

시간 경과에 따른 티타늄 합금 피질골 나사못의 골결합능 평가

이재협* · 장봉순 · 이춘기

서울대학교 의과대학 정형외과학교실 가천 의과대학교 정형외과학교실*

목 적: 본 연구의 목적은 티타늄 합금 피질골 나사못을 삽입 후 시간에 따른 나사못의 골결합 양상을 평가하는 것이다.

대상 및 방법: 길이 24 mm, 두께 3.5 mm 티타늄 합금 피질골 나사못 54개를 30 kg 내외의 수컷 잡견의 양측 후지 중간 간부에 삽입하면서 삽입시와 제거시의 토크 값 측정, 방사선 사진 촬영, 비탈석회화 조직 검사, 조직형태학 검사 및 주사현미경 검사를 수술 직후 및 술 후 2주, 4주, 8주에 시행하였다.

결 과: 삽입시의 토크 값 (1.76 ± 0.609 cN·m)에 비해 2주 제거시의 토크 값 (1.14 ± 0.470 cN·m)이 유의하게 낮았으며 ($p=0.0071$), 4주 제거시 토크 값 (2.57 ± 1.36 cN·m)은 다소 증가하였고 8주 제거시 토크 값 (3.18 ± 0.499 cN·m)이 삽입시보다 유의하게 증가하였다 ($p=0.0005$). 조직학 소견 상 삽입 2주째에는 나사못과 골과의 접촉이 매우 적었고 섬유성 피막이 나사못과 골과의 경계면에 형성되어 있었으나 시간이 지남에 따라 점차 골과 나사못의 결합양상이 향상되는 소견을 관찰할 수 있었다. 나사못과 접촉한 골의 분율은 2주 제거시 ($22.4 \pm 12.9\%$) 보다 8주 제거시 ($33.1 \pm 18.5\%$)가 더 높았으나 통계적 유의성은 없었다 ($p=0.15$).

결 론: 티타늄 합금 피질골 나사못은 삽입 직후보다 2주째에 골결합력이 유의하게 감소하였는데, 이는 아마도 삽입시 발생한 열손상이나 압박에 의한 섬유화에 기인하는 것으로 사료된다. 따라서, 골절 등의 치료를 위해 나사못을 삽입할 경우 일정 기간 동안 삽입시보다 고정력이 감소하므로 운동이나 체중 부하시 유의하여야 하며, 삽입 초기의 골-나사못 고정력 감소를 개선시키는 것이 임상결과 향상을 위해 중요하다고 사료된다.

색인 단어: 티타늄 나사못, 골결합, 생역학, 조직형태학적 분석

Evaluation of Osseointegration in Titanium Alloy Cortical Screws with the Passage of Time

Jae Hyup Lee, M.D.*, Bong-Soon Chang, M.D., Choon-Ki Lee, M.D.

Department of Orthopedic Surgery, Seoul National University College of Medicine, Seoul, Korea

Department of Orthopedic Surgery, Gachon Medical School, Incheon, Korea*

Purpose: To evaluate the osseointegration of titanium alloy cortical screws with the passage of time.

Materials and Methods: Fifty four titanium alloy cortical screws (24 mm in length, 3.5 mm in diameter) were implanted bilaterally in the tibial diaphysis of adult mongrel male dogs of similar size and weight (30 ± 5 kg). The insertion torques, radiographs, undecalcified histology, histomorphometric analysis and extraction torques were evaluated at 2, 4 and 8 weeks after surgery.

Results: The extraction torque at 2 weeks (1.14 ± 0.470 cN·m) was significantly lower than the insertion torque (1.76 ± 0.609 cN·m) ($p=0.0071$), the extraction torque at 4 weeks (2.57 ± 1.36 cN·m) was slightly improved and the extraction torque at 8 weeks (3.18 ± 0.499 cN·m) was significantly higher than insertion torque ($p=0.0005$). Direct bony contact in the early phase was poor and intervening fibrous tissue was observed at the bone-screw interface. However, the fixation between the bone and the screws improved with time. The percentage of bone-screw contact at 8 weeks ($33.1 \pm 18.5\%$) was higher than that of 2 weeks ($22.4 \pm 12.9\%$), but not statistically significant.

Conclusion: Because of thermal injury or pressure necrosis, the fixation strength of titanium alloy cortical screws at 2 weeks after implantation is significantly lower than that at the insertion time. So, we should keep in mind the initial phase weakness of screw fixation when we allow the patients the range of motion exercise or weight bearing and the improvement of the initial phase fixation is very important in clinical results.

Key Words: Titanium screw, Osseointegration, Biomechanical, Histomorphometric analysis

통신저자: 이 춘 기

서울특별시 종로구 연건동 28
서울대학교 의과대학 정형외과학교실
Tel : 82-2-760-2360 · Fax : 82-2-764-2718
E-mail : choonki@plaza.snu.ac.kr

Address reprint requests to : Choon-Ki Lee, M.D.

Department of Orthopaedic Surgery, Seoul National University College of Medicine, 28 Yongon-dong, Chongno-gu, Seoul 110-774, Korea.
Tel : 82-2-760-2360 · Fax : 82-2-764-2718
E-mail : choonki@plaza.snu.ac.kr

*본 논문은 2000년도 산업자원부 산업기반기술개발사업의 지원 (#00011409)을 받아 이루어졌음.

서 론

정형외과나 치과 영역 등에서 골절 치유를 위해 많은 종류의 나사못 (screw)이 사용되고 있다. 이러한 나사못들의 골결합력은 임상 결과와 깊은 관련이 있으며 골-나사못 결합 양상에 대해 많은 연구가 진행되어 왔다^{9,11~13}. 내고정물에서 골결합 (osseointegration)이란 광학 현미경 상 하중 (load)을 전달하는 내고정물과 살아 있는 골과 구조적으로나 기능적으로 직접 연결되는 것으로³ 이런 골결합이 일어나기 위해서 내고정물 재료의 생체 적합성 (biocompatibility)과 내고정물 표면의 상태 그리고 이식할 환자의 상태가 조절될 필요가 있다². 초기에 사용된 내고정물은 스테인레스 스틸 (stainless steel)을 주재료로 제조되었는데, 점차 생체 적합성이 뛰어나고 자기 공명 영상 검사에서 영향을 덜 미치며⁸ 골과 유사한 탄성 계수 (modulus of elasticity)를 지니면서 골결합력이 큰 티타늄이나 티타늄 합금 (Ti-6Al-4V)으로 대체되는 추세이다⁷. 그러나, 티타늄 내고정물에서 조차 금속과 골의 직접적인 결합이 이루어지지 않는다고 알려져 있으며¹⁰, 금속 내고정물과 골과의 결합을 향상시키기 위해 많은 연구가 진행되어 왔다^{2,4,6,9,11,14}.

골-나사못 계면에 대한 연구는 이전부터 활발히 진행되어 많은 정보가 쌓여 있지만, 나사못 삽입 시기에 따라 생역학적-조직형태학적 분석을 한 연구는 많지 않다. 이에, 본 연구는 성경모형을 이용하여 나사못 삽입 후 골-나사못 계면의 결합 양상을 시기에 따라 평가하고자 한다.

대상 및 방법

1. 티타늄 합금 피질골 나사못

본 실험에는 현재 임상적으로 사용되고 있는 티타늄 합금 (Ti-6Al-4V) 피질골 나사못 (Solco® biomedical, 대한민국, 길이 24 mm, 직경 3.5 mm) 270개를 사용하였고 이 중 세라믹 코팅을 한 216개 나사못은 제외하고 코팅을 하지 않은 54개의 나사못을 대상으로 분석하였다.

2. 생체 이식

1) 이식 대상 및 실험군

30 kg 내외의 수컷 잡견 18마리를 대상으로 하였다. 실험에 들어가기까지 최소 2주 이상의 적응기를 두며 상기 기간 동안에 건강상태를 관찰하여 건강한 동물만 실험에 사용하였다. 서울대학교 병원 임상의학 연구소 내 동물 사육실에서 사육하면서, 사료로서는 고형 압축사료를, 식수로는 수돗물을 사용하였고 기타 사육 조건은 모든 성경에서 동일하게 유지하였다. 총 18마리의 성경을 3개 군으로 나누어 각 군

당 6마리씩 각각 2주, 4주, 8주 군으로 배정하였고, 270개의 나사못 중 코팅을 하지 않은 나사못이 균등하게 삽입되도록 배분하여 총 54개의 나사못을 삽입하였다. 각 군당 2개의 나사못에 대해 조직학 검사를 하였고, 각 군당 16개의 나사못은 생역학적 검사를 시행하였다.

2) 이식 방법

케타라® (ketamine hydrochloride 50 mg/ml, 유한양행, 대한민국)과 림폰® (xylazine hydrochloride 23.32 mg/ml, 바이엘코리아, 대한민국)을 각각 4~5 ml, 2~2.5 ml 근육 주사하여 전신 마취 하고, 양쪽 후지의 털을 대퇴부부터 발목까지 깎은 후, 포타딘® (포비돈 요오드 10%, 삼일제약, 대한민국)으로 양측 후지 원위 대퇴부와 하퇴부 전체를 소독하여 무균 조작하에 복와위 (supine position)에서 수술을 시행하였다. 경골의 내측면을 따라 슬관절 원위 1.5 cm 하방에서부터 경골 원위 간부까지 절개를 가하고 철저히 지혈을 하면서 골막을 periosteal elevator로 벗겼다. 술 중 생리식염수로 세척을 시행하였으며 경골에 대한 조작을 하기 전에 세파졸린 (Cefazolin®) (종근당, 대한민국) 0.5 g을 근육 주사하였다. 금속 나사못 삽입 방법은 AO 방식대로 직경 2.0 mm 드릴 비트 (drill bit)로 구멍을 뚫고 3.5 mm 탭 (tap)으로 테핑 (tapping)한 후 나사못을 삽입하였으며 나사못은 경골에 수직방향으로 삽입하였다.

나사못을 삽입하면서 토크 측정기 (torque gauge, Tohnichi, 1.5 BTG-N, 2 kgf·cm~15 kgf·cm, 오차범위 2± (%), 300 ATG-N, 0.3 kgf·cm~3 kgf·cm, 오차범위 2± (%), Tokyo, Japan)를 이용하여 삽입시의 최대 토크를 측정하였다. 토크 값은 전 실험 기간 동안에 저자와 보조자가 함께 계속하였으며 기록은 제 3자가 시행하였다.

실험이 진행되는 동안 모든 실험동물에게 나사못 삽입시 동일한 드릴과 테퍼를 사용하였다. 나사못의 머리부분은 경골에서 약 2 mm 정도 톨 상태까지 삽입하여 나사못 제거가 용이하고 토크 측정이 일정하도록 하였다. 삽입 후 골막을 제거하고 생리 식염수로 세척을 한 후 창상부의 근막을 흡수사 (0 Coated VICRYL®, Ethicon, UK)로 봉합하였다. 이때, 뼈와 나사못에서의 골생성을 관찰하기 위해 남은 골막은 봉합하지 않고 제거하였다. 피하 봉합 (subcutaneous suture)을 흡수사 (2-0 VICRYL®, Ethicon, UK)로 철저히 하고 피부 봉합 (2-0 ETHYLON®, Ethicon, UK)을 하였고, 거즈로 드레싱 후에 탄력붕대로 보호하고 고정 없이 사육장 내에서 자유롭게 활동하게 하였다. 수술 직후 세파졸린 0.5 g을 근육 주사하였고 술 후 3일간 세파졸린 1.0 g을 근육 주사하였다.

3) 평가 방법

(1) 채취한 조직 처리

술 후 제 2주에 희생하기로 한 6마리 동물에게 케타라®와 림폰®으로 마취를 하고 kcl 10 ml를 정맥 주사하여 희생시킨 후 이식체가 삽입된 양측 경골을 채취하였다. 채취한

경골의 나사못 중 조직학 검사를 위해 2개의 나사못은 금속 나사못이 박힌 경골을 나사못 위-아래로 0.5 cm 정도 남게 형으로 절골하여 채취한 후 10% 포르말린 용액에 고정하였다. 나머지 5마리에 삽입된 금속 나사못은 전 후면 방사선 촬영 후 토크 (torque) 검사를 시행하였다. 동일한 방법으로 4주 군과 8주 군은 4주와 8주에 희생시킨 후 방사선 촬영, 토크 검사와 비탈석회화 조직학 검사를 시행하였다.

(2) 나사못 제거 후 나사못과 경골에 대한 육안 검사

제거한 나사못의 코팅 층을 삽입시와 육안으로 비교하였으며, 제거한 경골에 코팅 층이나 섬유성 피막 등의 유무를 확인하였다.

(3) 방사선학적 검사

수술 직후 및 매 2주마다 전 후방 및 측방 방사선 사진을 촬영하였다. 나사못의 경로 주위로 골음영의 희박화 (rarefaction)가 존재 하는지를 관찰하였다.

(4) 생역학적 검사

모든 실험 레에서 희생 직후에 조직 검사를 위한 검체를 제외한 나머지 검체에 대해 토크 측정기를 이용하여 토크를 측정하였다. 토크는 나사못을 제거하는 방향으로 일정하게 돌려 나사못이 움직이면서 저항이 급격히 줄어드는 시점의 최대 토크를 측정하였으며 이 수치를 골-나사못간 결합 정도의 지표로 평가하였다. 토크 값은 전 실험기간 동안에 저자와 보조자가 함께 측정하였으며 기록은 제 3자가 시행하였다.

(5) 조직학적 검사

나사못이 삽입된 상태로 채취한 골편을 비탈석회화 광학 현미경 검사를 위해 10% 포르말린에 5일 이상 담궈 탈수 시킨 후 methyl methacrylate로 포매 (embedding)하였으며 다이아몬드 톱을 사용하여 종방향으로 즉, 나사못의 머리부분에서

나사못의 끝 부분까지 뼈와 접한 면이 다 나오도록 금속 나사못의 골-이식체 접합면에 수직으로 절단하여 나사못의 골과 산의 모습을 볼 수 있게 한 후 hematoxylin과 eosin 염색을 하여 슬라이드를 제작하였다. 광학 현미경 (Olympus, Japan) 하에서 골-나사못 계면의 골결합 양상을 관찰하였다.

(6) 조직 형태학적 분석

비탈석회화 슬라이드로 만든 시편에서 나사못과 피질골이 결합되어 있는 나사못과 뼈와의 접합면을 40배의 배율로 사진을 찍은 후 (Olympus U-SPT, BX51, Japan) 나사못과 접촉한 골의 분률 (proportion) 및 나사못의 한 피치 (pitch) 당 골의 면적의 분률을 Image-Pro® Plus (Media Cybernetics, USA) 프로그램을 이용하여 분석하였다. 이때 각각 나사못에서 피질골과 결합된 가운데 부분을 선택해서 나사못의 산에서 다음 산까지 길이에 대해 접해있는 뼈의 길이의 비를 측정하였다. 또, 같은 사진에서 나사못의 산과 산 사이의 공간을 차지하는 뼈의 면적의 분률을 측정하였다 (Fig. 1).

(7) 주사 전자 현미경 검사

토크 검사 후 나온 나사못의 단면을 SEM (Model DL-20, Philips, Netherlands)으로 관찰하였다.

(8) 통계적 분석

비모수적 통계분석법을 사용하여 각각 2주, 4주, 8주의 토크 값과 조직형태학적 결과에 대해 분석을 하였고, $p < 0.05$ 에서 통계적으로 유의하다고 가정하였다.

결 과

1. 육안 검사

골-이식체 접합면을 육안으로 관찰하였다. 삽입한 나사못의 머리 부분이 수술 직후와 술 후 2주째에는 골과 2 mm

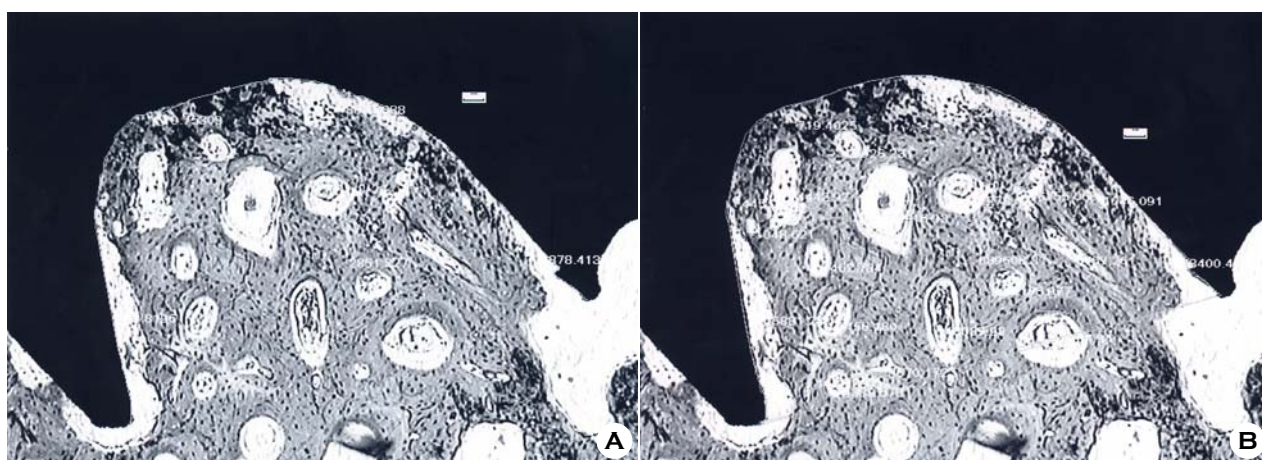


Fig. 1. Histomorphometric analysis.

(A) Measurement of the percentage of direct bone-screw contact.

(B) Measurement of the bone area percentage inside the threads.

떨어진 상태였는데 4주째에는 일부에서 골조직의 증식으로 인해 골과 나사못 머리사이에 간격이 줄어들었으며 8주째

에는 골과 나사못의 머리가 결합된 정도가 증가하였으나 나사못의 머리를 덮지는 않았다.

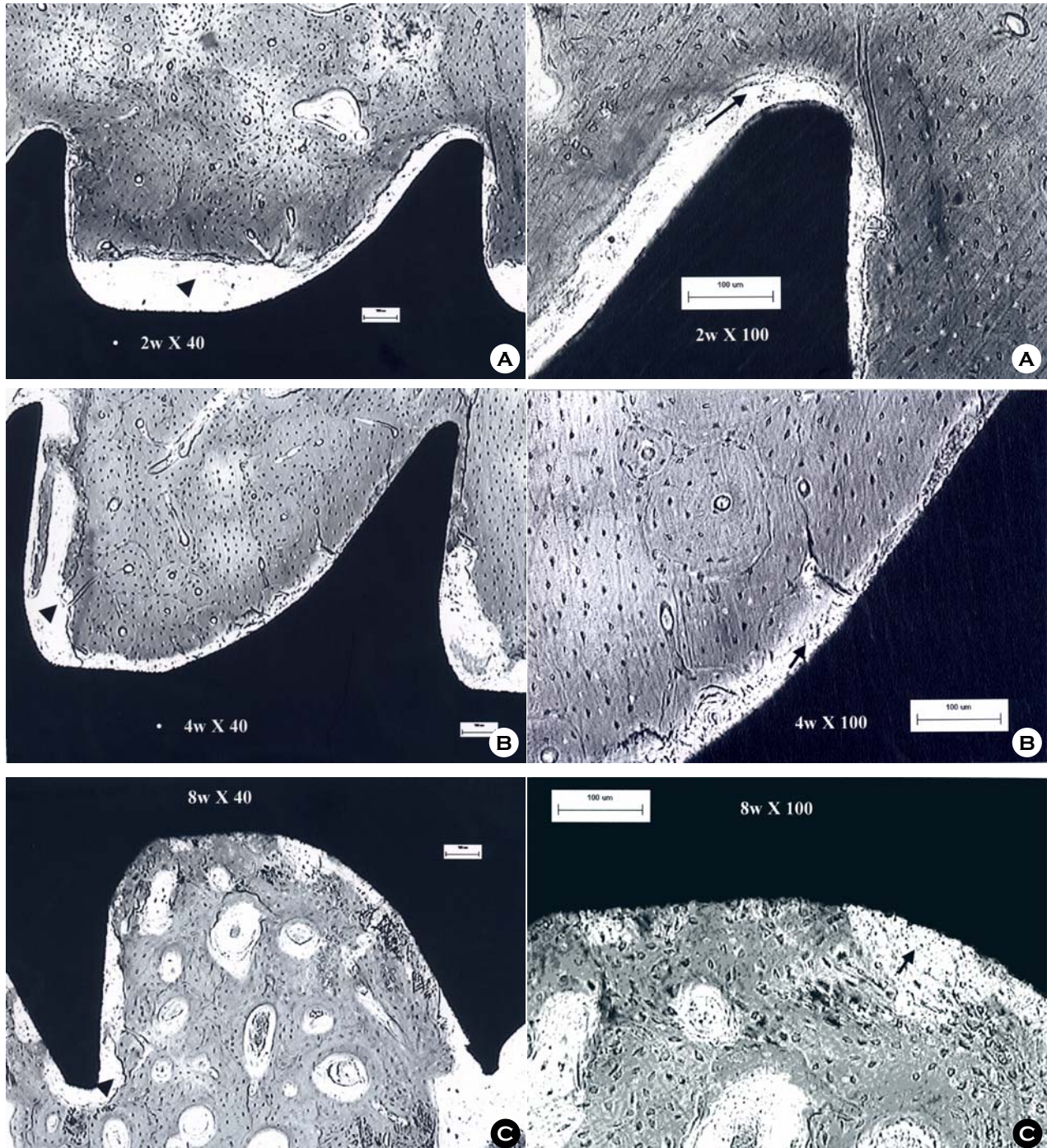


Fig. 2. Histological cross section (undecalcified, hematoxylin & eosin, X 40, Lt, X 100, Rt) of titanium screws. Arrow heads indicate the gaps between bone and screws. Arrows indicate direct bony attachment to screws. Severe bone resorption can be seen on the 2 weeks after surgery. Very little bone-pin contact is visible.

(A) 2 weeks after implantation (Lt: X 40, Rt: X 100).

(B) 4 weeks after implantation (Lt: X 40, Rt: X 100).

(C) 8 weeks after implantation (Lt: X 40, Rt: X 100).

Table 1. Biomechanical results for the screws implanted in the canine

	bone between the threads at 2 wks (%)	bone between the threads at 4 wks (%)	bone between the threads at 8 wks (%)	p value
CPP	66.8±5.17	71.6±15.5	76.8±8.94	0.25
W3G	73.8±13.7	72.5±11.3	80.5±7.91	0.30
CSG	79.3±12.5	90.7±6.80	77.9±18.6	0.13
WAG	79.6±12.2	82.7±7.25	79.6±5.14	0.74
Uncoated	68.1±14.6	57.6±15.7	60.1±19.1	0.47
p value	0.27	0.0006	0.025	

Values are the mean±SD; n=16 in each group (48 total)

Table 2. Histomorphometric results

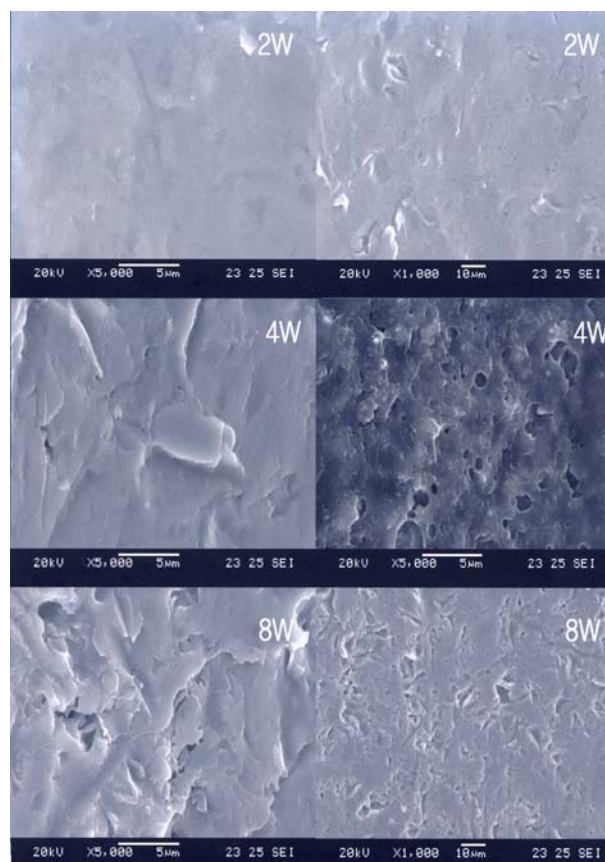
Parameter	2 weeks	4 weeks	8 weeks	p value
% of bone-screw contact	22.4±12.9	16.4±14.0	33.1±18.5	0.15
bone area %	68.1±14.6	57.6±15.7	60.1±19.1	0.47

2. 단순 방사선 검사

수술 직후 방사선 소견 상 골조직과 금속 나사못 사이에 결합이나 해리 등의 소견은 관찰되지 않았으며 술 후 8주 경과시 촬영한 소견 상 골과의 결합이 비교적 양호하였다.

3. 생역학적 검사 (Biomechanical results)

2주, 4주, 8주군 사이에 삽입시의 토크 값은 통계적으로 유의한 차이가 없었다 (Kruskal-Wallis test, $p=0.14$). 또한, 2주 제거군, 4주 삽입군, 8주 제거군의 토크 값은 정규분포를 이루었으며, 2주 삽입군 (Shapiro-Wilk test, $p=0.003$, Kolmogorov-Smirnov test, $p<0.01$)과 4주 제거군 (Shapiro-Wilk test, $p=0.025$, Kolmogorov-Smirnov test, $p<0.01$), 8주 삽입군 (Shapiro-Wilk test, $p=0.0047$, Kolmogorov-Smirnov test, $p=0.0175$)은 정규분포를 이루지 않았다. 그리고, 2주 삽입군 (1.76 ± 0.609 cN·m)에 비해 2주 제거군 (1.14 ± 0.470 cN·m)이 유의하게 낮았고 ($p=0.0071$), 4주 삽입군 (2.31 ± 1.41 cN·m)과 4주 제거군 (2.57 ± 1.36 cN·m)에는 유의한 차이가 없었으며 ($p=0.28$), 8주 삽입군 (1.71 ± 0.390 cN·m)에 비해 8주 제거군 (3.18 ± 0.499 cN·m)이 유의하게 높았다 ($p=0.0005$). 또한, 2주 제거군에 비해 4주 제거군이 유의하게 높았고 (Wilcoxon two-sample test, Two-Sided $\Pr>|Z|=0.0001$), 4주 제거군에 비해 8주 제거군이 높았으나 유의한 차이는 없었다 (Wilcoxon two-sample test, Two-Sided $\Pr>|Z|=0.066$) (Table 1).

**Fig. 3.** SEM microphotographs of the surface of titanium screw.

4. 조직학적 검사

비탈석회화 조직슬라이드 소견 상 2주 제거군에서 나사못과 골과의 직접적인 접촉이 매우 적었고 이런 현상은 특히 나사골 부분에서 더욱 심하여서 나사골과 뼈조직 사이에 연결이 없거나 섬유성 피막이 나사못과 뼈와의 경계면에 형성되어 있는 소견을 보였다. 4주 제거군에서는 나사못과 골과의 직접적인 결합이 2주 제거군에 비해 증가하면서 나사골 부분에도 뼈와 직접적인 결합이 일부에서 이루어졌고, 2주 제거군보다는 적었지만 일부에서 역시 섬유성 피막을 관찰할 수 있었다. 8주 제거군에서는 골과 나사못의 결합 양상이 더욱 두드러져 2주 제거군과 4주 제거군에 비해 견고해 지는 양상을 보였고, 특히 나사골 부분에서의 직접적인 결합이 향상되어 전체적으로 골결합능이 향상되는 소견을 관찰할 수 있었다 (Fig. 2).

5. 조직 형태학적 결과 (Histomorphometric results)

골-나사못 접촉분율을 분석한 결과 2주 경과시 골과 나사못의 접촉분율은 $22.4\pm12.9\%$, 4주 경과시 접촉분율은 $16.4\pm14.0\%$, 그리고 8주 경과시 접촉분율은 $33.1\pm18.5\%$ 로 8주 경과

시 접촉률이 2주 경과시보다 높았으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다 ($p=0.15$). 나사못의 한 피치에서 나사산 사이 공간을 차지하는 골조직의 비율을 분석한 결과 2주, 4주, 8주 경과시 나사산 사이 공간을 차지하는 골조직의 비율은 3군 사이에 유의한 차이를 보이지 않았다 ($p=0.47$) (Table 2).

6. SEM 검사

2주 제거시 나사못의 표면은 삽입시에 비해 거의 차이가 나지 않는 정도의 표면 거칠기를 보였으며, 4주 제거시에는 나사못의 표면이 골과 반응하면서 다소 거칠어 졌고 이런 양상은 8주 제거시에도 유사하였으나 큰 차이를 보이지는 않았고, 나사못 표면의 탈리나 패임 등은 관찰되지 않았다 (Fig. 3).

고 찰

티타늄 합금 피질골 나사못은 골절 치유 등을 위해 현재 광범위하게 사용되고 있다. 이런 나사못이 골조직에 삽입되었을 때 시간에 따라 어떤 경과를 거치는지를 아는 것은 임상적으로 매우 중요하다. 또한, 골절 환자에 있어서 견고한 내고정을 통하여 조기 활동 및 보행을 허용함으로써 장기간의 침상 안정으로 인한 합병증을 줄이고 사망률과 이환률을 감소시키는 것은 매우 중요하다¹⁾. 골절치료를 위해 사용되는 금속 나사못은 삽입 초기에는 나사못과 골과의 기계적 압박력에 의해 고정성이 유지되다 시간이 지남에 따라 기계적인 힘은 약해지면서 나사못에 인접한 골과의 직접적인 결합에 의해 고정이 지속되게 된다. 그러나, 여러 가지 이유로 나사못 주위에 해리현상이 발생한다. 이러한 해리 현상은 내고정 나사못보다는 외고정 나사못에서 더 흔히 발생하나, 여러 저자들이 연구한 바와 같이 내고정 나사못에서도 시간이 지남에 따라 고정력의 심한 소실이 생겨 치료 결과에 영향을 준다고 알려져 있다^{10,12,13)}.

본 실험에서 나사못 제거시의 토크 값을 비교하는 조건을 일정하게 하기 위하여 나사못을 근위 피질골에 밀착시킴으로써 삽입시 토크 값을 똑같이 설계할 수도 있으나, 나사못이 피질골에 닿을 경우 성견의 골 형성능이 사람에 비해 매우 왕성하기 때문에 골조직이 나사못의 머리를 완전히 덮어서 제거시의 토크 값을 정확하게 측정하기가 어렵기 때문에 피질골에서 나사못 두부를 2 mm 남겨서 삽입하였다. 또, 실험 모델에서 경골에 삽입하는 위치에 따라 골질이 다르기 때문에 나사못의 토크 값에 차이가 있을 수 있으며, 실험에 사용된 나사못이 이상적인 분포를 하더라도 개체의 차이와 경골에서 해당 높이의 차이를 모두 동일하게 할 수는 없기 때문에 이점에서 결과 해석에 영향을 줄 수도 있다. 그러나, 삽입한 나사못은 주로 경골의 간부 (shaft)로 개체별 차이만 존재하고 높이에 따른 차이가 없도록 설계하였고, 나사

못과 골과의 결합 정도를 평가하기 위해 조직형태학적 방법을 이용하였는데, 조직형태학적인 결과는 생역학적 결과를 잘 반영하고 있다. 이 점은 본 실험에서 사용한 생역학적 모델이 코팅의 결합력을 평가하는 데 유용하고 적합하였다는 것을 반영한다.

본 실험의 결과 티타늄 나사못은 삽입시의 토크 값에 비해 2주째의 토크 값이 유의하게 낮아 고정력이 감소하는 양상을 보이다가 4주째에 회복되었다. 이 결과는 Caja 등⁴⁾이 보고한 것과 같이 삽입시에 비해 일정 시간이 경과할 경우 나사못과 골과의 결합력이 감소한다는 결과와 일치한다. 이는 아마도 삽입시에 피질골에 생긴 기계적 손상이나 드릴을 할 때 발생한 열손상에 의해 나사못에 접한 골조직의 괴사 및 골-나사못 계면의 응력에 의한 골흡수에 기인하는 것으로 생각된다. 이러한 결과는 조직학 조건에서 더욱 뚜렷한데, 삽입 직후에 골과 밀착되었을 것으로 추정되는 나사못은 2주째에 골과 직접적인 접촉이 매우 적었고 섬유성 피막으로 쌓여 있었으며 4주가 되어서 점차 골과의 직접적인 결합이 이루어지면서 8주에 더욱 견고해 졌다. Schatzker 등¹³⁾도 나사못 삽입 2주에 분화가 덜 된 섬유모세포의 연속된 층이 나사못과 신생골 사이에 존재하는 레가 있었고 4주에 죽은 피질골과 나사못 사이에 신생골의 성숙을 관찰하였다고 보고한 바 있어 본 연구결과와 유사한 결과를 보고하고 있다. 본 연구에서 조직형태학적 분석을 길이나 면적의 절대값으로 하지 않고 분률로 한 이유는, 비록 조직 슬라이드를 나사못의 정중앙에서 길이 방향으로 제작하더라도 잘린 면이 다소 차이가 날 수 있기 때문에 절대값을 비교할 수가 없으며, 분률로 비교할 경우 이런 차이가 상쇄되기 때문이다. 이러한 조직형태학적 결과는 조직학적 조건과도 잘 일치한다. 즉, 티타늄 합금 나사못은 제거시의 토크 값이 삽입초기인 2주째에 감소했다가 4주, 8주가 되면서 점차 증가하는 추세였는데, 조직학적으로 2주째 소견 상 섬유조직이 뼈와 나사못에 삽입되어 있고 4주, 8주가 되면서 골과의 접촉이 호전되었고 나사못과 접촉한 골의 분률도 2주째 $22.4 \pm 12.9\%$ 에서 8주째 $33.1 \pm 18.5\%$ 로 증가하였다.

따라서, 삽입 초기의 내고정물의 기계적인 안정도는 손상에서 회복되는 조직과 내고정물의 표면 사이의 기계적인 상호작용에만 의존한다고 볼 수 있다^{5,14)}. 사실, 삽입시의 과정에서 생기는 피질골의 열손상이나 골-나사못 계면의 응력에 의한 괴사는 술기에 의해 어쩔 수 없이 발생하는 것이지만, 그 이후의 골과 나사못 결합을 증가시킬 수 있다면 고정 초기에 오는 내고정물의 약화현상을 줄일 수 있다.

Manley 등⁹⁾이 1984년에 금속 표면 코팅을 한 핀을 최초로 제안하면서 골과 금속 내고정물의 결합력을 향상시키기 위해 금속 표면에 여러 가지 물질을 코팅하는 연구가 활발히 진행되어 왔다. 이런 이유로 최적의 골결합을 위하여 티타늄

합금 나사못에 골전도성을 가진 세라믹스를 코팅하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 이런 코팅 물질의 사용은 임플란트와 골과의 계면에 섬유조직의 형성을 억제하며, 임플란트와 골조직 사이에 강한 화학적 결합을 촉진한다고 알려져 있다⁶⁾ (Gabbi et al, 1995).

따라서 금속 내고정물에 골전도성을 지닌 물질을 표면 코팅하여 삽입 초기부터 골-나사못 결합이 증가한다면 기존의 내고정물을 삽입한 경우보다 좀 더 일찍 운동범위 회복을 얻거나, 조기에 체중부하를 하여 기능 회복을 촉진시킬 수 있으며, 삽입하는 나사못의 수나 내고정물의 크기를 줄일 수 있다고 사료된다.

결 론

본 연구를 통하여 티타늄 합금 피질골 나사못은 삽입시보다 삽입 후 일정기간 동안 골-나사못 결합강도가 일시적으로 약화됨을 확인하였고, 따라서 이 기간 동안 골-나사못 결합강도를 강화시키는 것이 임상결과를 개선시키는데 중요하다는 것을 확인하였다.

참 고 문 헌

- 1) **Ahn SJ and Park JH:** Proximal femoral nail (PFN) for the treatment of the femoral trochanteric fracture. J Korean Fracture Soc, **17**(1): 7-12, 2004.
- 2) **Albrektsson T, Branemark PI, Hansson HA, Ivarsson B and Lindstrom J:** Osseointegrated titanium implant. Requirement for ensuring a long-lasting direct bone anchorage in man. Acta Orthop Scand, **52**:155-170, 1981.
- 3) **Branemark PI, Zarb G and Albrektsson T:** Tissue Integrated Prosthesis. Osseointegration in Clinical Dentistry. Chicago: Quintessence Publishing Co, 1985.
- 4) **Caja VL and Moroni A:** Hydroxyapatite coated external fixation pins. An experimental study. Clin Orthop, **325**: 269-275, 1996.
- 5) **Dhert WJ, Thomsen P, Blomgren AK, et al:** Integration of press-fit implants in cortical bone: A study on interface kinetics. J Biomed Mater Res, **41**: 574-583, 1998.
- 6) **Gabbi C, Cacchioli A, Locardi B and Guadagnino E:** Bioactive glass coating: Physicochemical aspects and biological findings. Biomaterials, **16**: 515-520, 1995.
- 7) **Hille GH:** Titanium for surgical implants. J Mater, **1**: 373-383, 1966.
- 8) **Lee BH, Ha SH and Choi MH:** Treatment of fracture-dislocation of talar neck or body. J Korean Fracture Soc, **12**: 307-313, 1999.
- 9) **Manley MT, Hurst L, Hindes R, Dee R and Chiang FP:** Effects of low-modulus coatings on pin-bone contact stresses in external fixation. J Orthop Res, **2**: 385-392, 1984.
- 10) **Miclau T, Remiger A, Tepic S, Lindsey R and McIlff T:** A mechanical comparison of the dynamic compression plate, limited contact-dynamic compression plate, and point contact fixator. J Orthop Trauma, **9**: 17-22, 1995.
- 11) **Moroni A, Toksvig-Larsen S, Maltarello MC, et al:** A comparison of hydroxyapatite-coated, titanium-coated, and uncoated tapered external-fixation pins. J Bone Joint Surg, **80-A**: 547-554, 1998.
- 12) **Schatzker J, Horne JG and Sumner-Smith G:** The effect of movement on the holding power of screws in bone. Clin Orthop, **111**: 257-262, 1975.
- 13) **Schatzker J, Sanderson R and Murnaghan JP:** The holding power of orthopedic screws In Vivo. Clin Orthop, **108**: 115-126, 1975.
- 14) **Simmons CA, Valiquette N and Pilliar RM:** Osseointegration of sintered porous-surfaced and plasma spray-coated implants: An animal model study of early postimplantation healing response and mechanical stability. J Biomed Mater Res, **47**: 127-138, 1999.