

교정용 미니 임플란트의 cutting flute의 길이 및 형태에 따른 식립 및 제거 토크의 비교

윤순동^a · 임성훈^b

본 연구는 self-tapping screw의 특징적 구조인 cutting flute의 길이 및 형태 변화에 따른 미니 임플란트의 식립 및 제거 토크를 비교해보기 위해 시행되었다. 외경, 내경, 길이 및 pitch 등 다른 조건이 모두 동일하고 cutting flute의 형태만 다른 세 종류의 미니 임플란트를 사용하였다(A군; 2.6 mm 길이의 flute가 형성된 그룹, B군; 3.9 mm의 길이이면서 직선형의 flute를 갖는 그룹, C군; 3.9 mm의 길이이면서 나선형의 flute를 갖는 그룹). 골밀도를 균일하게 하기 위해 실험용 인공골(Sawbones Inc., USA)을 사용하였으며, 수직력 및 회전속도를 일정하게 하기 위해 구동식 토크 시험기를 이용하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 총 삽입 시간은 2 mm 두께의 피질골 시편에서는 세 군 간에 차이를 보이지 않으나, 4 mm 두께의 피질골 시편에서는 C군 > B군 > A군 순으로 짧은 삽입 시간을 보였다. 최대 삽입 토크는 2 mm 두께의 시편에서는 A군이 다른 두 군에 비해 높은 값을 보이나, 4 mm 두께의 피질골 시편에서는 C군 > A군 > B군 순으로 높은 값을 보였다. 최대 제거 토크는 2 mm 두께의 피질골 시편에서는 세 군 사이에 차이가 없으나, 4 mm 두께의 피질골 시편에서는 C군이 다른 두 군에 비해 높은 값을 보여주었다. 이상의 결과로 보아 피질골이 두꺼운 부위에 미니 임플란트를 식립할 경우 cutting flute의 길이 및 형태 또한 고려하여 미니 임플란트를 선택하는 것이 바람직하다. (대치교정지 2009;39(2):95-104)

주요 단어: Cutting flute, 총 삽입 시간, 최대 삽입 토크, 최대 제거 토크

서론

Kanomi¹와 Costa 등²에 의해 티타늄 재질의 미니 임플란트가 구내 고정원으로 사용된 이래, 다양한 종류의 미니 임플란트가 교정치료에 이용되고 있다.³⁻⁵ Park 등⁶은 227개의 미니 임플란트에서 91.6%의 성공률을 보고하였으며, Moon 등⁷은 480개의 미니 임플란트에서 83.8%의 성공률을 보고하였다. 또한 Kuroda 등⁸은 미니플레이트에서 96.4%, 1.5 mm 직경의 미니 임플란트에서 83.9%, 2.3 mm 미니 임플란트에서 85.0%의 성공률을 보고하였으며, Cheng

등⁹은 2.0 mm 직경의 미니 임플란트 140개에서 89%의 성공률을 보고하였다. 이런 논문들에서 미니 임플란트의 성공률에 영향을 미치는 요소로서 환자의 성별, 연령, 골격 유형, 식립 위치, 식립 각도, 미니 임플란트 주위의 염증 유무, 식립 방법, 치근과의 거리¹⁰ 등이 제시되었으며, 그 중 식립 부위의 골질 및 미니 임플란트 주변의 염증 유무 등이 주로 영향을 미치는 것으로 나타났다.

위에서 제시된 임상적 조건들과 더불어 미니 임플란트의 디자인 또한 성공률에 영향을 미치는 중요한 요소이다. You 등¹¹은 임상적으로 자주 쓰이는 0.8 - 2.0 mm 직경의 13종의 미니 임플란트를 비교하여 주로 미니 임플란트의 외경, unthreaded shank height, cutting flute design 등이 피질골 내에서의 미니 임플란트 강도 및 효율성에 영향을 주는 요소라고 하였다. Kim 등^{12,13}은 미니 임플란트의 직경 및 길이가 길수록 삽입 및 제거 토크가 높게 나타나며, 원추형 미니 임플란트가 원통형보다 더 높은 토크를 보인다고 하였다. 또한 dual pitch를 가지는 변형

^a대학원생, ^b부교수, 조선대학교 치과대학 교정학교실.

교신저자: 임성훈.

광주시 동구 서석동 421번지 조선대학교 치과대학 교정학교실.

062-220-3876; e-mail, shlim@chosun.ac.kr.

원고접수일: 2008년 8월 5일 / 원고최종수정일: 2008년 10월 30일 /

원고채택일: 2008년 11월 2일.

DOI: 10.4041/kjod.2009.39.2.95

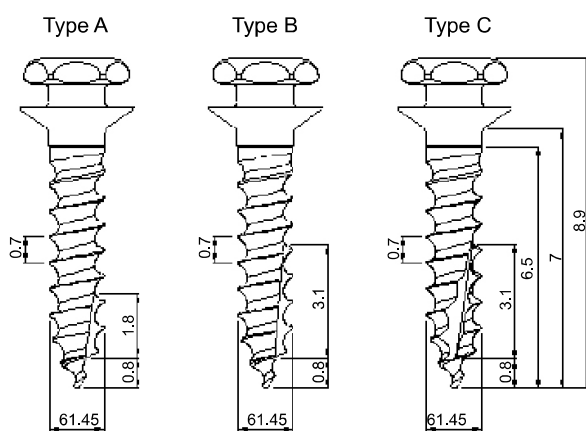
*이 논문은 2008년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

된 미니 임플란트가 최대제거토크 후 지속적으로 높은 제거토크를 보이므로 미니 임플란트의 초기 안정성에 긍정적인 영향을 미칠 수 있다고 하였다. 원추형 미니 임플란트에 대한 Yano 등¹⁴의 연구에서도 치유기간을 두는 경우에는 큰 관련이 없지만, 즉시 부하를 가하는 미니 임플란트에서는 원추형의 미니 임플란트가 원통형보다 유리하다고 하였다. Song 등¹⁵의 연구에서도 원추형 미니 임플란트가 토크를 가장 많이 상승시키는 디자인이며, 피질골이 얇은 부위에는 원추형을, 피질골이 두꺼운 부위에는 원통형의 미니 임플란트를 선택하는 것이 바람직하다고 하였다. Lim 등¹⁶은 미니 임플란트의 형태와 외경, 길이가 모두 토크 값에 영향을 주지만, 식립 토크에 가장 큰 영향을 미치는 것은 외경, 형태, 길이 순이라고 하였다.

미니 임플란트의 직경, 길이, 형태 등에 대한 다양한 연구가 이루어졌지만 self-tapping 미니 임플란트의 특징적 구조인 cutting flute의 영향에 대한 연구는 거의 없었다. 외과용 골 나사(bone screw)에 주로 사용되는 pretapping screw 형태의 미니 임플란트에서는 미니 임플란트 식립 전에 drilling 과정이 필수적이었으나 cutting flute가 형성된 drill-free 또는 self-drilling screw 형태의 미니 임플란트에서는 drilling이 불필요하게 되었다.^{17,18} Kim 등^{19,20}은 drilling 군보다 drill-free 군의 미니 임플란트들이 더 안정적이라고 하였으며, Kim와 Choi²¹도 drilling 군이 더 높은 실패율을 보인다고 하였다. Ansell과 Scales²²은 self-tapping screw가 pre-tapped screw에 비해 삽입 토크는 낮고, pull-out strength는 높다고 한 반면, Foley 등²³은 둘 사이에 역학적인 특성의 차이가 없다고

하였다. 골 나사의 cutting flute의 길이와 관련하여 You 등¹¹은 2-fluted 군과 3-fluted 군 사이에 최대 삽입 토크가 차이를 보이지 않는다고 한 반면, Evans 등²⁴은 flute의 수가 증가할수록 삽입 토크는 감소하며, pull-out strength는 증가한다고 하였다. Yerby 등²⁵은 cutting flute를 갖는 미니 임플란트가 삽입은 용이하지만 full threaded screw에 비해 holding power가 약하다고 하였으며, 이상적인 cutting flute의 형태는 스크류 삽입이 용이하고, 연조직 자극을 최소화하며, 최대의 유지력을 발휘할 수 있는 형태라고 하였다. 그는 cutting flute의 수와 길이를 달리하여 실험한 결과 flute의 수와 길이가 증가할수록 스크류의 삽입이 용이하며, 최소한 세 개 이상의 flute를 가져야 식립 과정에서 나타나는 bone thread의 뭉개짐을 최소화하여 스크류의 안정성이 증가한다고 하였다. Wikenheiser 등²⁶은 tip 부위의 형태가 다른 5개의 cortical half pin을 이용한 실험에서 나선형의 cutting flute가 직선형의 cutting flute에 비해 열 발생이 적고 식립 토크가 낮으므로 명백히 더 효율적이라고 하였다.

Ansell과 Scales²², Yerby 등²⁵의 논문에서 사용된 스크류는 정형외과용으로서, 그 직경이 크고 길어서 복수의 cutting flute를 형성하는 것이 가능하다. 하지만 교정용 미니 임플란트는 대부분 2.0 mm 이하의 직경을 가지므로 screw tip의 파절 가능성을 고려할 때 복수의 cutting flute를 형성하는 것은 어렵다. 따라서 본 연구에서는 단일 cutting flute에서 길이 및 형태의 변화에 따른 미니 임플란트의 식립 및 제거 토크의 차이를 알아보려고 하였다.



Measurement	Type		
	A	B	C
External diameter	1.45	1.45	1.45
Internal diameter	1.0	1.0	1.0
Length of spiral part	6.5	6.5	6.5
Pitch	0.7	0.7	0.7
Length of cutting flute	2.6	3.9	3.9

Fig 1. Three types of mini-implants used in this study (unit: mm).

연구방법

연구재료

외경(1.45 mm), 길이(나사부 6.5 mm) 및 pitch (0.7 mm) 등 다른 조건이 모두 동일한 Ti-6Al-4V ELI (ASTM grade V) 소재의 교정용 미니 임플란트(Biomaterials Korea Inc., ACR system, Seoul, Korea)를 총 60개 사용하였다. 미니 임플란트 tip에서부터 세 개의 thread에 걸쳐(길이 2.6 mm) flute가 형성된 미니 임플란트를 A군으로 분류하였고, 다섯 개의 thread를 포함하면서(길이 3.9 mm) 직선형의 flute를 갖는 미니 임플란트를 B군, 다섯 개의 thread를 포함하면서(길이 3.9 mm) 나선형의 flute를 갖는 미니 임플란트를 C군으로 분류하였다 (Fig 1).

식립 부위에 따른 피질골의 두께 및 골밀도의 차이를 제거하기 위해 균일한 골밀도를 가지는 실험용 인공골인 Biomechanical Test Block (Sawbones Inc., USA)을 이용하였다. 식립 부위에 따른 피질골의 차이를 재현하기 위해 E-Glass-filled epoxy sheet의 두께를 2.0 mm, 4.0 mm 두 가지로 가공하였으

며, 해면골을 재현하기 위해 사용한 solid rigid polyurethane foam에 acrylate bond로 부착하였다 (Table 1).

일정한 회전속도와 수직력을 갖는 구동 모터식 토크 시험기(Biomaterials Korea Inc., Seoul, Korea)를 이용하여 삽입 및 제거 시의 토크를 연속적으로 측정하였다 (Fig 2). 연속적으로 측정된 데이터는 시간에 따른 토크의 변화량으로 도시하여 삽입 시간 및 토크를 쉽게 알아볼 수 있도록 하였다.

삽입 토크 시험(Insertion torque test)

토크 시험기의 blade에 미니 임플란트를 삽입한 후 단단히 고정된 인공골 시편에 수직으로 닿도록 하여 분당 3회전의 일정한 속도로 식립하면서 컴퓨터 프로그램(Quick DataAcq, Data Translation, Marlboro, MA)을 이용해 0.1초 단위로 토크 값을 기록하였다. 식립 과정동안 미니 임플란트에 가해지는 수직력은 1.14 kgf로 일정하게 유지되었으며 모든 미니 임플란트의 식립 깊이를 일정하게 하기 위해 0.01 mm까지 측정 가능한 dial indicator depth gauge를 이용하였다. 인접한 미니 임플란트 간의 간격은

Table 1. Mechanical properties of the biomechanical test block

Alternative test medium	Density (g/cc)	Compressive		Tensile	
		Strength (MPa)	Modulus (MPa)	Strength (MPa)	Modulus (MPa)
Cortical bone	1.7	120	7,600	90	12,400
Cancelous bone	0.64	32.6	876	19.1	659

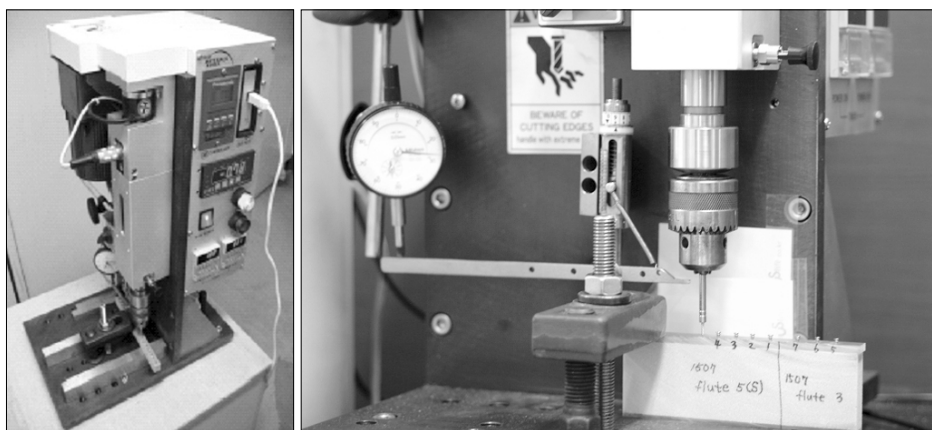


Fig 2. Torque tester (Biomaterials Korea Inc., Seoul, Korea).

최소 10 mm가 되도록 하였고 미니 임플란트 tip 하 방향으로 10 mm 이상의 충분한 해면골이 남도록 하였다. 피질골 두께와 flute 디자인을 달리한 여섯 가지의 조합별로 각각 10개씩의 미니 임플란트를 삽입하면서 총 삽입 시간(sec) 및 최대 삽입 토크(Ncm)를 측정하였다 (Fig 3). 최대 삽입 토크는 나사부가 식립되는 동안 나타나는 최대의 토크로 정의하였으며, 총 삽입 시간은 최대 삽입 토크가 나타날 때까지의 시간으로 정의하였다.

제거 토크 시험(Removal torque test)

각 조합별로 식립한 10개씩의 미니 임플란트 중 식립 깊이가 가장 유사한 5개의 미니 임플란트를 선정하여 최대 제거 토크(Ncm)를 측정하였다. 최대 제거 토크는 미니 임플란트 제거 과정 중 나타나는 최대의 토크로 정의하였다. 너무 깊게 식립된 미니 임플란트는 최대 제거 토크에 영향을 줄 수 있으며

로 제거 토크 시험에서 제외하였다. 미니 임플란트와 blade의 장축이 일치하도록 조정한 후 반시계 방향으로 분당 3회전의 속도로 제거하면서 0.1초 단위로 토크 값을 측정하였다 (Fig 4). 이후 나머지 모든 미니 임플란트들도 제거되었으며 제거된 미니 임플란트들은 토크에 영향을 줄 수 있는 미니 임플란트 tip이나 thread의 변형이 없는지 확인하기 위해 공구현미경(MF-A1010H, Mitutoyo, Japan)을 이용하여 5배율로 관찰하였다 (Fig 5).

통계분석

계측치들은 SPSS 프로그램을 이용하여 분석하였다. Flute의 디자인에 따른 효과를 알아보기 위해 ANOVA test를 시행하였으며, 사후 검정으로 Tukey's test를 시행하였다.

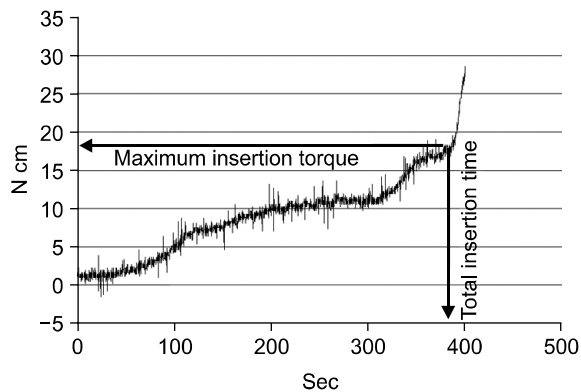


Fig 3. Graph showing the definition of maximum insertion torque and total insertion time.

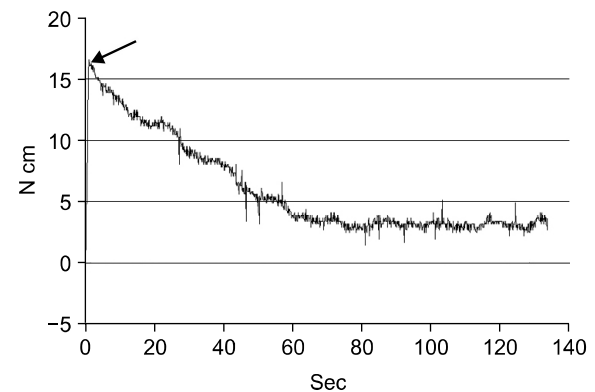


Fig 4. Graph showing the definition of maximum removal torque.

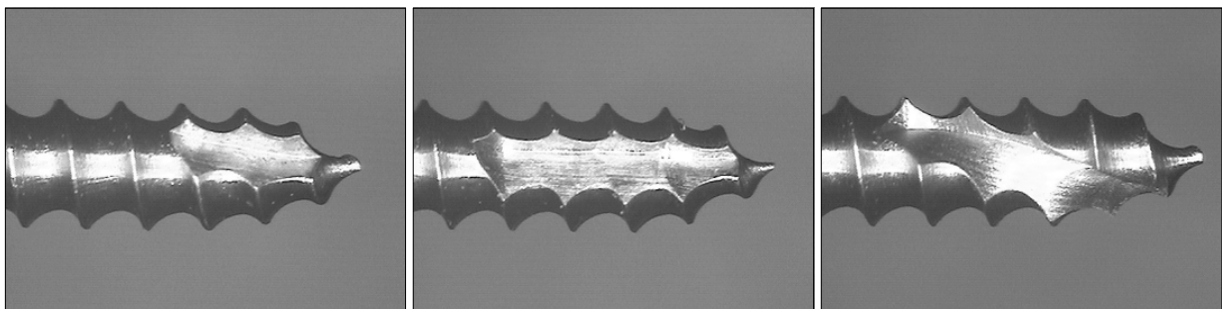


Fig 5. Microscopic evaluation of removed mini-implant to check for any distortion of screw tip and threads. Type A (left); Type B (center); Type C (right).

연구성적

총 삽입 시간(Total insertion time)

미니 임플란트를 식립하기 시작하여 최대 삽입 토크에 이르기까지의 시간을 측정한 결과 2 mm 두께의 피질골을 갖는 인공골에서는 세 군 간에 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다 (Table 2). 4 mm 두께의 피질골을 갖는 인공골에서도 A군과 B군 사이에는 통계학적으로 유의한 차이가 없었지만 C군의 미니 임플란트들은 다른 두 군에 비해 유의하게 총 삽입 시간이 짧았다 (Table 3). 피질골 두께가 2 mm에서 4 mm로 증가함에 따른 총 삽입 시간의 변화는 A군에서 가장 큰 증가를 보였으며, C군에서 가장 작은 증가를 보였다 (Fig 6).

최대 삽입 토크(Maximum insertion torque)

미니 임플란트의 식립 과정 중 나타나는 최대 토크를 비교한 결과, 2 mm 두께의 피질골을 갖는 인

공골에서는 A군이 다른 두 군에 비해 높은 값을 보였으나 (Table 2), 4 mm 두께의 피질골을 갖는 인공골에서는 C군, A군, B군 순으로 높은 토크 값을 보였으며 세 그룹 간의 차이는 모두 통계학적으로 유의하였다 (Table 3).

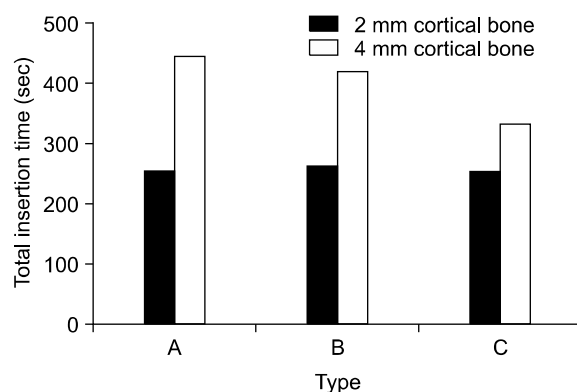


Fig 6. Total insertion time for each type of mini-implant. Type A, 2.6 mm long flute; Type B, 3.9 mm long and straight flute; Type C, 3.9 mm long and helical flute.

Table 2. Mean results and standard deviation (cortical bone thickness 2.0 mm)

	Type			Significance	Tukey
	A	B	C		
Total insertion time (sec)	253.5 ± 7.0	262.3 ± 13.0	252.6 ± 13.7	NS	A = B = C
Maximum insertion torque (Ncm)	22.3 ± 1.4	18.7 ± 1.5	18.9 ± 1.7	*	A > B = C
Maximum removal torque (Ncm)	13.4 ± 1.4	12.3 ± 1.4	12.8 ± 1.4	NS	A = B = C

Type A, mini-implant with 2.6 mm long flute; Type B, mini-implant with 3.9 mm long and straight flute; Type C, mini-implant with 3.9 mm long and helical flute; NS, not significant; *Statically significant, $p < 0.05$; Significance determined by Tukey's test.

Table 3. Mean results and standard deviation (cortical bone thickness 4.0 mm)

	Type			Significance	Tukey
	A	B	C		
Total insertion time (sec)	445.0 ± 42.9	419.7 ± 42.5	331.1 ± 25.6	*	A = B > C
Maximum insertion torque (Ncm)	17.0 ± 0.9	15.6 ± 1.3	19.6 ± 0.9	*	C > A > B
Maximum removal torque (Ncm)	10.0 ± 1.6	10.9 ± 1.5	14.6 ± 1.6	*	C > A = B

Type A, mini-implant with 2.6 mm long flute; Type B, mini-implant with 3.9 mm long and straight flute; Type C, mini-implant with 3.9 mm long and helical flute. Significance determined by Tukey's test. *Statically significant, $p < 0.05$.

최대 제거 토크(Maximum removal torque)

미니 임플란트의 제거 과정 중 나타나는 최대 토크를 비교한 결과, 2 mm 두께의 피질골을 갖는 인공골에서는 세 군 간에 유의할 만한 차이를 보이지 않았다 (Table 2). 하지만 4 mm 두께의 피질골을 갖는 인공골 시편에서는 C군이 다른 두 군에 비해 유의하게 높은 토크 값을 보였다 (Table 3). 제거된 미니 임플란트를 현미경을 이용하여 관찰한 결과 어떤 미니임플란트에서도 토크에 영향을 줄 수 있는 미니 임플란트 tip이나 thread의 변형은 관찰되지 않았다.

고찰

본 논문에 이용된 세 종류의 미니 임플란트들은 모두 Ti-6Al-4V 티타늄 합금으로 제작되었으며, cutting flute 부분을 제외한 다른 모든 요소들은 동일한 형태를 갖도록 제작하여 cutting flute만이 변수로 작용하도록 하였다. 또한 식립 부위의 피질골 두께 및 골밀도를 균일하게 하기 위하여 실험용 인공골을 사용하였다. Koistinen 등²⁷은 골밀도의 변화에 따라 삽입 토크가 변화하여 나이가 많은 사람보다 젊은 사람에서 더 높은 최대 토크를 보인다고 하였으며 Seebeck 등²⁸의 연구에서도 골밀도가 높을수록 pull-out strength가 증가한다고 보고하였다. 이번 연구에 사용된 Biomechanical Test Block (Sawbones Inc., USA)은 피질골에 해당하는 E-Glass-filled epoxy sheet와 수질골에 해당하는 solid rigid polyurethane foam을 acrylate bond를 이용하여 부착한 것으로서 실제 인간의 골밀도와 약간의 차이는 있지만, 밀도가 균일하여 인간 cadaver 시편보다 그 결과를 더 신뢰할 수 있으며, 조작 및 보관이 용이하다는 장점이 있다. Deguchi 등²⁹은 3D CT를 이용한 구강내 피질골 두께에 관한 연구에서 상악 제1대구치 전후방의 협측 피질골 두께는 각각 평균 1.8 mm, 1.5 mm, 하악은 각각 1.9 mm, 2.0 mm라고 하였으며 ANS 부위의 피질골 두께는 평균 3.6 mm라고 하였다. Liou 등³⁰도 3D CT를 이용하여 infrazygomatic crest 부위의 피질골 두께를 측정하였으며, 그 결과 교합평면에 대한 식립 각도에 따라 평균 5.2 mm에서 8.8 mm까지 다양하게 측정되었다. 따라서 이번 연구에서는 구강 내 식립 부위에 따른 피질골 두께의 차이를 재현하기 위해 피질골에 해당하는 E-Glass-filled epoxy sheet의 두께를 2.0 mm, 4.0 mm 두 가지로 가공

하였다. 본 논문에서는 또한 구동식 토크 시험기를 이용하였다. 기존의 논문들에서는 torque driver를 이용한 manual method를 이용함에 따라 회전속도 및 수직력이 일정치 않아 실험의 재현성 확보가 어려웠으나 구동식 토크 시험기를 이용함으로써 일정한 회전속도(3 rpm)와 수직력(1.14 kgf)을 유지할 수 있었고, 이에 따라 실험의 재현성을 확보할 수 있었다.

미니 임플란트 식립 시 총 삽입 시간이 길다는 것은 식립 과정에서 미니 임플란트가 골내로 진행하지 못하고 헛도는 횟수가 많다는 것을 의미한다. 이는 Yerby 등²⁵이 말한 것처럼 미니 임플란트 주변의 피질골에 형성된 bone thread를 마모시켜 미니 임플란트와 골 계면에서의 접촉 면적을 감소시키므로 미니 임플란트의 안정성을 떨어트리는 효과를 가져오게 된다. 본 실험 결과 피질골 두께가 2 mm 인 인공골 시편에서 총 삽입 시간은 A, B, C 세 군 사이에 통계적으로 유의할 만한 차이를 보이지 않았으나 4 mm 두께의 피질골에서는 C군이 다른 두 군과 비교하여 총 삽입 시간이 매우 짧은 것으로 나타났다. 또한 B군이 A군에 비해 다소 짧은 총 삽입 시간을 나타내었다. 또한 2 mm에서 4 mm로 피질골 두께가 증가할 때 C군의 총 삽입 시간이 가장 작게 증가하였으며, A군이 가장 크게 증가하였다 (Fig 6). 이러한 결과는 피질골의 두께 증가 시 cutting flute 길이와 형태가 모두 총 삽입 시간에 영향을 줄 수 있다는 것을 의미한다. 즉 A군의 cutting flute 길이는 2.6 mm로 2 mm 두께의 피질골을 통과하는 데에는 충분한 길이이지만 4 mm 두께의 피질골을 통과하기에는 부족하다고 할 수 있다. 그에 반해 B군과 C군의 cutting flute 길이는 3.9 mm로 4 mm 두께의 피질골을 통과하기에도 충분한 길이이다. 이러한 길이 차이로 인해 2 mm 두께의 피질골에서는 세 군 사이에 큰 차이를 보이지 않지만, 4 mm 두께의 피질골에서는 A군의 총 삽입 시간이 가장 길게 나타난 것으로 생각된다. 또한 4 mm 두께의 피질골에서 B군과 C군의 총 삽입 시간이 차이가 나는 이유는 cutting flute의 형태 때문인 것으로 생각된다. 즉 미니 임플란트를 식립할 때 직선형 cutting flute에서는 bone chip이 측방, 또는 하방으로 축적되는 반면, 식립 시의 회전방향으로 형성된 나선형 cutting flute는 tip에서 상방으로의 연결이 부드러워 bone chip이 자연스럽게 상방으로 밀리는 힘을 받게 될 것이다. 따라서 나선형 cutting flute를 갖는 C군이 직선형 cutting flute를 갖는 B군에 비해 식립 과정에서 회전

이 더 용이하다고 할 수 있다. 또한 나선형의 cutting flute가 미니 임플란트 내에서 차지하는 부피가 직선형보다 더 크므로(bone chip 배출공간이 더 크므로) bone chip의 배출이 더 용이하여 이러한 결과가 나온 것으로 생각된다.

최대 삽입 토크는 미니 임플란트의 초기안정성에 영향을 미치는 요소 중 하나이다. 너무 낮은 식립 토크는 안정성이 없는 반면 너무 높은 토크는 열, 기계적 손상으로 골 피사를 야기하거나 미니 임플란트의 파절을 야기할 수 있으므로 적절한 식립 토크가 요구된다. Motoyoshi 등³¹이 상하악 구치부에 미니 임플란트를 식립한 실험에서 5 - 10 Ncm 범위의 식립 토크가 가장 바람직하다고 보고한 바 있으나 실험용 인공골의 물성은 실제 인간의 골과는 다르기 때문에 차후 실험용 인공골을 이용한 실험에서의 적절한 삽입 토크에 대한 연구가 추가적으로 이루어져야 한다. 본 실험 결과 피질골 두께가 2 mm인 인공골 시편에서는 A군이 다른 두 군에 비해 높은 최대 삽입 토크를 나타내었다. 2 mm 두께의 피질골에서 세 군의 총 삽입 시간이 비슷하므로 미니 임플란트와 주변 골과의 접촉 면적은 비슷할 것으로 예상된다. 따라서 이러한 결과는 A군의 bone chip 배출공간이 다른 두 군에 비해 작기 때문인 것으로 생각된다. 즉 식립 과정에서 형성된 bone chip이 배출되지 못하고 미니 임플란트 tip 주위에 축적되어 미니 임플란트의 진행을 방해하기 때문에 삽입 토크가 증가하는 것이다. 4 mm 두께의 피질골에서는 C군이 가장 높은 최대 삽입 토크를 나타내었다. 이는 미니 임플란트와 골 계면에서의 접촉 면적과 관련이 있는 것으로 보인다. 즉 4 mm 두께의 피질골에서 C군은 다른 두 군에 비해 총 삽입 시간이 짧으므로 헛도는 과정 없이 식립 과정이 계속 진행되어 미니 임플란트 주변 피질골의 마모가 덜하다고 할 수 있다. 따라서 주변 피질골과의 접촉 면적이 넓어졌을 것이고 이에 따라 최대 삽입 토크가 증가했을 것이다. 2 mm와 4 mm 두께의 피질골에서 최대 삽입 토크를 비교했을 때 C군만 제외하고 다른 두 군은 오히려 2 mm 두께의 피질골에서 더 높은 최대 삽입 토크가 나타나는 것도 이러한 맥락에서 이해할 수 있을 것이다.

Song 등¹⁵은 모든 종류의 미니 임플란트에서 최대 삽입 토크보다는 최대 제거 토크가 작기 때문에, 이른바 토크 소실이 있다고 말하였다. 즉 나사부 끝까지 미니 임플란트를 삽입하여도 회전력을 제거하면 미니 임플란트가 식립된 물체와의 사이에서 힘의

평형관계를 이룰 때까지 조금 풀린다고 하였다. 따라서 미니 임플란트의 사용에 있어서 임상적으로 가장 중요한 요소는 최대 삽입 토크보다는 최대 제거 토크라고 할 수 있다. 그리고 최대 제거 토크는 미니 임플란트와 골 계면 사이의 접촉 면적에 의해 가장 큰 영향을 받는다. 피질골 두께가 2 mm인 인공골 시편에서 최대 제거 토크는 세 군 간에 차이가 없었다. 이는 식립 과정에서 미니 임플란트가 헛돌면서 발생할 수 있는 bone thread의 마모가 세 군에서 모두 비슷하기 때문으로 생각된다. 하지만 4 mm 두께의 피질골에서는 C군이 다른 두 군에 비해 높은 최대 제거 토크를 보이며, A군과 B군 사이의 차이는 통계적인 유의성이 없는 것으로 나타났다. C군과 B군의 cutting flute 길이가 같음에도 불구하고 최대 제거 토크가 차이를 보이는 이유는 앞에서도 설명했듯이 cutting flute의 형태 때문인 것으로 생각된다. 즉 식립 시의 회전 방향과 동일한 방향으로 형성된 나선형의 flute를 갖는 C군은 직선형의 cutting flute를 갖는 B군에 비해 미니 임플란트의 식립 시 회전이 용이하며, bone chip 배출공간이 더 크다고 할 수 있다. 따라서 미니 임플란트 식립 시 헛도는 과정이 적었을 것이고, 이에 따라 주변 골에 형성된 bone thread의 마모를 최소로 일으켜 미니 임플란트와 골의 접촉 면적이 넓어져서 이러한 결과가 나온 것으로 생각된다.

본 연구 결과 피질골 두께가 증가할 경우 cutting flute의 길이 및 형태 또한 삽입 및 제거 토크에 영향을 줄 수 있다는 것을 알 수 있었다. 따라서 ANS나 infrazygomatic crest와 같이 피질골이 두꺼운 부위에 미니 임플란트를 식립할 경우에는 미니 임플란트의 선택 시 cutting flute의 길이 및 형태 또한 고려되어야 한다. 하지만 이번 실험은 실험용 인공골에서 시행되었다는 점에서 실제 임상과 차이가 있다고 할 수 있다. 따라서 실제 임상에서 적용 가능한 결과를 얻기 위해서는 조직 계측학적 분석 및 시간에 따른 골조직의 재형성 등을 고려한 체계적인 동물실험이 필요하다고 생각한다.

결론

본 논문에서는 cutting flute의 길이 및 형태만 다루고 그 이외의 요소는 모든 균일한 세 종류의 미니 임플란트를 2 mm, 4 mm 두께의 피질골을 갖는 실험용 인공골에 식립하였다. 여섯 가지 조합별로 각각 10개씩 식립하였으며, 식립 시의 수직력 및 회전

속도를 일정하게 하기 위해 구동식 토크 시험기를 이용하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 총 삽입 시간을 비교해 보았을 때 피질골 두께가 2 mm인 인공골에서는 세 군 간에 차이가 없었다. 하지만 4 mm 두께의 피질골을 갖는 인공골에서는 C군이 가장 짧은 총 삽입 시간을 보였으며, 다음으로 B군, A군 순이었다.
2. 최대 삽입 토크를 비교해 보았을 때 2 mm 두께의 피질골을 갖는 인공골 시편에서는 A군이 다른 두 군에 비해 높은 값을 보였으나, 4 mm 두께의 피질골에서는 C군 > A군 > B군 순으로 높은 값을 보였다.
3. 최대 제거 토크를 비교해 보았을 때 피질골 두께가 2 mm인 인공골 시편에서는 세 군 사이에 차이가 없었으나 4 mm 두께의 피질골에서는 C군이 다른 두 군에 비해 높은 최대 제거 토크를 보였다.

본 연구를 통해 피질골 두께가 증가할 경우 cutting flute의 길이 및 형태 또한 삽입 및 제거 토크에 영향을 줄 수 있다는 것을 알 수 있었다. 따라서 피질골이 두꺼운 부위에 미니 임플란트를 식립할 경우에는 미니 임플란트의 선택 시 cutting flute의 길이 및 형태 또한 고려되어야 한다.

참고문헌

1. Kanomi R. Mini-implant for orthodontic anchorage. J Clin Orthod 1997;31:763-7.
2. Costa A, Raffaini M, Melsen B. Miniscrews as orthodontic anchorage a preliminary report. Int J Adult Orthodon Orthognath Surg 1998;13:201-9.
3. Park HS. A new protocol of the sliding mechanics with micro-implant anchorage (MIA). Korean J Orthod 2000;30:677-85.
4. Park HS. The skeletal cortical anchorage using titanium micro-screw implants. Korean J Orthod 1999;29:699-706.
5. Oh MY, Chung KR, Kwon YD, Ryu DM, Lee BS. The clinical use of miniscrew for intraoral anchorage (1). J Korean Dent Assoc 2000;38:18-21.
6. 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.
7. 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.
8. Kuroda S, Sugawara Y, Deguchi T, Kyung HM, Takano-Yamamoto T. Clinical use of miniscrew implants as orthodontic anchorage: success rate and postoperative discomfort. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2007;131:9-15.
9. Cheng SJ, Tseng IY, Lee JJ, Kok SH. A prospective study of the risk factors associated with failure of mini-implants used for orthodontic anchorage. Int J Oral Maxillofac Implants 2004;19:100-6.
10. Kuroda S, Yamada K, Deguchi T, Hashimoto T, Kyung HM, Takano-Yamamoto T. Root proximity is a major factor for screw failure in orthodontic anchorage. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2007;131(Suppl 4):68S-73S.
11. You ZH, Bell WH, Schneiderman ED, Ashman RB. Biomechanical properties of small bone screws. J Oral Maxillofac Surg 1994;52:1293-302.
12. Kim JW, Cho IS, Lee SJ, Kim TW, Chang YI. Mechanical analysis of the taper shape and length of orthodontic mini-implant for initial stability. Korean J Orthod 2006;36:55-62.
13. Kim JW, Cho IS, Lee SJ, Kim TW, Chang YI. Effect of dual pitch mini-implant design and diameter of an orthodontic mini-implant on the insertion and removal torque. Korean J Orthod 2006;36:275-83.
14. Yano S, Motoyoshi M, Uemura M, Ono A, Shimizu N. Tapered orthodontic miniscrews induce bone-screw cohesion following immediate loading. Euro J Orthod 2006;28:541-6.
15. Song YY, Cha JY, Hwang CJ. Evaluation of insertion torque and pull-out strength of mini-screws according to different thickness of artificial cortical bone. Korean J Orthod 2007;37:5-15.
16. Lim SA, Cha JY, Hwang CJ. Insertion torque of orthodontic miniscrews according to changes in shape, diameter and length. Angle Orthod 2008;78:234-40.
17. Heidemann W, Gerlach KL, Gröbel KH, Köllner HG. Drill free screws: a new form of osteosynthesis screw. J Craniomaxillofac Surg 1998;26:163-8.
18. Heidemann W, Gerlach KL, Grobel KH, Kollner HG. Influence of different pilot hole sizes on torque measurements and pullout analysis of osteosynthesis screws. J Craniomaxillofac Surg 1998;26:50-5.
19. Kim JW, Ahn SJ, Chang YI. Histomorphometric and mechanical analysis of the drill-free screw as orthodontic anchorage. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2005;128:190-4.
20. Kim JW, Chang YI. Effect of drilling process in stability of micro-implants used for orthodontic anchorage. Korean J Orthod 2002;32:107-15.
21. Kim YH, Choi JH. The study about retention of miniscrews used for intraoral anchorage. J Korean Dent Assoc 2001;39:684-7.
22. Ansell RH, Scales JT. A study of some factors which affect the strength of screws and their insertion and holding power in bone. J Biomech 1968;1:279-302.
23. Foley WL, Frost DE, Paulin WB Jr, Tucker MR. Uniaxial pull-out evaluation of internal screw fixation. J Oral Maxillofac Surg 1989;47:277-80.
24. Evans M, Spencer M, Wang Q, White SH, Cunningham JL. Design and testing of external fixator bone screws. J Biomed Eng 1990;12:457-62.
25. Yerby S, Scott CC, Evans NJ, Messing KL, Carter DR. Effect of cutting flute design on cortical bone screw insertion torque and pullout strength. J Orthop Trauma 2001;15:216-21.

26. Wikenheiser MA, Markel MD, Lewallen DG, Chao EYS. Thermal response and torque resistance of five cortical half-pins under simulated insertion technique. *J Orthop Res* 1995;13:615-9.
27. Koistinen A, Santavirta SS, Kröger H, Lappalainen R. Effect of bone mineral density and amorphous diamond coatings on insertion torque of bone screws. *Biomaterials* 2005;26:5687-94.
28. Seebeck J, Goldhahn J, Städele H, Messer P, Morlock MM, Schneider E. Effect of cortical thickness and cancellous bone density on the holding strength of internal fixator screws. *J Orthop Res* 2004;22:1237-42.
29. 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.e7-721.e12.
30. Liou EJW, Chen PH, Wang YC, Lin JC. A computed tomographic image study on the thickness of the infrazygomatic crest of the maxilla and its clinical implications for miniscrew insertion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007;131:352-6.
31. Motoyoshi M, Hirabayashi M, Uemura M, Shimizu N. Recommended placement torque when tightening an orthodontic mini-implant. *Clin Oral Implants Res* 2006;17:109-14.

Effect of cutting flute length and shape on insertion and removal torque of orthodontic mini-implants

Soon-dong Yun, DDS,^a Sung-hoon Lim, DDS, MSD, PhD^b

Objective: The purpose of this study was to evaluate the effect of length and shape of cutting flute on mechanical properties of orthodontic mini-implants. **Methods:** Three types of mini-implants with different flute patterns (Type A with 2.6 mm long flute, Type B with 3.9 mm long and straight flute, Type C with 3.9 mm long and helical flute) were inserted into the biomechanical test blocks (Sawbones Inc., USA) with 2 mm and 4 mm cortical bone thicknesses to test insertion and removal torque. **Results:** In 4 mm cortical bone thickness, Type C mini-implants showed highest maximum insertion torque, then Type A and Type B in order. Type C also showed shortest total insertion time and highest maximum removal torque, but Type A and B didn't showed statistically significant difference in insertion time and removal torque. In 2 mm cortical bone thickness, there were no significant difference in total insertion time and maximum removal torque in three types of mini-implants, but maximum insertion torque of Type A was higher than two other Types of mini-implants. **Conclusions:** Consideration about length and shape of cutting flute of mini-implant is also required when the placement site has thick cortical bone. (*Korean J Orthod* 2009;39(2):95-104)

Key words: Cutting flute, Total insertion time, Maximum insertion torque, Maximum removal torque

^aGraduate Student, ^bAssociate Professor, Department of Orthodontics, School of Dentistry, Chosun University.

Corresponding author: **Sung-hoon Lim.**

Department of Orthodontics, School of Dentistry, Chosun University, 421, Seoseok-dong, Dong-gu, Gwangju 501-825, Korea.

+82 62 220 3876; e-mail, shlim@chosun.ac.kr.

Received August 5, 2008; Last Revision October 30, 2008; Accepted November 2, 2008.