하고 하악에서는 하악 신경관과 근접하여 해부학적인 식립위치 때문에 더 높은 동요도가 계측되었다고 생각된다. 비록 보철용 임플란트에 비해 높은 동요도가 계측되었지만 이는 동요도 측정 시 필요한 5 N의 힘을 미니임플란트에 동일하게 부여하였으²¹ 보철용 임플란트에 비해 상대적으로 교정용 임플란트 길이가 짧기 때문으로 생각된다.

PTV 값은 여러 요소에 의해 영향을 받을 수 있는데 악골의 위치, 임플란트와 지대주의 길이와 관련성이 있다.^{22,23} 또한 성별에 있어 차이가 발견되었으며 여성에서 남성보다 높은 값을 나타낸다.¹⁷ 이러한 PTV와 임플란트의 안정성과의 관련성은 식립 시 토오크와 골밀도 간의 상관성 분석에서 74% 이상의 높은 상관도가 보고되었다.^{24,25} 따라서 Periotest[®]를 이용한 동요도 측정은 보철용 임플란트의 안정성을 평가할 수 있는 방법으로 오랫동안 사용되어 왔으며 이번 실험에서도 교정용 미니임플란트가 식립된 주변골의 골밀도 피질골의 두께, 식립 토오크와 유의한 상관성이 발견되어 보철용 임플란트의 경우와 유사한 결과를 얻었다.

그러나 이번 연구에서 식립 시 동요도와 식립 토오크에서 상관성은 하악에서만 관찰되었으며 상관성이 0.51 정도로 예상보다 낮았다. 실험견에서 상악의 경우 상악동과 비강과의 거리가 가까워서 관통하는 경우가 있었으며 골질이 하악에 비해 상대적으로 낮고 이에 반하여 측정 시 가해지는 힘이 상대적으로 커서 식립 부위 골질에 대한 차이를 감별할 수 없었다고 생각된다. 물론 하악의 경우에도 상관성이 낮았으므로 동요도 측정 시에 여러 요소가 영향을 미치고 있다는 사실을 반영한다. 한 가지 예로 미니임플란트에 대한 측정높이와 치조골과의 거

리가 양향을 미칠 수 있으며 측정 시의 각도에 따라서도 동요도 값이 영향을 받을 수 있다.

이번 실험에서 식립 12주 후 PTV값이 감소되었으며 이는 점진적으로 증가하는 보철용 임플란트의 결과와는 상반된다. 물론 임플란트의 경우 3개월 이후 동요도를 측정하게 됨으로 골유착이 증가되는 시기에 측정하지만²⁶ 미니임플란트의 경우 식립 초기에 발생하는 임플란트 주변골의 재형성 과정에서 동요도 값은 지속적으로 증가하게 된다.²⁷

제거 시에 동요도는 식립 때와는 달리 주변 골밀도와 피질골의 두께와의 관련성은 없었으며 하악에서 제거 토오크와 유의한 상관성이 관찰되었다. 이번 결과는 기존 보철용 임플란트를 이용한 실험에서 28%로 낮은 상관성²⁸을 보고한 기존 연구에 비해 높게 측정되었다. 미니임플란트의 경우 식립 시 안정성에 문제가 있을 경우 치유기간을 부여할 수 있으며 일정 기간 후 고정원의 안정성을 간접적으로 평가할 수 있다는 점에서 임상적인 의미를 지닌다. 다만 이번 실험이 실험견을 대상으로 하였다는 점에서 추가적인 임상실험을 통한 검증이 필요하다고 생각된다.

이러한 동요도 측정은 미니임플란트의 경우 다양한 폭경과 길이가 사용되기 때문에 측정치가 절대적인 상태를 반영하지는 못한다. 폭경의 변화에 대해서는 보철용 임플란트의 경우 5 mm 두께가 3.75 mm의 두께보다 평균 0.6 - 1.1 정도 동요도가 낮게 측정되었으며²⁹ 교정용 미니임플란트의 경우 1.5 - 1.8 mm임을 감안한다면 더욱 높은 값을 예측할 수 있다. 또한 식립 깊이의 차이에 따라서도 동요도가 다르게 예측될 수 있다. 임플란트에서도 식립 깊이에 대한 정확한 정의가 없기 때문에 임플란트에 대한 동요도 측정 범위가 회사마다 다르게 보고되었으며³⁰ 이는 서로 다른 디자인 형태 때문이며 미니임플란트에서도 다양한 헤드 디자인이 나옴에 따라 정확하고 재현성 높은 측정부위를 선택하기에는 어려움이 있을 수 있다.

최근 임플란트의 안정성 평가를 위한 Periotest를 이용한 동요도 측정방법 이외에 Resonance Frequency Analysis (RFA)는 임플란트의 동요도를 측정하기 위한 비접촉식 측정방법으로써 피조 효과를 사용하는 RFA 측정기구(Ostell[®], Integration Diagnostics, AB, Göteborg, Sweden)를 이용하여 측정값은 Implant stability quotient (ISQ)라고 정의하며 1부터 100까지의 범위로 Periotest와는 반대로 높은 수치가 높은 안정성을 의미한다. 현재까지 RFA 값에 영향을 미치는

요소는 골의 밀도, 상, 하악의 차이, 지대치의 길이와 폭경, 치조골 상방 임플란트의 길이 등이다.^{16,31} Periotest를 이용한 이번 실험 결과와 같이 ISQ 값도 식립토오크와의 높은 상관성이 보고되었으나 임플란트 실패에 대한 민감도는 83 - 100%로 식립 시 임플란트의 성공 여부 결정에 대해서는 다양한 결과가 보고되었다.^{10,32}

골-임플란트 접촉면의 제거 토오크의 측정과 더불어 조직계측학적 평가는 임플란트의 안정성에 믿을 만한 결과를 보여주지만 미니임플란트의 제거로 인하여 이번 실험에서는 조직계측분석은 함께 분석하지 못하였다. Nkenke 등³³은 인간 카테마에 임플란트를 식립하고 조직계측학적 분석과 더불어 식립 토오크, periotest, RFA 값 등을 측정하여 그 상관성을 비교 연구하였는데 조직계측학적 분석과 상관성을 갖고 있는 수치는 없었으며 측정치 간의 비교에서도 서로 상관성이 없다고 하였다. 다만 RFA와 임플란트가 식립된 치밀골층의 길이와는 상관성이 있다고 하였다. Schliephake 등³⁴도 조직계측학적 분석과 RFA와는 상호 연관성이 없다고 보고하였다.

임플란트 영역에서 동요도 시험은 식립 후 초기 고정기간이 지난 후 임플란트와 골 간의 유착을 확인하기 위한 예측도구로써 사용되어 왔으며 교정용 미니임플란트에 응용하였을 경우에도 안정성의 예측인자로 제한적으로 사용할 수 있다는 사실을 확인하였다. 그러나 한 시점에서의 수치가 임플란트 안정성에 대한 절대적 예측값을 의미하지는 못하며 반복적인 계측값을 통해 예측해야 한다는 사실을 인지해야 한다. 이번 실험결과에서 하악에서 높은 피질골 두께와 골밀도가 예측되었으며 이러한 변수들과 동요도와의 상관성이 관찰되었으나 실지로 미니임플란트의 탈락률은 하악에서 높다는 사실을 감안할 때^{35,36} 임플란트의 안정성과 관련된 여러 요소들도 함께 고려해야 한다. 따라서 동요도 측정은 미니임플란트의 안정성에 대한 직접적인 예측보다는 식립 시 주변골의 상태를 간접적으로 측정할 수 있는 보조적인 수단임을 고려해야 할 것이다.

결론

Periotest[®]는 사용방법이 단순하고 식립 후에도 연속적으로 동요도 검사를 할 수 있다는 장점이 있어 미니임플란트의 안정성 평가에 사용이 편리하다. 본 연구는 즉시 부하 미니임플란트에 대한 Periotest[®]의 동요도 측정값의 유효성을 검증하기

위해 성견 5마리의 상악, 하악 협측골에 교정용 미니임플란트 60개를 식립하고 실험 동물에 대한 CT 촬영을 통하여 미니임플란트 식립부위의 골밀도와 피질골 두께 및 식립 및 제거 시에 토오크와의 상관성을 검증하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 골밀도와 피질골 두께에 있어 하악골 치조골이 상악골에 비해 유의하게 컸다 ($p < 0.05$)
2. 동요도 측정에 대한 재현성은 0.96의 상관계수를 나타내 매우 높았다 ($p < 0.001$).
3. 12주 동안 PTV는 -3.2에서 4.8의 범위를 나타내며 모든 임플란트는 실험적으로 안정적이었다.
4. 식립 시 PTV는 하악에서 식립 토오크(-0.51), 골밀도(-0.48), 피질골 두께(-0.42)와 상관성이 있었으나 ($p < 0.05$), 상악에서는 상관성을 보이지 않았다.
5. 제거 시 PTV는 하악에서 제거 토오크(-0.66)와 상관성이 있었으며 ($p < 0.05$), 상악에서는 상관성이 없었다.

이상의 결과로 Periotest[®]를 이용하여 교정용 미니임플란트의 안정성을 측정할 수 있었으나 골밀도가 높고 피질골이 두꺼운 부위에서 제한적으로 응용할 수 있음을 시사한다. 따라서 동요도 측정은 미니임플란트의 안정성에 대한 예측인자보다는 식립 시 주변골의 상태를 간접적으로 측정할 수 있는 보조적인 수단임을 고려해야 할 것이다.

참고문헌

1. Huja SS, Litsky AS, Beck FM, Johnson KA, Larsen PE. Pull-out strength of monocortical screws placed in the maxillae and mandibles of dogs. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2005;127:307-13.
2. Huja SS, Katona TR, Burr DB, Garetto LP, Roberts WE. Microdamage adjacent to endosseous implants. *Bone* 1999;25: 217-22.
3. Roberts WE, Simmons KE, Garetto LP, DeCastro RA. Bone physiology and metabolism in dental implantology: risk factors for osteoporosis and other metabolic bone diseases. *Implant Dent* 1992;1:11-21.
4. Chen Y, Shin HI, Kyung HM. Biomechanical and histological comparison of self-drilling and self-tapping orthodontic micro-implants in dogs. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;133: 44-50.
5. Brown GA, McCarthy T, Bourgeault CA, Callahan DJ. Mechanical performance of standard and cannulated 4.0-mm cancellous bone screws. *J Orthop Res* 2000;18:307-12.
6. Heidemann W, Gerlach KL, Gröbel KH, Köllner HG. Influence of different pilot hole sizes on torque measurements and pullout analysis of osteosynthesis screws. *J Craniomaxillofac Surg* 1998;26:50-5.
7. Miyawaki S, Koyama I, Inoue M, Mishima K, Sugahara T, Takano-Yamamoto T. Factors associated with the stability of titanium screws placed in the posterior region for orthodontic anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003;124:373-8.
8. Schulte W, d'Hoedt B, Lukas D, Muhlbradt L, Scholz F, Bretsch J, et al. Periotest--a new measurement process for periodontal function. *Zahnärztl Mitt* 1983;73:1229-40.
9. van Steenberghe D, Quirynen M. Reproducibility and detection threshold of peri-implant diagnostics. *Adv Dent Res* 1993;7: 191-5.
10. Friberg B, Sennerby L, Meredith N, Lekholm U. A comparison between cutting torque and resonance frequency measurements of maxillary implants. A 20-month clinical study. *Int J Oral Maxillofac Surg* 1999;28:297-303.
11. Alsaadi G, Quirynen M, Michiels K, Jacobs R, van Steenberghe D. A biomechanical assessment of the relation between the oral implant stability at insertion and subjective bone quality assessment. *J Clin Periodontol* 2007;34:359-66.
12. Schulte W, Lukas D. Periotest to monitor osseointegration and to check the occlusion in oral implantology. *J Oral Implantol* 1993;19:23-32.
13. Schulte W, Lukas D. The Periotest method. *Int Dent J* 1992;42:433-40.
14. Kim JW, Chang YI. Effects of drilling process in stability of micro-implants used for the orthodontic anchorage. *Korean J Orthod* 2002;32:107-15.
15. Park SH, Kim SH, Ryu JH, Kang YG, Chung KR, Kook YA. Bone-implant contact and mobility of surface-treated orthodontic micro-implants in dogs. *Korean J Orthod* 2008;38: 416-26.
16. Meredith N, Alleyne D, Cawley P. Quantitative determination of the stability of the implant-tissue interface using resonance frequency analysis. *Clin Oral Implants Res* 1996;7:261-7.
17. Tricio J, Laohapand P, van Steenberghe D, Quirynen M, Naert I. Mechanical state assessment of the implant-bone continuum: a better understanding of the Periotest method. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1995;10:43-9.
18. Truhlar RS, Morris HF, Ochi S. Stability of the bone-implant complex. Results of longitudinal testing to 60 months with the periotest device on endosseous dental implants. *Ann Periodontol* 2000;5:42-55.
19. Truhlar RS, Lauciello F, Morris HF, Ochi S. The influence of bone quality on periotest values of endosseous dental implants at stage II surgery. *J Oral Maxillofac Surg* 1997;55(12 Suppl 5):55-61.
20. Kim JW, Ahn SJ, Chang YI. Histomorphometric and mechanical analyses of the drill-free screw as orthodontic anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2005;128:190-4.
21. Chavez H, Ortman LF, DeFranco RL, Medige J. Assessment of oral implant mobility. *J Prosthet Dent* 1993;70:421-6.
22. Olivé J, Aparicio C. Periotest method as a measure of osseointegrated oral implant stability. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1990;5:390-400.
23. Salonen MA, Raustia AM, Kainulainen V, Oikarinen KS. Factors related to periotest values in endosseal implants: a

- 9-year follow-up. *J Clin Periodontol* 1997;24:272-7.
24. Tricio J, van Steenberghe D, Rosenberg D, Duchateau L. Implant stability related to insertion torque force and bone density: an in vitro study. *J Prosthet Dent* 1995;74:608-12.
 25. van Steenberghe D, Tricio J, Naert I, Nys M. Damping characteristics of bone-to-implant interfaces. A clinical study with the periotest device. *Clin Oral Implants Res* 1995;6:31-9.
 26. Brånemark R, Öhrnell LO, Nilsson P, Thomsen P. Biomechanical characterization of osseointegration during healing: an experimental in vivo study in the rat. *Biomaterials* 1997;18:969-78.
 27. Deguchi T, Nasu M, Murakami K, Yabuuchi T, Kamioka H, Takano-Yamamoto T. Quantitative evaluation of cortical bone thickness with computed tomographic scanning for orthodontic implants. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;129:721.e7-12.
 28. Carr AB, Papazoglou E, Larsen PE. The relationship of Periotest values, biomaterial, and torque to failure in adult baboons. *Int J Prosthodont* 1995;8:15-20.
 29. Aparicio C, Orozco P. Use of 5-mm-diameter implants: periotest values related to a clinical and radiographic evaluation. *Clin Oral Implants Res* 1998;9:398-406.
 30. Haas R, Bernhart T, Dörtbudak O, Mailath G. Experimental study of the damping behaviour of IMZ implants. *J Oral Rehabil* 1999;26:19-24.
 31. Huang HM, Chiu CL, Yeh CY, Lee SY. Factors influencing the resonance frequency of dental implants. *J Oral Maxillofac Surg* 2003;61:1184-8.
 32. Al-Nawas B, Wagner W, Grötz KA. Insertion torque and resonance frequency analysis of dental implant systems in an animal model with loaded implants. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2006;21:726-32.
 33. Nkenke E, Hahn M, Weinzierl K, Radespiel-Tröger M, Neukam FW, Engelke K. Implant stability and histomorphometry: a correlation study in human cadavers using stepped cylinder implants. *Clin Oral Implants Res* 2003;14:601-9.
 34. Schliephake H, Sewing A, Aref A. Resonance frequency measurements of implant stability in the dog mandible: experimental comparison with histomorphometric data. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2006;35:941-6.
 35. Moon CH, Lee DG, Lee HS, Im JS, Baek SH. Factors associated with the success rate of orthodontic miniscrews placed in the upper and lower posterior buccal region. *Angle Orthod* 2008;78:101-6.
 36. Park HS, Jeong SH, Kwon OW. Factors affecting the clinical success of screw implants used as orthodontic anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;130:18-25.

The validation of Periotest values for the evaluation of orthodontic mini-implants' stability

Jung-Yul Cha, DDS, MSD, PhD,^a Hyung-Seog Yu, DDS, MSD, PhD,^b
Chung-Ju Hwang, DDS, MSD, PhD^b

Objective: The aim of this study was to validate the Periotest values for the prediction of orthodontic mini-implants' stability. **Methods:** Sixty orthodontic mini-implants (7.0 mm x Ø1.45 mm; ACR, Biomaterials Korea, Seoul, Korea) were inserted into the buccal alveolar bone of 5 twelve month-old beagle dogs. Insertion torque (IT) and Periotest values (PTV) were measured at the installation procedure, and removal torque (RT) and PTV were recorded after 12 weeks of orthodontic loading. To correlate PTV with variables, the cortical bone thickness (mm) and bone mineral density (BMD) within the cortical bone and total bone area were calculated with the help of CT scanning. **Results:** The BMD and cortical bone thickness in mandibular alveolus were significantly higher than those of the maxilla ($p < 0.05$). The PTV values ranged from -3.2 to 4.8 for 12 weeks of loading showing clinically stable mini-implants. PTV at insertion was significantly correlated with IT (-0.51), bone density (-0.48), cortical bone thickness (-0.42) ($p < 0.05$) in the mandible, but showed no correlation in the maxilla. PTV before removal was significantly correlated with RT (-0.66) ($p < 0.01$) in the mandible. **Conclusions:** These results show that the periotest is a useful method for the evaluation of mini-implant stability, but it can only be applied to limited areas with thick cortical and high density bone such as the mandible. (*Korean J Orthod* 2010;40(3):167-175)

Key words: Periotest, Orthodontic mini-implants, Insertion torque, Mobility

^aAssitant Professor, ^bProfessor, Department of Orthodontics, College of Dentistry, Yonsei University.

Corresponding author: Chung-Ju Hwang.

Department of Orthodontics, College of Dentistry, Yonsei University, 250, Seongsan-ro, Seodaemun-gu, Seoul 120-752, Korea.

+82 2 2228 3106; e-mail, hwang@yuhs.ac.

Received December 12, 2008; Last Revision October 9, 2009; Accepted October 12, 2009.