

5

성견에서 사다리꼴형 디자인과 미세나사선을 가진 단폭경임플란트의 골유착 평가: 예비연구

¹전북대학교 치의학전문대학원 치주과학교실, 구강생체과학연구소, ²인하국제의료센터 치주과
장 윤 영², 윤 정 호¹

ABSTRACT

Evaluation of narrow-diameter implant with trapezoid-shape design and microthreads in beagle dogs: A pilot study

¹Department of Periodontology, School of Dentistry and Institute of Oral Bioscience, Chonbuk National University, Jeonju

²Division of Periodontology, Department of Dentistry, Inha International Medical Center, Incheon
Yun-Young Chang², Jeong-Ho Yun¹

Objective: The objective of this study was to evaluate the osseointegration of narrow-diameter implant with trapezoid-shape and to evaluate the effect of coronal microthreads on trapezoid-shape narrow-diameter implant.

Materials and Methods: The experimental narrow-diameter implants were classified into two groups according to absence or presence of coronal microthreads: trapezoid-shape narrow diameter implant (TN group) and trapezoid-shape narrow-diameter implant with microthreads (TNM group). They were installed alternately in bilateral mandible in three dogs. After 8 weeks, the animals were sacrificed. Resonance frequency analysis, removal torque test, and histometric analysis were performed.

Results: Statistically higher implant stability quotient (ISQ) values were observed in TNM group than in TN group at the time of implant installation. However, significant ISQ values difference was not observed between groups at 8 weeks. Both groups showed significantly increased ISQ values at 8 weeks, compared to the time of implant installation. There was no significant difference between groups in removal torque test. Bone-implant contact ratio also showed no significant difference between groups in total and coronal part.

Conclusion: Within the limitation of this study, it could be concluded that the trapezoid-shape design on narrow-diameter implant showed successful osseointegration, and the microthreads on coronal part did not result in significant bone-implant contact and biomechanical stability at 8 weeks.

Key words : Osseointegration, narrow-diameter implant, microthread, histology, Animal

Corresponding Author

Jeong-Ho Yun, BS, DDS, PhD

Department of Periodontology, School of Dentistry, Chonbuk National University

567, Baekje-daero, Deokjin-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do, 54896 Republic of Korea.

Tel. : +82-63-250-2289, Fax : +82-63-250-2289, E-mail : grayheron@hanmail.net

연구비 지원 : 본 논문은 산업통상자원부 산업융합원천기술개발사업으로 지원된 연구결과임 (10044976).

I. 서론

단폭경임플란트(narrow-diameter implant)는 주로 얇은 치조제를 가진 전치부 혹은 치간 간격이 작은 무치악 치조제에 사용되어 왔다. 수평적 골흡수가 있는 치조제에 단폭경임플란트의 식립은 골열개 결손(dehiscence defect)을 최소화 할 수 있고 침습적인 재생술식으로 인한 술 후 합병증을 감소시킬 수 있다. 그렇지만 단폭경임플란트 고정체의 파절 위험성¹⁾ 및 치조제 정상부에서의 응력집중과²⁾ 상대적으로 작은 주변골과의 접촉 면적 등은 단폭경임플란트에서 선결되어야 할 과제이다.

수평적 골흡수가 동반된 구치부 무치악 치조제 수복을 위해 단폭경임플란트를 이용한 연구들이 진행되어 왔지만 주로 임플란트 고정체 재료의 개발에 초점이 맞춰져 왔다³⁻⁵⁾. 이에 반해 최근에는 임플란트 디자인을 변형한 단폭경임플란트가 개발되었다⁶⁾. 이는 전통적인 원통형 혹은 치근형(root form)의 형태가 아닌 흡사 사다리꼴 형태의 디자인을 가지는 임플란트 고정체이다. 이 사다리꼴 형태는 임플란트의 최상부(platform)에서 첨부(apex)로 갈수록 나사선의 길이 증가하는 디자인으로, 하방 나사선은 전통적인 임플란트 나사선 보다 상대적으로 긴 형태를 지닌다. 단폭경임플란트에 사다리꼴 디자인을 고안한 이유는, 우선 수평적 흡수를 보이는 치조제에서 상부의 폭경이 작은 단폭경임플란트의 식립은 골열개 결손을 최소화 할 수 있기 때문이다. 아울러, 하방의 긴 나사선에 의해 적절한 식립 고정과 기능적인 골 접촉 면적을 획득 할 수 있다. 이는 발치후에 치조제는 일반적으로 상부에서 골흡수가 현저하고 치조제 하방에서는 상대적으로 골흡수가 적은 치유과정을 보이기 때문이다⁷⁾. 사다리꼴형 디자인 하방부의 긴 나사선은 해면골에서의 충분한 골 접촉을 통해 응력 분산의 효과도 기대해 볼 수 있다⁸⁾.

임플란트 변연골은 임플란트의 장기적 성공을 판단

하는 중요한 기준이다⁹⁾. 임플란트 변연부는 상부 보철 지대주(abutment)와 고정체가 접하는 부분이며 교합력 작용 시 응력이 집중되는 부분이기도 하고¹⁰⁾ 임플란트 주위염(peri-implantitis)이 시작되는 부분이기도 하다. 이전 연구자들은 임플란트 변연골의 보존을 위하여 임플란트의 상부 디자인 개발에 많은 연구들을 시행하였으며 Hansson(1999)등¹¹⁾이 처음 제시한 임플란트 상부 미세나사선(microthread) 또한 그 노력 중 하나이다. Abrahamsson(2006)등¹²⁾은 임플란트 상부 미세나사선을 가진 거친 표면 임플란트(rough surface implant)와 나사선이 없는 거친 표면 임플란트를 비교하여, 미세나사선을 가진 거친 표면 임플란트에서 통계적으로 낮은 변연골 흡수량이 나타남을 보고하였다. 생역학(biomechanical) 연구에서도 상부 미세나사선이 기능적 부하 시 골-임플란트 계면에서 전단응력(shear strength)을 감소시킨다고 보고된 바 있다^{1, 13)}. 단기 임상연구들에서도 임플란트 거친 표면과 미세나사선이 변연골 유지에 기여할 수 있음이 보고되었다^{14, 15)}. 하지만 미세나사선의 연구는 주로 생역학 모델이나 보철수복후 교합력이 가해지는 실험조건에서 주로 시행되었으며, 골유착(osseointegration) 형성시기에 미세나사선을 평가한 연구는 부족한 실정이다.

본 연구의 목적은 사다리꼴형 디자인을 가지는 단폭경임플란트의 골유착과 사다리꼴형 디자인에 첨가된 미세나사선의 효과를 성견 실험 모델을 통해 평가하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1) 실험동물

총 3마리의 비글 성견이 이용되었다. 비글 성견은 평균 12개월 생이었으며 대략 14kg의 몸무게를 보였. 특이할 만한 전신질환은 없었으며 건강한 치열과

치주조직을 가지고 있었다. 실험기간 동안 개개의 사육장에서 표준화된 실험실 환경에 의해 보관되었으며 자유로운 수분섭취가 제공되었다. 동물실험의 선택, 관리, 수술 술식 등은 한국동물의과학 연구소의 실험동물 관리와 사용에 관한 위원회의 승인을 거친 지침에 따라 시행되었다.(승인번호: 13-KE-072)

2) 임플란트 고정체 디자인 및 표면처리

본 실험에 사용된 단폭경임플란트는 모두 사다리꼴형 디자인을 가지고 있다. 육안으로 보았을 때 치근형태의 임플란트 중심체(core)에 하방으로 갈수록 길어지는 나사선의 형태가 나타나기 때문에 전반적으로는 사다리꼴의 형태의 디자인을 갖추게 된다(Fig. 1a). 이 디자인은 크게 상부와 하부 거대나사선 부분으로 나뉜다. 상부는 단폭경임플란트 최상방 지점에서 하방으로 1.5 mm 수직거리에 해당되는 부분이며, 상부 최상방은 직경 2.8 mm의 플랫폼(platform) 폭경으로 가지고 있다. 하부 거대나사선 부분은 상부 최하지점에서 단폭경임플란트 첨부까지 해당되는 영역이며 거대나사선이 출현한다. 거대나사선은 첨부로 진행될수록 높이(height)가 증가하며 첨부 1/3 지점에서 약 1.4 mm의 최대높이를 보인다. 또한 이 지점에서 사다리꼴형 디자인 단폭경임플란트의 최대 외경인 4.5 mm가 측정된다. 또한 거대나사선은 나선형(spiral shape)의 나사선모양을 가지고 있으며 인접 거대나사선사이의 간격(pitch)은 1.1 mm이다. 임플란트 하부로 진행할수록 높이가 증가하는 거대나사선 때문에 이 단폭경임플란트는 사다리꼴 형태를 보이게 된다.

본 실험에서는 두 종류의 사다리꼴형 단폭경임플란트가 사용되었다. 두 사다리꼴형 단폭경임플란트의 차이점은 임플란트 상부에서 미세나사선의 존재 유무이다. 임플란트 상부에 나사선이 없는 사다리꼴형 단폭경임플란트(ThinRidge[®], Megagen Co. Ltd., 직경 2.8 mm, 길이 8 mm)와 미세나사선이 첨가된

사다리꼴형 미세나사선 단폭경임플란트(ThinRidge[®], Megagen Co. Ltd., 직경 2.8 mm, 길이 8 mm)가 비교 연구되었다. 미세나사선의 나사선 높이는 0.2 mm 이며 미세나사선 사이의 간격은 0.35 mm 이다. 한편 두 사다리꼴형 단폭경임플란트의 표면은 동일한 방식으로 처리 되었다. 샌드블라스팅(Sandblasting)과 산부식(Acid etching)으로 인해 거칠어진 표면에 나노입자의 칼슘이온을 침착시킨 표면을 가지고 있으며, 이 표면 처리방법은 이전 연구들에서 보고된바 있다^{16, 17}. 먼저 샌드블라스팅과 산부식으로 처리된 티타늄 표면을 0.2 M 수산화나트륨(NaOH)과 2mM 산화 칼슘(CaO)을 포함하는 액체에 섞어 180℃에서 24시간 처리 후 탈이온수(deionized water)로 세척하고 공기중에 건조시킨다. 이후 감마 방사선에 처리에 의한 소독처리과정을 거쳤다.

3) 수술과정

수술 전 모든 실험동물에게 1주일의 적응기간이 제공되었다. 먼저 임플란트 식립 2개월 전에 전신마취하에 발치가 시행되었다. Tiletamine/zolazepam (Zoletil; Virbac, Carros, France) 과 xylazine (Rumpun; Bayer, Seoul, Korea)을 동일한 비율로 섞은 후 0.1mg/kg 정맥주사하여 전신마취를 유도하였다. 2% povidone-iodine으로 구강내를 소독하고 리도카인을 이용한 국소마취(2% lidocaine HCl with 1:100,000 epinephrine, Kwangmyung Pharmaceutical, Seoul, Korea)가 시행되었다. 치아 분할술(odontomy)을 통하여 양쪽 하악 4개의 소구치와 제1대구치가 발거되었으며 발치와는 흡수성 나일론(Monosyn 4.0 Glyconate Monofilament; B.Braun, Tuttlingen, Germany)으로 봉합되었다. 감염조절 및 통증감소를 위해 항생제와 비스테로이드성 소염진통제가 5일 동안 투약되었다. 2개월간의 치유기간을 가진 후 치

아 발거때와 같은 전신마취하에 임플란트 식립수술이 시행되었다. 발치부위 치조제의 완전한 치유를 확인 후 치조정 절개가 견치 후방에서 제2대구치 전방까지 시행되었다. 치은치조점막을 거상 후 미리 예정된 실험설계에 따라 하악 양측에 무작위 방식으로 사다리꼴형 단폭경임플란트와 사다리꼴형 미세나사선 단폭경 임플란트를 번갈아 식립 하였으며 치조제의 근원신 간격을 고려하여 하악 편측당 4개 내지 5개의 실험임플란트를 식립하였다. 제조사의 지시에 따라 생리식염수 주수 하에 먼저 가이드 드릴링(guide drilling) 시행 후 최종 2.8 mm 트위스트 드릴링(twist drilling)까지 연속적으로 시행하였다. 이후 직경 3.5 mm 탭핑 드릴(tapping drill) 을 이용한 골 탭핑(tapping)이 50 Ncm의 토크로 시행되었으며, 차례로 직경 4.5 mm의 탭핑 드릴(tapping drill) 을 이용하여 이차 골 탭핑 (tapping)이 50 Ncm의 토크로 시행되었다(Fig. 1c). 최종적으로 사다리꼴형 단폭경임플란트와 사다리꼴형 미세나사선 단폭경임플란트를 식립하였다(Fig. 1b). 덮개나사(cover screw)를 체결 후 치은치조점막을 재위치 시킨 다음 흡수성

나일론(Monosyn 4.0 Glyconate Monofilament; B.Braun, Tuttlingen, Germany)을 이용하여 수평매트리스 봉합(horizontal mattress) 혹은 단속봉합(interrupted)을 시행하였다. 감염예방 및 통증조절을 위하여 항생제와 비스테로이드성 소염진통제를 5일동안 투약하였고 유동식이 14일동안 공급되었다. 매일 수술부위에 0.12% 클로르헥시딘 소독이 시행되었고 술 후 7일째에 발사하였다. 술 후 8주후 전신마취하에 액와동맥 및 정맥(auxillary artery and vein)을 절단하여 실험동물을 희생하였으며, 양측 하악골을 절제하여 실험부위를 포함하는 블록을 형성하였다. Removal torque test을 위하여 각군당 조직블록 5개를 임의적으로 선택하여 사용하였고, 나머지 조직 블록들은 조직학 및 조직계측학적 평가를 위하여 10% 중성으로 완충된 포르말린 용액(neutral-buffered formalin)에 10일동안 고정시켰다.

4) Resonance Frequency Analysis

식립된 모든 임플란트 고정체에 대해서

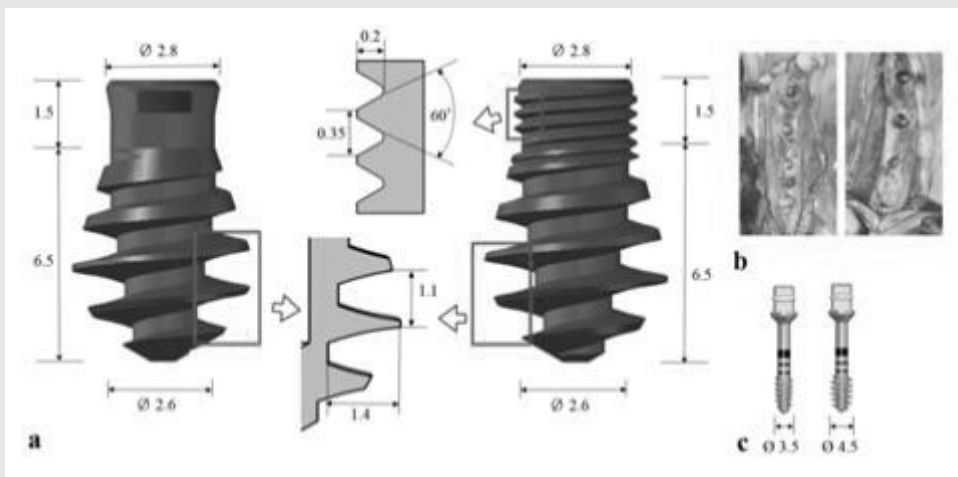


Fig. 1. a) Schematic images of trapezoid-shape narrow-diameter implant (TN)(left) and trapezoid-shape narrow-diameter implant with microthreads (TNM)(right). b) Clinical photograph of alternate TN and TNM installations in bilateral mandible. c) Tapping drills with 3.5 mm and 4.5 mm in diameter

resonance frequency analysis가 시행되었으며 이를 위해 시중 공명주파수 장치(Osstell Mentor; Integration DiagnosticsAB, Göteborg, Sweden)을 이용하여 Implant stability quotient(ISQ)을 측정하였다. ISQ 측정은 임플란트 식립시와 술 후 8주 희생 시 시행되었으며, 협측과 근심측에서 측정하여 평균값을 기록하였다.

5) Removal Torque Test

식립된 단폭경임플란트에 대해 removal torque test가 술 후 8주 희생시 시행되었다. 단폭경임플란트의 덮개 나사를 제거 후 연조직의 개재가 없도록 하여 고정체 상부를 완전히 노출시켰다. 이후 움직임이 없도록 임플란트를 포함한 블록을 확실히 하부 고정시켰다. 임플란트 상부와 제거력 측정기를 체결하고 일정한 속도로 반시계방향으로 회전력을 부여하였으며 임플란트가 제거되는 최고 측정치 값을 removal torque 값으로 기록하였다.

6) 조직학 및 조직계측학적 평가

포르말린에 고정된 조직 블록은 비탈회 염색방법을

시행하기 위하여 먼저 연속적으로 증가하는 농도의 에탄올에 적용시켜 탈수 시킨 후 methyl-methacrylate(Technovit 7200; Kulzer, Heraeus, Germany)에 삽입시켰다. 삽입된 조직 블록은 다이아몬드 톱(EXAKT cutting system 310 and micro-grinding system 400; Apparatebau, Norderstedt, Germany)을 이용하여 협설 방향으로 30~50 μm 의 두께를 가진 조직으로 깎았으며 가장 중앙에 위치한 조직을 선택하였다. 선택된 조직편은 Villanueva 염색을 시행하였으며 광학현미경(Axioscope A1 and AxioCam HRc; Zeiss, Jena, Germany)하에 관찰되었다.

조직계측을 통해 골-임플란트 계면 접촉 비율(Bone-implant contact ratio, BIC, %)을 평가하였다. BIC는 임플란트 표면에 직접적으로 접촉하고 있는 골(bone)의 길이 비율을 측정한 값이며 단폭경 임플란트 전체 길이와 상부 부분(1.5mm)에서 각각 측정하였다(Fig. 2).

7) 통계

계측치는 중간값(95% 신뢰구간) (Median(95%

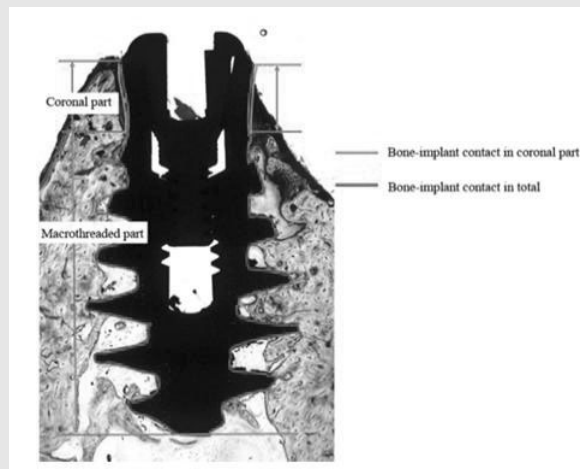


Fig. 2. Histologic schematic image showing histometric reference point. Bone-implant contact ratio (BIC, %) was measured in coronal part and total implant length, respectively.

confidence interval))으로 표현되었으며, 두 실험군간의 비교, 동일군에서 임플란트 식립시기와 8주 경과시점과의 비교를 위해 $p < 0.05$ 의 유의성으로 비모수 검정인 Mann-Whitney test을 이용하였다.

Ⅲ. 결과

1) 임상관찰

실험동물은 실험기간 내내 생존하였으며 수술부위는 특이할 만한 창상감염, 염증 소견은 보이지 않고 치유되었다. 총 26개의 단폭경임플란트가 식립되었으며 골유착 실패 소견은 관찰되지 않았다.(사다리꼴형 단폭경임플란트군: 13개, 사다리꼴형 미세나사선 단폭경임플란트군 13개)

2) Resonance Frequency Analysis

임플란트 식립시 사다리꼴형 단폭경임플란트와 사다리꼴형 미세나사선 단폭경임플란트의 ISQ 값은 각각 58.5(53.5 ~ 60.5)와 65.0(61.3 ~ 67.4)이었으며 사다리꼴형 미세나사선 단폭경임플란트의 ISQ값이 통계적으로 유의하게 높았다($p = 0.003$). 식립 8주후 두 실험군 간의 ISQ 값은 각각 73.0(70.5 ~ 74.2)와 71.0 (69.2 ~ 72.9)으로 두 군간 통계적으

로 유의한 ISQ 값의 차이는 관찰되지 않았다. 동일 실험군에서 임플란트 식립시와 8주 경과시 ISQ 비교결과, 두 군에서 모두 8주 경과 시 ISQ 값이 임플란트 식립 시 보다 통계적으로 유의하게 증가되었다(사다리꼴형 단폭경임플란트군: $p < 0.0001$, 사다리꼴형 미세나사선 단폭경임플란트군: $p = 0.0007$)(Table 1).

3) Removal Torque Test

8주경과 시 사다리꼴형 단폭경임플란트와 사다리꼴형 미세나사선 단폭경임플란트의 removal torque 값은 75.0(70.7 ~ 77.5) Ncm와 75.0(73.7 ~ 81.7) Ncm으로 각각 측정되었으며 통계적으로 유의한 차이는 관찰되지 않았다 (Table 1).

4) 조직학 및 조직계측학적 평가

사다리꼴형 단폭경임플란트의 상부 나사선이 없는 표면과 하부 거대 나사선의 표면을 따라 신생골이 부착되는 소견을 보이고 있었다(Fig. 3). 원골(native bone)이 치밀한 개체에서는 골 탭핑(tapping)으로 인한 나사선의 골삭제 경계가 관찰되면서 이 경계부위부터 신생골 형성이 이루어져 reversal line이 형성되기도 하였다. 골 탭핑(tapping)의 경계에서부터 시작된 신생골 형성이 사다리꼴형 단폭경임플란트 표면에 부착되는 소견이 관찰되었다. 해면골

Table 1. Resonance frequency analysis and removal torque test in TN and TNM groups. Median (95% confidence interval)

	TN	TNM
ISQ (n = 13)		
Baseline	58.5 (53.5 to 60.5)	65.0 (61.3 to 67.4)*
8 weeks	73.0 (70.5 to 74.2)†	71.0 (69.2 to 72.9)†
Removal torque (Ncm, n = 5)		
8 weeks	75.0 (70.7 to 77.5)	75.0 (73.7 to 81.7)

* statistically significant difference when compared to TN in same healing period

† statistically significant difference when compared to baseline in same group

ISQ: implant stability quotient, TN: trapezoid-shape narrow-diameter implant, TNM: trapezoid-shape narrow-diameter implant with microthreads

(cancellous bone)이 풍부한 개체에서는 원골 (native bone)과 임플란트 표면 사이 공간을 가로지른 신생골 형성을 관찰할 수 있었다(Fig. 3a). 신생골은 광화 (mineralization)가 진행되고 있었으며 골세포 (osteocyte)가 쉽게 관찰되었다(Fig. 3b).

사다리꼴형 미세나사선 단폭경임플란트 또한 미세

나사선과 거대나사선의 표면을 따라 신생골이 형성되어 부착되는 소견이 관찰되었다(Fig. 4). 골 탭핑 (tapping)으로 인한 나사선의 골삭제 형태 역시 관찰되었으며, 골삭제 경계부위에서부터 신생골이 형성되는(Fig. 4a) 반면에 해면골이 풍부한 개체에서는 원골 (native bone)에서부터 불규칙한 모양을 가진 신

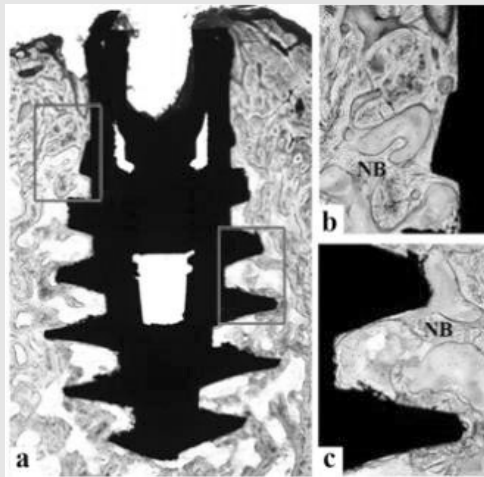


Fig. 3. a) Low-magnified histologic photograph of TN. The newly formed bone originated from the native bone was attached to the coronal nonthreaded surface and macrothreaded surface. Unfilled gap between native bone and coronal nonthreaded surface was observed. b and c) The newly formed bone was intimately attached to the surface, showing osteocytes. (NB: newly formed bone, Villaneuva stain, a x 20, b and c x 100)

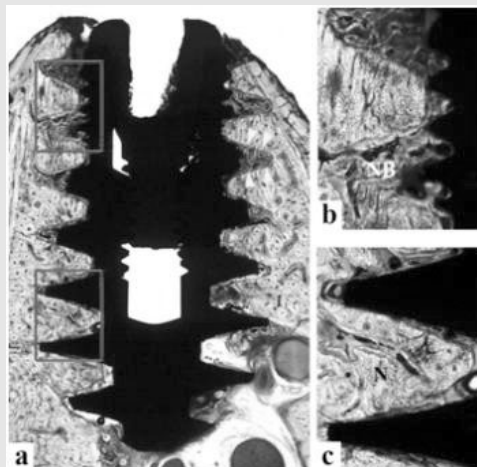


Fig. 4. a) Low-magnified histologic photograph of TNM. The newly formed bone originated from the native bone was also integrated to the coronal microthreaded surface and macrothreaded surface. The tapping osteotomy margin could be observed. b) The newly formed bone projected to the microthreads. c) The native bone was connected to the macrothreaded surface with newly formed bone. (NB: newly formed bone, N: native bone, yellow arrowhead: tapping osteotomy margin, Villaneuva stain, a x 20, b and c x 100).

생골이 사다리꼴형 미세나사선 단폭경임플란트의 미세나사선과 거대나사선의 표면을 향해 자라나는 소견이 관찰되었다.

임플란트 전체길이에 대한 사다리꼴형 단폭경임플란트군과 사다리꼴형 미세나사선 단폭경임플란트군의 BIC(%)는 각각 44.44(33.04 to 52.16) %와 36.21(23.15 to 60.32) % 이었으며 통계적으로 유의한 차이는 관찰되지 않았다. 임플란트 상부에서의 두 군의 BIC(%)는 각각 23.05(0 to 45.43) %와 27.17(9.84 to 54.73) %이었으며, 역시 통계적으로 유의한 차이는 관찰되지 않았다(Table 2).

IV. 고찰

사다리꼴형 디자인의 단폭경임플란트는 수평적으로 흡수된 무치악 치조제를 최소한의 골재생술 혹은 골재생술 없이 수복하기 위해 고안된 임플란트이다. 치조제 상방으로는 수평적 골흡수를 보이지만 치조제 하방에서는 정상 혹은 약간의 흡수만 진행되어 사다리꼴형 디자인의 단폭경임플란트 식립시에도 하방 거대나사선의 노출이 없는 구치부 무치악 부위가 사다리꼴형 디자인을 가지는 단폭경임플란트의 적응증이 될 수 있다. 강한 교합력이 작용하는 무치악 구치부 수복을 위해서는 통상적으로 최소 4.5 mm 이상의 장폭경임플란트(wide-diameter implant)가 이용되어야 하고, 장폭경임플란트의 식립을 위해서는 임플란트 폭경과 매우 근접한 트위스트 드릴링(twist

drilling)과 경우에 따라서는 치조제 상방 드릴링(crestal drilling) 또한 필요하다. 때문에 장폭경임플란트 식립과 사다리꼴형 디자인의 단폭경임플란트 식립을 비교해볼 때 치조제 상부에서의 골삭제량 및 나사선 노출의 정도가 장폭경임플란트 식립 시에 좀 더 많을 것으로 추정된다. 이는 결과적으로 골재생술의 증가와도 연관된다. 물론 하방 거대나사선의 식립을 위해 3.5 mm 와 4.5 mm 의 탭핑(tapping) 술식이 이용되어야 하고 이로 인해 식립 시 주위 골과의 간극 (gap)이 형성될 수 있다. 그러나 Botticelli 등^{18,19)}은 거친 표면 임플란트 주위 1.25 mm 원형 간극 결손(gap defect)에서도 4개월후 높은 정도의 골유착이 형성됨을 보고하였다. 따라서 사다리꼴형 디자인의 단폭경임플란트 식립시 발생하는 간극(gap) 또한 장기간 관찰시 골유착이 형성될 수 있음을 추정할 수 있다.

사다리꼴형 디자인에서 단폭경임플란트의 단점으로 지적되었던 상대적으로 낮은 기능적 골 접촉면적을 증가시키기 위해 하방의 거대나사선을 도입하였다⁵⁾. 사다리꼴형 디자인의 단폭경임플란트는 본 연구진에 의해 이전에 선행 연구가 시행된 적이 있다⁶⁾. 본 연구의 사다리꼴형 단폭경임플란트와 전반적인 디자인은 동일하지만 이전 연구의 사다리꼴형 단폭경임플란트는 거대나사선을 포함하는 최대 외경이 5.0 mm 이었으며, 본 연구의 사다리꼴형 단폭경임플란트 보다 최대 외경과 최대 거대나사선 길이가 증가된 형태였다. 이전의 연구에서는 사다리꼴형 단폭경임플란트를 전통적인 치근형임플란트와 4주간의 치유 후 비교 평가하

Table 2. Histometric analysis in TN and TNM groups at 8 weeks. Median (95% confidence interval)

	TN (n = 8)	TNM (n = 8)
BIC (%) in total	44.44 (33.04 to 52.16)	36.21 (23.15 to 60.32)
BIC (%) in coronal part	23.05 (0 to 45.43)	27.17 (9.84 to 54.73)

BIC: bone-implant contact ratio, TN: trapezoid-shape narrow-diameter implant, TNM: trapezoid-shape narrow-diameter implant with microthreads

였으며, 평가결과 임플란트 식립수술시에는 치근형임플란트보다 통계적으로 낮은 ISQ 값을 보였지만 4주 경과 시에는 통계적으로 유의성 없이 동일한 ISQ 값과 BIC(%)를 보여주었다⁶⁾. 조직학적 소견으로는 골 탭핑(tapping) 술식으로 인해 생긴 골삭제 경계에서부터 시작하는 신생골이 원거리 골화(distant osteogenesis)²⁰⁾을 통하여 임플란트 표면에 부착되는 소견을 관찰 할 수 있었으며, 본 연구에서의 두 군의 사다리꼴형 단폭경임플란트에서도 이와 일치하는 조직학적 소견이 관찰되었다. 한편 이전 연구의 사다리꼴형 단폭경임플란트는 통계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았지만, 임플란트 상부에서 치근형임플란트보다 낮은 BIC(%)를 보였다. 이는 거대나사선을 가지고 있는 사다리꼴형 단폭경임플란트를 식립하기 위해 선행된 골 탭핑(tapping) 과정으로 인해 발생된 골삭제 공간이 4주 경과 후에도 골재생 없이 잔존하였기 때문이라고 보고되었다⁶⁾. 본 연구에서는 사다리꼴형 단폭경임플란트 상부에서의 BIC(%)를 높이기 위하여 미세나사선을 첨가하여 비교 평가하였다. 또한 이전 사다리꼴형 단폭경임플란트와 달리 최대외경을 4.5 mm로 감소시켰으며 골 탭핑(tapping) 과정 또한 3단계($\emptyset 3.5 \rightarrow \emptyset 4.2 \rightarrow \emptyset 5.0$) 사용에서 2단계($\emptyset 3.5 \rightarrow \emptyset 4.5$) 사용으로 축소하여 골 탭핑(tapping)으로 인한 골삭제 공간을 줄이고자 하였다.

본 연구에서 사다리꼴형 단폭경임플란트와 사다리꼴형 미세나사선 단폭경임플란트는 8주 치유과정에서 특이할 만한 조직학적 소견의 차이는 발견되지 않았다. 사다리꼴형 단폭경임플란트 상부의 나사선이 없는 표면과 사다리꼴형 미세나사선 단폭경임플란트의 상부 미세나사선 표면에 신생골의 부착이 관찰되었다. BIC(%) 또한 임플란트 전체 표면에서와 상부 1.5mm 부위에서 모두 두 군간의 통계적으로 유의성 있는 차이는 관찰되지 않았다. 이는 8주 치유기간으로 평가했을 시에 사다리꼴형 단폭경임플란트에서 상부 미세나사선의 첨가는 BIC(%)를 증가시키지 않음

을 보여 준다. 한편 resonance frequency analysis 평가결과 임플란트 식립 시 사다리꼴형 미세나사선 단폭경임플란트에서 통계적으로 더 높은 ISQ 값을 보여주었다. 이는 상부 미세나사선이 사다리꼴형 단폭경임플란트의 초기안정성(initial stability)을 높여주는 효과를 가지고 있기 때문인 것으로 사료된다. Resonance frequency analysis는 골과 임플란트 계면의 단단함(stiffness)의 정도에 영향을 받는 것으로 알려져 있다²¹⁾. 임플란트 식립 후 상부 미세나사선에 의해 인접골과 기계적 잠김(mechanical locking) 정도가 증가하여 상부 나사선이 없는 단폭경임플란트와 비교 시 골과 임플란트 계면의 단단함이 증가한 것으로 추정된다. 한편, 8주 경과 시에는 두 군간 ISQ 값의 통계적 유의성은 관찰되지 않았다. 이를 통해 상부 미세나사선이 임플란트 식립 시 초기 안정성에는 영향을 주지만 8주 후 신생골 형성 및 광화(mineralization) 과정으로 형성되는 생물학적 안정성(biological stability)²²⁾에는 유의한 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다. 한편 두 실험군 단폭경임플란트에서 모두 8주 경과시점에서 식립시 보다 통계적으로 높은 ISQ 값을 보여주었다. 이는 전통적인 거친 표면을 가진 치근형임플란트의 ISQ 값의 변화추이와 유사하며 두 실험군 단폭경임플란트에서 공통적으로 신생골 형성과 골유착 과정 그리고 신생골 광화 과정이 진행되어 생물학적 안정성(biological stability) 형성되었음을 알 수 있었다.

골유착된 임플란트와 주변골과의 계면전단응력(interfacial shear strength)을 평가할 수 있는 removal torque test에서는 두 군간의 통계적 유의성이 발견되지 않았다. 골유착이 형성되어 성숙되는 시점에서 상부 미세나사선은 사다리꼴형 단폭경임플란트의 계면전단응력에 영향을 끼치지 않음을 알 수 있었다.

Abrahamsson(2006)등²²⁾은 동물실험에서 미세나사선을 가지는 거친 표면 임플란트가 나사선이 없는

거친 표면 임플란트 보다 임플란트 상부에서 더 높은 BIC(%)을 보인다고 보고하였다. 이는 미세나사선의 영향에 대한 이번 연구의 결과와는 일치하지 않는 결과이다. 이런 상반된 결과는 실험설계와 실험 임플란트 디자인의 차이에 그 원인이 있다고 사료된다. Abrahamsson(2006)등¹²⁾의 연구에서 조직계측학적 BIC(%)측정은 보철 수복 10개월 후에 시행되었지만, 이번 연구에서는 골유착 치유 단계인 8주 경과시점에서 BIC(%)가 측정되어 직접적인 비교는 어려울 것이라 사료된다.

본 연구는 통제된 조건(controlled condition)하에 시행된 동물실험이지만 몇 가지 제한점을 가지고 있다. 우선 각 군당 실험 표본수가 적기 때문에 통계적 검증력이 낮은 편이다. 그러나 본 실험은 이전 사다리꼴형 단폭경임플란트의 문제점을 개선한 요소를 평가한 것에 주 목적이 있었다. 그리고 전통적인 치근형임플란트와 전혀 다른 디자인을 가지고 있다 보니 선행 연구가 적어 표본수가 적은 예비실험으로 우선 진행되었다. 또한 사다리꼴형 디자인의 평가를 위해 실험설계상 전통적인 치근형임플란트와도 비교가 필요하였

으나, 이번 연구에서는 시행되지 않았다. 하지만, 비록 평가기간이 다르지만 이전 연구에서 사다리꼴형 디자인을 가지는 단폭경임플란트가 전통적인 치근형임플란트와 비교 평가 되었고, 실험결과 전통적인 치근형임플란트와 비교할만한 골유착이 관찰되었기 때문에, 본 연구에서는 최소한의 실험동물 수(number)의 사용을 권고하는 윤리지침규정에 근거하여 치근형임플란트를 본 연구의 실험설계에 포함시키지 않았다²³⁾. 본 연구의 결과를 바탕으로 향후 보다 많은 실험 표본수를 대상으로 하는 생역학적 평가, 조직계측학적 평가 및 컴퓨터 단층영상을 이용한 평가가 필요할 것이며 실제 임상상황과 유사하게 치조제 상부가 수평적 흡수를 보이는 무치악 치조제 모델에서도 사다리꼴형 디자인의 단폭경임플란트의 평가가 필요할 것으로 사료된다.

결론적으로, 사다리꼴형 디자인을 가지는 단폭경임플란트는 성공적인 골유착 과정을 나타내었다. 그리고, 상부 미세나사선은 초기안정성을 향상 시켰으나 골-임플란트 계면접촉을 향상시키진 못하였다.

참고 문헌

1. Zinsli B, Sagesser T, Mericske E, Mericske-Stern R. Clinical evaluation of small-diameter ITI implants: a prospective study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2004;19(1):92-99.
2. Ding X, Liao SH, Zhu XH, et al. Effect of diameter and length on stress distribution of the alveolar crest around immediate loading implants. *Clin Implant Dent Relat Res* 2009;11(4):279-287.
3. Kobayashi E, Matsumoto S, Doi H, et al. Mechanical properties of the binary titanium-zirconium alloys and their potential for biomedical materials. *J Biomed Mater Res* 1995;29(8):943-950.
4. Thoma DS, Jones AA, Dard M, et al. Tissue integration of a new titanium-zirconium dental implant: a comparative histologic and radiographic study in the canine. *J Periodontol* 2011;82(10):1453-1461.
5. Anchieta RB, Baldassarri M, Guastaldi F, et al. Mechanical property assessment of bone healing around a titanium-zirconium alloy dental implant. *Clin Implant Dent Relat Res* 2014;16(6):913-919.
6. Chang YY, Kim SH, Park KO, Yun JH. Evaluation of a reverse-tapered design on the osseointegration of narrow-diameter implants in beagle dogs: a pilot study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2016;31:611-620.
7. Schropp L, Wenzel A, Kostopoulos L, Karring T. Bone healing and soft tissue contour changes following single-tooth extraction: a clinical and radiographic 12-month prospective study. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2003;23(4):313-323.
8. Abuhussein H, Pagni G, Rebaudi A, Wang HL. The effect of thread pattern upon implant osseointegration. *Clin Oral Implants Res* 2010;21(2):129-136.
9. Albrektsson T, Zarb G, Worthington P, Eriksson AR. The long-term efficacy of currently used dental implants: a review and proposed criteria of success. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1986;1(1):11-25.
10. Kong L, Hu K, Li D, et al. Evaluation of the cylinder implant thread height and width: a 3-dimensional finite element analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2008;23(1):65-74.
11. Hansson S. The implant neck: smooth or provided with retention elements. A biomechanical approach. *Clin Oral Implants Res* 1999;10(5):394-405.
12. Abrahamsson I, Berglundh T. Tissue characteristics at microthreaded implants: an experimental study in dogs. *Clin Implant Dent Relat Res* 2006;8(3):107-113.
13. Hudieb MI, Wakabayashi N, Kasugai S. Magnitude and direction of mechanical stress at the osseointegrated interface of the microthread implant. *J Periodontol* 2011;82(7):1061-1070.
14. Shin YK, Han CH, Heo SJ, et al. Radiographic evaluation of marginal bone level around implants with different neck designs after 1 year. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2006;21(5):789-794.
15. Bratu EA, Tandlich M, Shapira L. A rough surface implant neck with microthreads reduces the amount of marginal bone loss: a prospective clinical study. *Clin Oral Implants Res* 2009;20(8):827-832.
16. Suh JY, Jeung OC, Choi BJ, Park JW. Effects of a novel calcium titanate coating on the osseointegration of blasted endosseous implants in rabbit tibiae. *Clin Oral Implants Res* 2007;18(3):362-369.
17. Park JW, Park KB, Suh JY. Effects of calcium ion incorporation on bone healing of Ti6Al4V alloy implants in rabbit tibiae. *Biomaterials* 2007;28(22):3306-3313.
18. Botticelli D, Berglundh T, Buser D, Lindhe J. The jumping distance revisited: An experimental study in the dog. *Clin Oral Implants Res* 2003;14(1):35-42.
19. Botticelli D, Berglundh T, Buser D, Lindhe J. Appositional bone formation in marginal defects at implants. *Clin Oral Implants Res* 2003;14(1):1-9.
20. Davies JE. Mechanisms of endosseous integration. *Int J Prosthodont* 1998;11(5):391-401.
21. Sennerby L, Meredith N. Implant stability measurements using resonance frequency analysis:

참 고 문 헌

biological and biomechanical aspects and clinical implications. *Periodontol* 2000 2008;47:51-66.

22. Berglundh T, Abrahamsson I, Lang NP, Lindhe J. De novo alveolar bone formation adjacent to endosseous implants. *Clin Oral Implants Res* 2003;14(3):251-262.

23. Festing M, Overend P, Gaines D, R, et al. *The design of animal experiments: reducing the use of animals in research through better experimental design*. 1 ed. London: Royal Society of Medicine, 2002.