

자가 치아 이식술에 사용되는
Computer Aided Rapid Prototyping
model(CARP model)의 실제 치아에
대한 오차

연세대학교 대학원

치의학과

이 성 재

자가 치아 이식술에 사용되는
Computer Aided Rapid Prototyping
model(CARP model)의 실제 치아에
대한 오차

지도교수 이 승 중

이 논문을 석사 학위 논문으로 제출함

2005년 6월 일

연세대학교 대학원

치의학과

이 성 재

이성재의 석사 학위논문을 인준함

심사위원 _____인

심사위원 _____인

심사위원 _____인

연세대학교 대학원

2005년 6월 일

감사의 글

지난 2년의 대학원 생활을 마무리하는 이 논문 작성은 개인 스스로 많은 부족함을 느낌과 동시에 더욱 많은 노력의 필요성을 느낄 수 있는 계기가 되었습니다.

논문의 시작부터 끝까지 끊임없는 지도와 함께 가르침을 주신 이승종 교수님께 깊은 존경과 감사의 마음을 전합니다. 또한 논문 작성시 세세한 부분까지 신경 써주신 김기덕 교수님과 논문 제작에 있어 제가 생각하지 못했던 부분까지 준비해주시고 지적해주신 김의성 교수님께 감사드립니다.

제가 보존학 대학원 교실에 몸담는 동안 많은 가르침을 주셨던 이찬영 교수님과 박성호 교수님, 노병덕 교수님, 금기연 교수님, 정일영 교수님께도 감사드리며 실험 초기 많은 도움을 주셨던 해부학 교실 박현도 선생님도 감사드립니다.

대학원 생활을 함께 할 수 있었던 동기 여러분들에게도 감사의 말씀을 전하며 마지막으로 저를 세상에 있어 어느 누구보다도 사랑해주시는 부모님께 보내주신 사랑에 대한 깊은 감사를 드립니다. 또한 부모님을 비롯한 제 가족과 힘들 때 힘이 되어주던 친구들에게 이 논문을 바칩니다.

저자 씀

차 례

그림 차례	ii
표 차례	iii
국문요약	iv
I. 서론	1
II. 재료 및 방법	4
1. 실험 자료 수집	4
2. 전산화 단층 촬영	5
3. 실제 치아 계측점간 거리 측정	6
4. 3차원 영상 재구성 및 계측점간 거리 측정	7
5. CARP model sample의 선택, 제작 및 계측점간 거리 측정	10
III. 결과	13
IV. 총괄 및 고찰	17
V. 결론	25
참고 문헌	26
영문요약	36

그림 차례

Fig 1. Procedure of Computer Aided Rapid Prototyping model making in skull	2
Fig 2. Mx CT taking in dry state	5
Fig 3. Mx CT taking in wet state	6
Fig 4. Detail view of beak in digital caliper	7
Fig 5. V-works TM program (Segmentation to 3D tooth image model).....	8
Fig 6. Measuring with V-works TM program (mesio-distal width in crown and cervical portion).....	8
Fig 7. Measuring with V-works TM program (bucco-lingual width in crown and cervical portion).....	9
Fig 8. Plane parallel to long axis of tooth and distance from mesial height of contour of #11 tooth	10
Fig 9. Measuring the CARP model with digital caliper.....	11
Fig 10. Error distribution between real tooth and 3D CT image model.....	14
Fig 11. Error distribution between 3D CT image model and CARP model.....	15
Fig 12. Error distribution between real tooth and CARP model	15
Fig 13. Step configuration of surface irregularity due to CT image pixel size	21

표 차례

Table 1. Distribution of used teeth in making 3D CT image.....	4
Table 2. Distribution of CARP model teeth	11
Table 3. Average of absolute difference between <i>real tooth and 3D CT image</i> (n=53) (mm)	13
Table 4. Average of absolute difference between <i>real tooth and CARP model</i> (n=12) (mm)	14
Table 5. Real tooth size in maxilla (mm)	30
Table 6. Real tooth size in mandible (mm)	31
Table 7. 3D image dimension in wet state	32
Table 8. 3D image dimension in dry state	33
Table 9. CARP model size in wet state	34
Table 10. CARP model size in dry state	35

국문요약

카테바를 이용 상하악 block bone를 채득하여 dry 및 wet 상태로 전산화 단층 촬영을 시행하여 V-works 4.0™ (Cybermed Inc., Seoul, Korea) 소프트웨어를 이용 3차원 영상 모델 재구성 및 CARP 모델을 제작한 후 각각 실제 치아 및 3차원 영상모델과 CARP 모델에서의 치관의 근원심측 및 협설측 최대 풍융부간의 거리와 치경부에서의 근원심측 및 협설측 거리를 측정하여 서로간에 나타난 오차값에 대하여 절대값을 적용, 실제 치아와 3차원 영상모델에 있어 오차 비교 분석을 시행함과 동시에 또한 오차의 분포를 분석하여 각 그룹에 있어 확대 및 축소 경향을 분석하였다.

이번 실험을 통해 나타난 실험 결과로는

1) 실제 치아와 3차원 영상 모델 사이의 절대값 오차는 평균 0.199 mm, 3차원 영상 모델과 CARP 모델간의 절대값 오차는 평균 0.169 mm, 실제 치아와 CARP 모델 사이의 절대값 오차는 평균 0.291 mm를 보였다.

2) 실제 치아와 3차원 영상모델의 절대값의 오차값 비교 분석시 치관과 치경부에 있어서는 유의한 차이가 없었으나 상악과 하악간, wet state와 dry state간에 유의성 있는 차이가 관찰되었다.

3) 실제 치아에 대한 3차원 영상 모델과 CARP 모델의 확대 및 축소 경향 분석을 위한 단순 오차의 분포 분석시 실제 치아에 비해 3차원 영상 모델이 축소되는 경향을 나타냈으며, CARP 모델은 3차원 영상 모델에 비해 축소되는 경향을 나타냈다. 또한 CARP 모델 역시 실제 치아에 비해 축소되는 경향을 보였다.

4) 상대적인 축소량에 대한 평균값을 산정시 각각 3차원 영상 모델은 실제 치아에 비해 평균 0.149 mm, CARP모델은 3차원 영상 모델에 비해 평균 0.067 mm로 CARP 모델은 실제 치아에 비해 총 0.216 mm의 축소를 나타냈

다.

이상의 결과로 미루어 볼 때 CARP 모델의 사용은 자가 치아 이식술에서 수용부 골와동의 정밀성을 높이는데 기여하여 수술의 성공 가능성을 높일 수 있을 것으로 생각된다.

핵심되는 말 : 치아이식, 공여치, 수용부 골형성, 3차원 영상 모델, 급속조형술, 절대 오차

자가 치아 이식술에 사용되는 Computer Aided Rapid Prototyping model(CARP model)의 실제 치아에 대한 오차

<지도교수 이 승 종>

연세대학교 대학원 치의학과

이 성 재

I. 서 론

자가 치아 이식이란 이용 가능한 공여치(Donor tooth)가 있는 경우에 소실된 치아에 대한 수복 방법 중 하나로써 같은 종의 동일 개체 내에서 한 치아를 원래 위치에서 소실된 치아 부위인 다른 위치로 이식하는 것을 의미한다(Guralnick과 Shulman 1962, Soder와 Lundquist 1973). 최근 의학 기술의 발달과 동반되어 많이 행해지고 있으며, 성공률 또한 여러 학자들에 의해 많이 보고되고 있다(Nordenarm 1963, Andreasen과 Hjorting-Hansen 1970, Nethander와 Andreasen 1988, Andreasen 1990, Bauss와 Schwestka-Polly 등 2005). 이런 자가 치아 이식술시 주로 사용되는 공여치로는 미성숙 제 3 대구치가 가장 많이 사용되고 있으며, 성숙 제 3 대구치 또는 교정 목적으로 발거되는 소구치도 또한 많이 이용되고 있다.

자가 치아 이식술 시행시 그 예후에 영향을 미치는 주요한 인자로는 공여치의 치근면에 존재하는 건전하고 생활력있는 치주인대 세포의 유지를 들 수 있다. 이는 자가 치아 이식술 시술시 피할 수 없는 공여치의 구강 외 노출 시간 및 그 저장 용액 등에 의해 많은 영향을 받는다(Andreasen

1981, Hammarstroem과 Blomloef 등 1989). 예후에 영향을 미치는 또 다른 중요 인자로는 피이식 치조골과 이식된 치아의 치근면 사이의 간격으로써 피이식 치조골과 이식된 치아의 치근면이 긴밀한 접촉을 이룰 경우 치주인대 내로의 혈류 공급이 원활하게 이루어져 자가 치아 이식의 성공률을 높일 수 있다(Nethander 1995). 피이식 치조골을 공여치와의 긴밀한 접촉을 이룰 수 있도록 형성하기 위해서 종전에는 공여치를 먼저 발거한 후 그에 맞도록 치조골 성형을 시도함으로써 공여치의 구강 외 노출 시간이 오래 걸리게 되는 문제점을 갖고 있었다.

Lee 등 (2001, 2005)은 이런 문제점을 보완하고자 Computer Aided Rapid Prototyping model(이하 CARP 모델)을 이용하여 미리 공여치와 똑같은 모양의 모델 치아를 제작, 자가 치아 이식술에 사용하였다. 사용된 CARP 모델이란 컴퓨터를 이용한 3차원 CAD모델에서 단면을 생성하여 적층 방식으로 모형을 제작하는 기술을 말한다. 이의 원리는 층 단면에 수직 방향으로 밑에서부터 순서대로 적층하여 실제 모델 형상을 물리적으로 재현해내는 것이다(Figure 1).

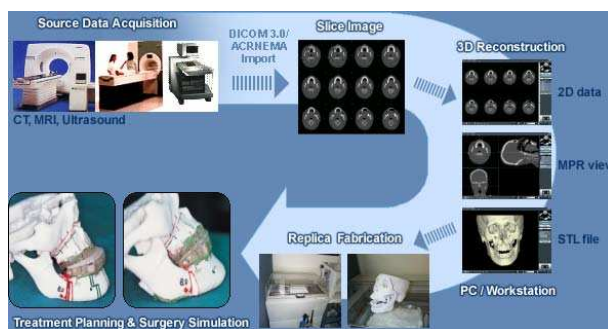


Figure 1. Procedure of Computer Aided Rapid Prototyping model making in skull.

Lee 등 (2001)은 이 CARP 모델을 이용한 수술과정에서 공여치의 구강 외 소요시간을 평균 7.4분으로 줄일 수 있었으며, 또한 피이식 치조골과 이식치 치근면간의 간격 또한 근심 치경부에서 0.93mm, 근심 치근단에서

0.96mm, 원심 치경부에서 1.03mm, 원심 치근단에서 1.19mm로 보고하였다. 또 이러한 CARP 모델은 ECIR(extra-canal invasive resorption)과 같은 치근흡수 등이 있을 때 치료계획을 수립을 위해 사용되기도 한다(Kim E, Kim KD, Roh BD, Cho YS, Lee SJ 2003). 그러나 이러한 CARP 모델이 실제 치아와 비교시 어느 정도의 오차가 존재하는지에 대해서는 보고된 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 CARP 모델과 CARP 모델의 중간 단계인 3차원 영상 모델(3D CT image model) 그리고 실제 치아간의 크기 오차 측정을 통해 CARP 모델의 효용성과 정확성에 대해 평가해보고자 한다.

II. 실험 재료 및 방법

1. 실험 자료 수집

기증된 카데바 중 치열이 비교적 완전한 사체 2구 상하악 치아를 대상으로 하였으며, 총 53개 치아를 이용하였다. 상악은 치아의 치근이 손상받지 않는 위치인 상악동 부위에서 비강의 하연을 따라 절단후 block으로 채득하였으며, 하악은 상행지의 중간지점에서 절단후 마찬가지로 block으로 채득하였다. 부착된 잔존 연조직들은 박리과정을 통해 제거하였다. 치열에 존재하는 금속 수복물로 인한 CT 영상의 선상 오류(Klotz와 Ernst 등 1990)를 제거하기 위해 존재하는 모든 고정성 의치 등의 금속 수복물을 제거하였다. 첫번째 상악 표본 골에서는 14개, 두번째 상악 표본 골에서는 11개, 첫번째 하악 표본 골에서 16개, 두번째 하악 표본 골에서 12개로 상악 치아 총 25개, 하악 치아 총 28개이며, 악궁내 분포에 있어서 전치부 22개, 소구치 15개, 대구치 16개의 치아 샘플을 이용하였다(Table 1).

Table 1. Distribution of used teeth in making 3D CT image

	Maxilla 1	Maxilla 2	Mandible 1	Mandible 2	Total
Anterior Tooth	6	5	6	5	22
Premolar	4	3	4	4	15
Molar	4	3	6	3	16
Total	14	11	16	12	53

2. 전산화 단층 촬영

전산화 단층 촬영(Computed Tomography)은 연세대 구강악안면방사선과에서 CT HiSPEED Advantage 전산화 단층 촬영장치(GE medical system, Milwaukee, USA)를 이용하여 high resolution algorithm, 512 x 512 matrix, 120kV, 200mA 조건하에서 1mm slice thickness로 연속적인 횡단면 전산화 단층 촬영을 시행하였다.

실험군은 각각의 표본골인 상하악 4개 모두에 대해 dry state 및 wet state 2번씩 촬영을 시행하였다.

첫번째로 각각의 골을 건조된 상태로 플라스틱 통 내부에 위치시켜 실제 임상에서의 촬영시 위치되는 악골의 방향과 유사한 위치로 설정하여 dry state에서 먼저 촬영하였다. 그 후 두번째로 dry state에서 사용된 플라스틱 통 내부에 상하악골을 dry state와 마찬가지로 실제 임상에서 촬영시와 유사한 위치로 악골을 위치시킨 후 wet 조건을 부여하기 위해 물로 채워 표본골이 완전히 잠긴 상태로 설정하여 전산화 단층 촬영을 시행하였다(Figure 2와 3).



Figure 2. Mx CT taking in dry state



Figure 3. Mx CT taking in wet state

3. 실제 치아 계측점간 거리 측정

전산화 단층 촬영 후 각각의 표본 골에 있는 치아에 대해 발거를 시행하였으며, 발거된 개개 치아에 대해 계측점간 길이 측정을 시행하였다. 치아의 길이 측정은 치아 고유의 해부학적인 지점을 이용, 다음 4가지 부위에서 시행하였다.

- 1) Mesio-distal width in crown portion : Distance between mesial and distal height of contour
- 2) Bucco-lingual(=labio-palatal) width in crown portion : Distance between buccal (=labial) and lingual(=palatal) height of contour
- 3) Mesio-distal width in cervical portion
- 4) Bucco-lingual(=labio-palatal) width in cervical portion

실제 치아의 길이 측정은 디지털 캘리퍼 (Mitutoyo Corp., Utsunomiya, Japan)를 사용하였으며, 이는 치아의 장축에 평행하게 캘리퍼의 측정날을

위치시킨 후 시행하였다. 치관 부위에서의 최대 풍융부간의 거리는 캘리퍼의 측정날중 평평한 평면부위를 치아 표면에 위치시킴으로써 정확한 최대 풍융부간의 거리 측정이 이루어지도록 하였으며, 치경부에서 거리는 캘리퍼의 측정날중 날카로운 부위로서 법랑질에서 백악질로 이행되는 부위인 치경부가 정확히 설정되도록 하였다(Figure 4).



Figure 4. Detail view of beak in digital caliper

4. 3차원 영상 (3D CT image) 재구성 및 계측점간 거리 측정

CT 단말 장치의 영상 자료들을 개인용 컴퓨터로 옮긴 후 V-works 4.0TM (Cybermed Inc., Seoul, Korea) 소프트웨어를 이용하여 모든 치아에 대해 3차원 전산화 단층 영상 (3D CT image)으로 재구성하는 작업을 수행하였다 (Figure 5).

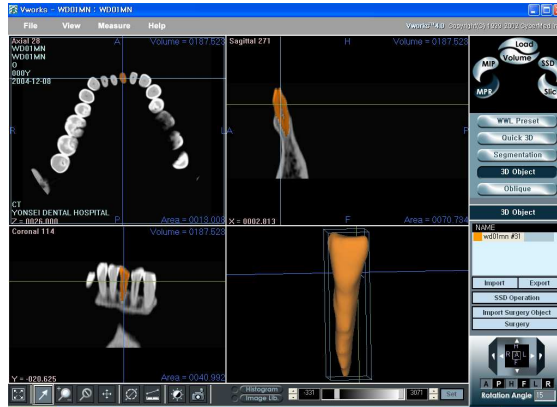


Figure 5. V-works™ program(Segmentation to 3D tooth image model)

3차원 전산화 단층 영상으로 재구성하는 과정은 본 저자 1인에 의해 행해졌다. 또한 3차원 영상 모델 제작 과정 중의 임계치(threshold value)는 1000으로 설정하여 진행하였다.

재구성된 3D CT 영상에 대해 V-works 4.0™ 내의 자체 계측 프로그램을 이용하여 앞서 발거된 실제 치아에서 설정된 부위간의 길이 측정을 시행하였다(Figure 6과 7).

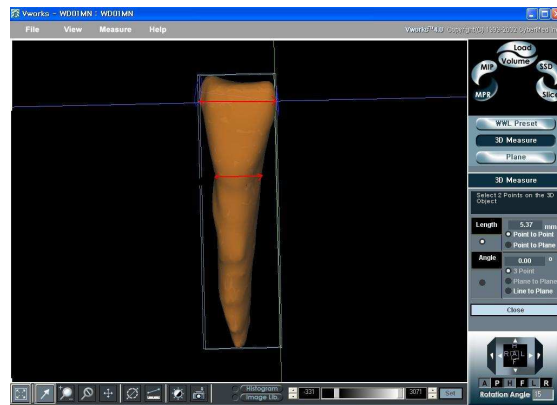


Figure 6. Measuring with V-works™ program(mesio-distal width in crown and cervical portion)

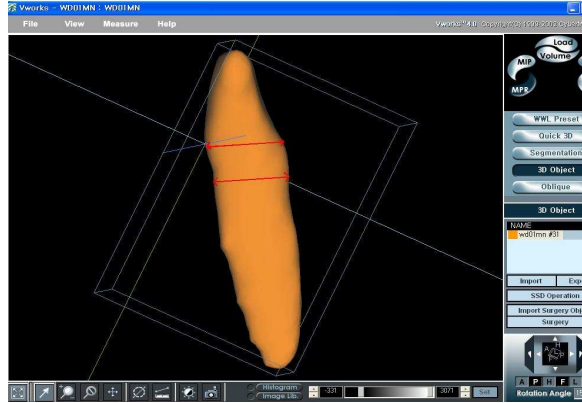


Figure 7. Measuring with V-works™ program(bucco-lingual width in crown and cervical portion)

길이 측정은 우선 V-works 4.0™ 프로그램내에서 3차원 영상 모델인 SSD 이미지를 모니터에 실행시킨 후 실제 치아에서 캘리퍼를 이용해 측정했던 포인트를 재현하기 위하여 실제 치아에서의 측정시 기준으로 사용되었던 치아 장축에 평행하게 설정된 캘리퍼의 측정날과 평행한 평면을 모니터 상의 3차원 영상 모델에 설정하였다. 이는 모니터에 표현된 3차원 영상 모델상에 3점을 지정해 줌으로써 원하는 치아 장축과 평행한 평면이 설정 가능하였다. 그리고 설정된 평면과 치관 부위의 근심측 최대 풍융부사이의 수직 거리 및 설정된 평면과 원심측 최대 풍융부사이의 수직 거리를 합산하여 Mesio-distal width in crown portion 거리를 구하였으며, Bucco-lingual(=labio-palatal) width in crown portion 역시 앞서 설정된 평면과 마찬가지로 치아 장축에 평행한 평면과 협설측 최대 풍융부사이의 거리를 합산하여 구하였다(그림 7). 치경부에서도 치관에서의 거리 측정과 마찬가지로 치아 장축에 평행한 평면과 치경부에서의 근원심측 및 협설측 지점과의 거리를 합산하여 구하였다.

3차원 영상모델의 길이 측정은 V-works 4.0™ 프로그램에서 거리 측정을 위해 미리 계획된 1점과 평면을 설정시 점과 설정된 평면간의 수직거리가 mm단위로 소수 둘째 자리까지 표현되었으며 이 data를 3차원 영상 모델의 측정값으로 이용하였다(Figure 8).

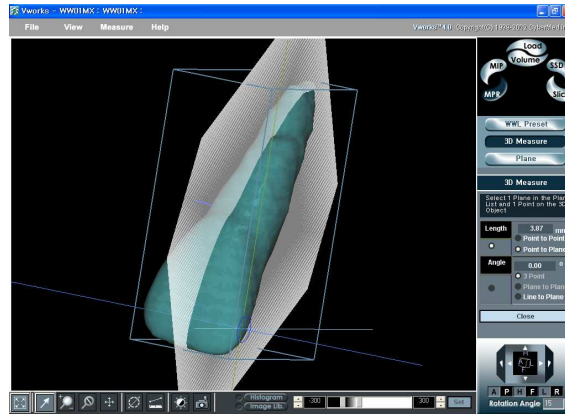


Figure. 8. Plane parallel to long axis of tooth and distance from mesial height of contour of #11 tooth

길이 측정시 정확한 최대 풍융부등의 위치 및 평면을 지정해주기 위하여 3차원 영상 모델의 회전을 통해 axial view, coronal view, sagittal view에서 위치를 재확인하였다.

5. CARP model sample의 선택, 제작 및 계측점간 거리 측정

재구성된 3차원 영상 모델중 CARP 모델 제작을 위해 상하악 전치 및 소구치, 대구치에 대해 각각 2개씩을 임의로 추출하였다. 상악 6개, 하악 6개 총 12개의 치아 샘플이 선정되었으며(Table 2), 각각의 치아에 대해 각각 dry state 및 wet state의 CARP 모델을 Cybermed사(Cybermed Inc., Seoul, Korea)에 제작 의뢰하여 총 24개의 CARP 모델이 제작되었다. 제작된 CARP 모델은 3D printing 기법으로써 starch를 재료로 제작되었으며, 방사선 크기의 100%로 제작을 의뢰하였다.

Table 2. Distribution of CARP model teeth

	Maxilla	Mandible	Total
Anterior Tooth	2	2	4
Premolar	2	2	4
Molar	2	2	4
Total	6	6	12

제작된 CARP 모델에 대하여 길이 측정은 실제 치아에서 행해진 부위 및 측정기구등과 방법등을 동일하게 행하였으며, 이 값을 CARP 모델의 측정값으로 이용하였다(Figure 9).



Figure 9. Measuring the CARP model with digital caliper

실제 치아 및 3차원 영상 모델, CARP 모델에서의 길이 측정은 측정 오차를 배제하기 위하여 본 저자 1인에 의해 시행되었다.

3차원 영상 모델과 실제 치아 그리고 CARP 모델과 실제 치아 그리고 3차원 영상 모델과 CARP 모델간의 크기 오차를 비교하였으며, 또한 각각의 경우에 있어 상악과 하악, wet state와 dry state, 치관과 치경부에서의 크기 오차 상관관계를 t-test를 이용하여 검증하였다. t-test는 Window SAS (statistical analysis system) 8.2 통계패키지(SAS Institute, Inc. U.S.A)를 이용하였으며, 각 군에서의 오차 비교는 각 오차의 절대값의 평균(average of absolute)을 이용, 오차 크기 차이로 산정하였다. 또한 3차원 영상 모델 및 CARP 모델의 확대 및 축소 경향 분석을 위해 단순 오차에 대한 분석도 시행하였다.

III. 결 과

실제 치아와 3차원 영상 모델 및 CARP 모델에서의 측정값은 표 5~10과 같다. 이를 바탕으로 실제 치아와 3차원 영상 모델 사이에서의 절대값 오차는 wet state에서는 0.181 mm, dry state에서는 0.217 mm로써 두 값 사이에 통계적인 유의차가 있었으며, 총 평균은 0.199 mm를 보였다(Table 3). 3차원 영상 모델과 CARP 모델간의 절대값 오차는 평균 0.169 mm를 나타냈다. 그리고 실제 치아와 CARP 모델 사이에서의 절대값 오차 또한 wet state에서는 0.298 mm, dry state에서는 0.283 mm로써 총 평균 0.291 mm를 보였다(Table 4). 실제 치아와 3차원 영상 모델간의 절대값 오차량에 비해 실제 치아와 CARP 모델과의 절대값 오차량이 3차원 영상 모델과 CARP 모델간의 차이로 인해 약간 더 크게 나타났다. 실제 치아와 3차원 영상 모델에서의 상악과 하악, wet state와 dry state, 치관부와 치경부에서 절대값 오차 통계 분석을 통한 상관관계는 표 3과 같이 나타났다.

Table 3. Average of absolute difference between *real tooth and 3D CT image* (n=53) (mm)

	Crown	Cervical	Wet	Dry	Maxilla	Mandible	Total
Absolute Average	0.199	0.193	0.181	0.217	0.181	0.216	0.199
Standard Deviation	0.112	0.122	0.104	0.125	0.107	0.122	0.116
p-value	0.9838		0.0010		0.0176		

Table 4. Average of absolute difference between *real tooth and CARP model* (n=12) (mm)

	Crown	Cervical	Wet	Dry	Maxilla	Mandible	Total
Absolute Average	0.263	0.318	0.298	0.283	0.327	0.255	0.291
Standard Deviation	0.263	0.309	0.295	0.282	0.355	0.194	0.287

실제 치아와 3차원 영상 모델에서의 절대값 오차에 대한 통계학적 분석 시 상악에 비해 하악이, wet state에 비해 dry state가 더 큰 절대값 오차를 보이며 이 차이는 통계학적인 유의성을 나타낸 반면 치관부와 치경부에서의 절대값 오차는 통계학적인 유의성을 보이지 않았다.

실제 치아에 대한 3차원 영상 모델과 CARP 모델의 확대 및 축소 경향 분석을 위한 단순 오차의 분포 분석시 실제 치아와 3차원 영상 모델간에 있어 실제 치아에 비해 3차원 영상 모델이 축소되는 경향을 나타냈으며, CARP 모델은 3차원 영상 모델에 비해 축소되는 경향을 나타냈다(Figure 10).

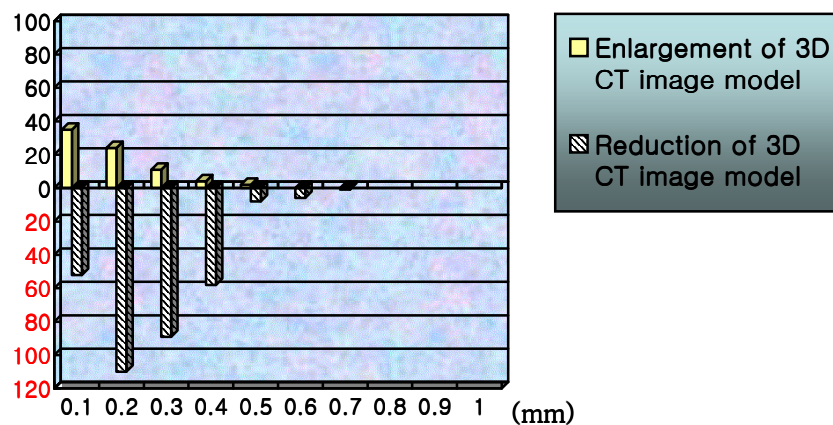


Figure 10. Error distribution between real tooth and 3D CT image model

실제 치아와 CARP 모델에 있어서 역시 CARP 모델이 축소되는 경향을 보였다(Figure 11과 12).

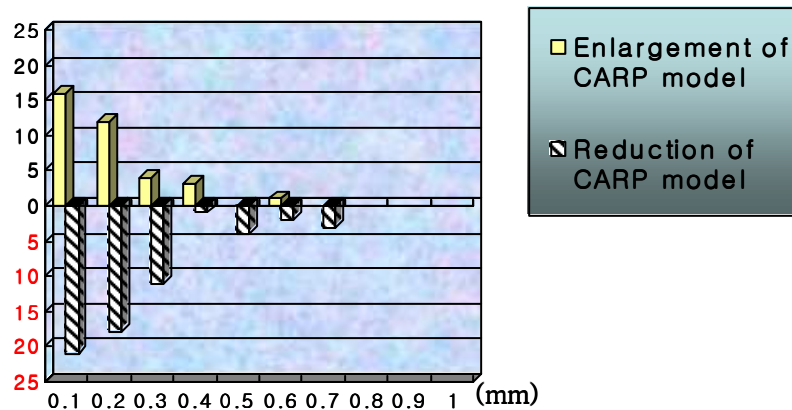


Figure 11. Error distribution between 3D CT image model and CARP model

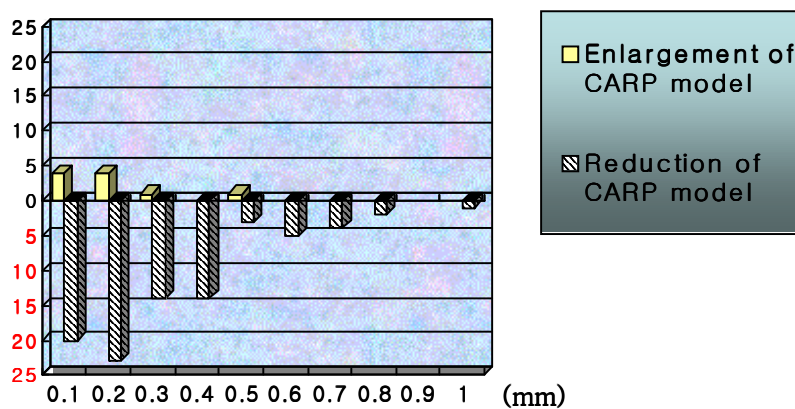


Figure 12. Error distribution between real tooth and CARP model

축소된 양에 대한 평균값을 산정시 3차원 영상 모델은 실제 치아에 비해 평균 0.149 mm의 축소를 보였고, CARP 모델은 3차원 영상 모델에 비해 평균 0.067 mm의 축소를 보였으며, CARP 모델은 실제 치아에 비해 총 평균 0.216 mm의 축소를 나타냈다.

IV. 총괄 및 고찰

Computer Aided Rapid Prototyping (CARP) 모델이란 3차원 CAD 소프트웨어에서 디자인된 데이터를 실물과 동일한 양상으로 생성된 복제품을 의미하는 용어이며, 초창기에는 공업용으로 제작되어 사용되어 왔으나 1980년에 최초로 3차원 재구성 영상이 임상에 적용된 이래로(Herman과 Coin 1980) 최근에는 두개 안면 부위의 발육장애의 진단, 두개 안면부 재건 수술 및 두경부 병소(Ray, Mafee, Friedman, Tarmoressi 1993, Cavalcanti와 Vannier 1998), 자가 치아 이식술(Lee SJ, Jung IY, Lee CY, Choi SY, Kum KY 2001) 등에 이용되어져 왔다.

이러한 CARP 모델의 임상적 접근은 시간과 비용이 많이 든다는 단점이 있으나 이용시 임상에서 여러 가지 장점을 부여한다. 이는 각 개인에 따른 구조물의 고유한 해부학적 관계를 술전에 미리 더 잘 이해할 수 있으며, 또한 필요시 수술 전 CARP 모델을 이용 모의 수술을 통해 실제 수술에서의 접근성을 높일 수 있다. 또한 모의 수술을 통해 수술 중 구조물 위치 파악의 정확도를 높일 수 있으며, 영상 자료 및 모델 자료 등의 저장을 통해 교육 자료로 재이용할 수 있는 장점이 있다. 그러나 이 CARP 모델이 임상에 올바르게 적용되기 위해서는 실물과 거의 유사한 크기 및 모양이 되도록 제작되는 것이 중요하다. 그에 따라 CARP 모델의 정확도에 대한 관심이 주요 과제로 대두되고 있다. 실제 구조물과 3차원 영상 모델 및 CARP 모델간의 정확도에 대한 이전 연구에 의하면 Richtsmeier 등 (1995)은 건조 두개골과 3차원 영상 모델간 평균 0.17 mm의 오차가 있음을 보고하였고, Kraskov 등 (1996)은 3차원 영상모델과 CARP 모델간의 계측치 차이가 1.98 mm정도라고 보고하였다. Baker 등 (1994)은 건조 두개골과 CARP 모델간에 평균 0.85 mm 오차를 보인다고 보고하였고, Lill 등 (1992)은 건조 두개골과 CARP 모델간의 선계측치 평균 차이가 1.47 mm라고 보고하였다. 최 등 (1999)은 건조 두개골과 3차원 영상 모델간에는 0.49 mm, 3차원 영상 모델과 CARP 모델간에는 0.59 mm, 건조 두개골과 CARP 모델간에는 0.64 mm의 절대값 평균을 보인다고 보고하였다. 그러나 이들 연구들은 모두 건

조 두개골을 이용한 실험들이며 그에 따른 결과를 보고하고 있다. 하지만 본 연구에서는 두개골이 대상이 아닌 자가 치아 이식을 위한 공여치에 대한 비교 실험을 수행하여 치아에 있어서 실제 치아 및 3차원 영상모델, CARP 모델간의 크기 차이에 대해 연구 조사하였다. 또한 예전 연구에서는 dry 상태의 두개골을 이용하여 실험을 임한 반면, 본 연구에서는 dry state 및 보다 임상과 유사한 상태를 만들하고자 전산화 단층 촬영시 근육등의 연조직 재현을 위해 자문을 구하고 조사하였으나 이전 연구에서 전산화 단층 촬영시 연조직 재현에 대한 증거를 찾을 수 없었다. 그리하여 이전 연구에서의 dry 상태보다 좀 더 연조직에 가까운 조건을 부여하기 위해 전산화 단층 촬영시의 각 구조물에 따른 단위인 Hounsfield units (HU)을 이용, wet state에서 실험을 시행하였다. 전산화 단층 촬영시의 HU값에 있어서 공기는 -1000 HU이며 물은 0 HU의 값을 보인다고 알려져 있다. Gedrange 등 (2005)은 저작근에 있어서 HU값은 50~60 HU를 보임을 보고하였다. 그러므로 일반 공기중의 dry state보다는 wet state가 좀 더 연조직이 부착된 임상 상황에 가깝다고 볼 수 있다. 이를 토대로 본 실험에서는 dry 및 wet state에서 실험을 진행하였다. 본 연구에서 결과로 보인 실제 치아와 3차원 영상 모델 사이에서의 절대값 오차는 wet state에서는 0.181 mm, dry state에서는 0.217 mm로써 총 평균 0.199 mm이며, 실제 치아와 CARP 모델 사이에서의 절대값 오차 또한 wet state에서는 0.298 mm, dry state에서는 0.283 mm로써 총 평균 0.291 mm를 보였으며, 실제 치아와 비교시 CARP 모델보다 3차원 영상 모델이 좀 더 실제 치아와의 오차가 작게 나타났으며 이를 통해 3차원 영상 모델이 CARP 모델에 비해 좀 더 실제 치아와 비슷한 크기를 보임을 알 수 있다. 실제 치아 및 3차원 영상 모델, CARP 모델에서의 측정값은 표 5~10과 같이 나타났다.

치아간에 있어서 실제 치아와 3차원 영상 모델간에 발생하는 절대값 오차에 대해 살펴보면 전치부가 평균 0.202 mm, 소구치가 평균 0.18 mm, 대구치가 평균 0.224 mm로써 치아간에 따른 절대값 오차에 있어서도 차이를 나타냈다.

본 실험에 있어 실제 치아와 3차원 영상모델간에 발생하는 오차에 있어 치관과 치경부에서의 차이는 크게 보이지 않았으나 wet state와 dry state 및 상악과 하악에 있어서는 그 차이가 좀 더 큰 수치를 보였으며 이는 또한

통계학적으로 유의성 있는 차이를 보였다. 이와 같은 결과를 보인 것에 대해서 상악과 하악에서의 차이는 상악골과 하악골 골조직 자체의 밀도차에 의한 것으로 생각되며, wet state와 dry state에서의 차이는 여러 가지 생각해 볼 수 있으나 공기와 물이 각각 고유의 Hounsfield units(이하 HU)을 가짐으로써 3차원 전산화 단층 촬영시에 생기는 partial volume effect등으로 인해 유발된 것으로 생각된다. 이는 치아와 공기의 HU 차이가 치아와 물과의 HU 차이에 비해 상대적으로 아주 높은 값을 보임으로써 나타나게 되는 것으로서, 치아와 공기 사이의 큰 HU 차이에 의해 치아면이 1 pixel 내에 위치된 경우 그 pixel은 둘 사이에서의 1가지 data로 표현되기 때문에 치아와 공기 사이의 경계면을 정확히 재현해내지 못하게 된다. 그러나 치아와 물 사이의 HU 차이는 치아와 공기 사이에 비해 차이값이 작으므로 pixel 내에 위치된 치아면의 경우 전자의 경우에 비해 좀 더 정확한 경계면의 재현이 이루어지는 것으로 인한 것이다. 이를 통해 나타나는 3차원 영상 이미지 상에서 HU 차이로 인한 치아면의 불규칙한 왜곡이 HU 차이가 크게 나타나는 dry 상태에서 더 많이 생김으로써 크기 오차가 좀 더 크게 나타나 절대값 오차가 크게 나타난 것으로 생각된다.

이외에도 이처럼 실제 치아와 3차원 영상 모델, CARP 모델 간에 있어 오차를 초래하는 여러 실험단계의 오차 요인을 생각해볼 수 있으며, 이에 대한 고려가 필요하다. CARP 모델 및 3차원 영상 모델에 대한 오차에 대한 이전의 연구들을 살펴보면 최 등은 건조 두개골을 이용한 3차원 영상 모델과 CARP 모델간의 오차 측정 연구에서 오차 발생요인을 다음과 같은 단계로 정리하였다(최진영,최정호,김남국,이종기,김명기,김명진,김영호 1999). 그는 CT 촬영단계의 오차, 3차원 영상 모델 생성 단계의 오차, CARP 모델 제작 단계의 오차, 계측 오차 이렇게 4단계에서의 오차 발생을 제시하였다. 본 실험에서 pixel과 voxel의 크기로 인한 volume average effect와 골이 얇은 부분이나 칩점 또는 변연부에서의 정확한 영상의 재현이 어려움 등은 불가피한 것으로 생각된다. 그리고 3차원 영상 모델제작시의 주 오차요인으로 생각되는 임계치(threshold value)에 있어서 최 등 (1999)은 상악골은 700, 하악골은 800의 값을 사용시 가장 좋은 결과를 얻을 수 있다고 보고하였다. 그러나 이 또한 상악 및 하악골에 대한 값이며 치아에 대한 적절한 임계치는 아직 알려져 있지 않은 상태이다. 임계치 변화에 따른 CARP 모델의 크

기가 서로 다르게 나타나는 이유로는 임계치가 적정 수준보다 높은 경우 원하는 조직이 소실되어 보일 수 있으며, 임계치가 낮은 경우에는 원하는 조직 이상의 가상의 조직이 생성되어 보일 수 있는 것이다. 그러나 이전에 연구들은 상악골과 하악골과 같은 골조직에 대한 연구에 치우쳤으며, 치아에 대한 임계치에 대한 연구는 거의 전무한 상태였다. 이에 치아의 3차원 영상 모델에 대한 임계치 설정에 있어서는 실제 임상에서 CARP 모델을 제작하는 Cybermed사(Cybermed Inc., Seoul, Korea)의 조언을 통해 임계치를 1000으로 설정하여 실험을 진행하였다. 이 또한 실험적으로 증명된 최상의 임계치가 아닌 경험적으로 얻어진 값이므로 실험 결과에 나타나는 오차에 많은 영향을 끼쳤으리라 생각된다. 그러므로 이에 대한 부가적인, 즉 치아에 대한 적절한 임계치에 대한 연구가 시행됨으로써 실제 치아와 3차원 영상 모델, CARP 모델에서의 절대값 오차 측정 연구에 많은 도움이 될 것으로 사료된다.

또한 CT 단말장치의 영상 자료들을 모든 치아에 대해 3차원 영상 모델로 재구성하는 작업 과정(Segmentation Procedure) 또한 오차 발생에 많이 관여했을 것으로 생각된다. 이 과정은 V-works 4.0™ (Cybermed Inc., Seoul, Korea) 소프트웨어 프로그램을 통한 작업이나 CT 영상에서 치아와 다른 밀도를 나타내는, 즉 치아보다 낮은 밀도를 나타내는 골조직을 제외시키는 과정은 본인에 의한 모든 이미지에 대해 100% 수작업이 필요한 과정이었다. 그러므로 다수의 시간과 노력이 필요했으며, 기계에 의한 작업이 아닌 이상 오차 발생이 전혀 없을 것이라고는 단정지을 수 없다. 또한 치아 구조물은 대부분이 곡선 형태를 취하고 있으나 3차원 영상 모델로의 재구성 과정은 기본적으로 0.188 mm크기를 가진 직선 형태의 pixel을 통해 골조직을 제거함으로써 이루어지므로 치아형태의 곡선을 완벽히 재현한다고 볼 수 없다(그림 13).

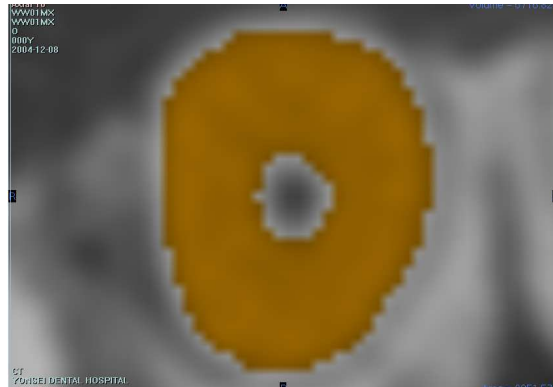


Figure 13. Step configuration of surface irregularity due to CT image pixel size

또한 치근첨부위에 있어 칩점의 재현이므로 CT 영상에서 인식이 힘들었으며, 치근첨의 위치가 1mm slice thickness로 CT 촬영을 했음에도 불구하고 slice사이 1 mm내에 치근첨이 존재시 그 정확한 위치는 재현이 불가능할 수 밖에 없다.

또한 CARP 모델 제작과정에서의 오차 생성의 관점에서 볼 때 본 실험에서 제작된 CARP 모델은 3D printing방법으로 제작되었으며, starch를 재료로 이용하는 불투명 모델이었다. 이는 SLA 모델에 비해 경제적이며 좀더 제작시간이 짧다는 장점이 있으나 엄 등 (2004)의 연구에서 3D printing CARP 모델이 SLA방식을 사용한 CARP 모델에 비해 더 낮은 정확도를 보였다고 보고하고 있다. 이는 또한 3D printing CARP 모델의 경화 과정 역시 오차 발생에 기여했을 것이며 재료 자체가 뾰족한 부위를 미세하게 표현하지 못하는 것도 한 요인이라 볼 수 있다. 이상과 같은 CARP 모델 제작 단계에서의 오차 역시 CARP 모델의 오차 발생에 중요한 부분임을 알 수 있다.

CARP 모델 제작 방법중 이번 연구에 사용된 3D printing 모델과 SLA (Stereolithographic apparatus) 모델에 대해 살펴보면, 3D printing 모델은 Starch and cellulose based powder binder, urethane와 같은 재료를 이용 3차원 영상 데이터를 적층하는 방식으로써 불투명한 고풍상의 CARP 모델이 만들어진다.

이 같은 3D printing 모델은 재료 자체가 가지는 성질에 의한 수축 등으로 인해 그 정확성에 있어 SLA 모델에 비해 덜 정확하다고 알려져 있다. 그러나 3D printing 모델은 실제 임상에서 전산화 단층 촬영 후 7일 이내에 제작이 가능하며 제작 비용 또한 비교적 저렴한 편이다. 그러나 이에 비해 SLA 모델은 3차원 모델링 데이터로부터 얻어진 미세한 두께의 단면에 해당하는 영역을 특정 파장의 UV 레이저 빛을 광경화성 레진과 같은 수지의 액면에 주사하여, 해당 미세두께를 연속으로 고형화 및 적층하여 원하고자 하는 3차원 입체 모델을 얻는 방법으로써 이는 3D printing 모델에 비해 좀 더 정확하다는 장점은 가지고 있으나 CT와 같은 3차원 모델링 데이터 취득 후 약 14일 정도 내외의 비교적 긴 제작시간을 필요로 하며, 제작비가 매우 비싸다는 단점을 가지고 있다. 이에 자가 치아 이식술과 같은 임상에서는 비용상의 문제와 제작 기간등의 문제등으로 인해 대부분 SLA 모델에 비해 3D printing 모델이 널리 사용되고 있으며, 이에 본 실험의 계획단계에서부터 SLA 모델이 아닌 3D printing 모델을 염두에 두고 실험을 진행하였다.

계측단계에서 발생할 수 있는 오차는 3차원 영상 모델에서의 정확한 계측점의 설정 및 재현의 어려움에서 기인하며, Baker 등 (1994)은 화면상에서 3차원 영상을 계측하는 것은 오차가 매우 크다고 보고하였다. 본 실험에서는 치아의 치관부의 근원심측 및 협설측 최대 풍융부와 치경부에서의 근원심측 및 협설측 지점을 계측점으로 삼아 실험을 진행하였다. 그러나 상기의 계측점들이 실제 치아에 있어서는 캘리퍼의 측정날을 이용, 계측이 힘들지 않았으나 치아 표면은 곡선형태를 가지고 있으므로 3차원 영상 모델에서는 정확한 계측점의 설정이 용이하지 않았다. 실험 계획 수립시 이에 대한 여러 가지 고려가 있었으나 본 실험에서 행해진 바와 같이 3차원 영상 모델상에서 실제 치아에서의 캘리퍼를 이용한 측정시와 같은 치아 장축에 평행한 평면을 설정하여 양쪽 최대 풍융부와 설정된 평면간의 거리를 합산함으로써 3차원 영상 모델에서의 계측점 설정으로 인해 생길 수 있는 오차 요인을 많이 배제시킬 수 있었다.

본 실험 과정 중 설정된 치경부는 실제임상 상황에 적용시 CARP 모델의 크기 차이가 임상에 가장 많은 영향을 미치는 부분임을 감안하여 계측점의 하나로 설정하였다. 실제 치아에 있어서 치경부는 법랑질에서 백악질

로 이행되는 부분으로 쉽게 계측이 가능했으나, 3차원 영상 모델과 CARP 모델에서는 법랑질과 백악질이 따로 표현되지 않는 한계로 인해 3차원 영상 모델과 CARP 모델에서의 치경부의 위치는 실제 치아에서의 경사변화를 근거로 하여 치관에서 치근으로 이행되는 부분 중 경사도가 급격하게 변화되는 부위로 설정 계측을 시행하였다. 향후 더 설정이 용이하며 재현성 또한 우수한 계측점을 미리 설정하여 대상으로 하는 것이 현명하리라 생각된다.

이상과 같이 자가 치아 이식술을 위한 공여치에 대한 CARP 모델제작 과정 중 발생하는 주된 오차요인으로는 3차원 모델 생성시 임계치의 설정 부분에 있어서 불가피한 오차 발생 요인이 있으며, 3차원 영상 모델 및 CARP 모델에서의 정확한 계측점의 설정 그리고 3차원 영상 모델 제작시의 수작업으로 인한 error 요인 등이 주요 오차 원인으로 생각된다.

본 실험을 통해 나타난 치관부와 치경부에서의 절대값 오차는 실제 치아와 3차원 영상 모델과 CARP 모델에서 모두 통계학적으로 유의성 있는 차이를 보이지 않았다(표 3와 4와 5). 그러나 wet state와 dry state 및 상악과 하악간의 실제 치아와 3차원 영상 모델과의 절대값 오차에서는 통계학적인 유의한 차이가 있었던 반면(표 3), 실제 치아와 CARP 모델 사이 및 3차원 영상 모델과 CARP 모델간에서의 절대값 오차에 대해서는 유의한 차이를 보이지 않았다(표 4와 6). 이와 같은 결과의 원인으로 엄연히 CARP 모델 제작 과정중에 일어나는 재료 자체의 한계와 3D printing 제작 방법에 기인한 오차발생으로 인한 절대값 오차의 상쇄가 있었음을 생각해 볼 수 있다. 그러나 이와 같은 추론을 뒷받침하기 위해서는 각 단계에서의 오차 발생에 기여하는 요인에 대한 정밀한 검증의 필요성이 다시 한번 생각될 수 있다.

각 단계에서 생길 수 있는 오차에 대해 절대값 오차가 아닌 상대적인 오차량에 대한 분석을 통해 나타난 결과에 의거, 상대적으로 실제 치아에 비해 3차원 영상 모델이 축소됨으로써 나타나는 오차값의 분포가 많았으며(Figure 10), CARP 모델 역시 실제 치아 및 3차원영상 모델에 비해 축소됨으로써 나타나는 오차값의 분포가 많이 나타났다(Figure 11과 12). 특히 실제 치아와 CARP 모델간의 비교에 있어서는 거의 대부분의 오차값이 CARP 모델이 축소됨으로 나타나는 오차량이 많음을 보인 것으로 보아 실제 임상에서 수술시 대상 공여치에 비해 CARP 모델 자체는 약간 축소되

어 제작되어진다는 것을 추론할 수 있다. 또한 이번 실험을 통해 나타난 축소량을 계산하기 위해 각각의 실제 치아와 3차원 영상 모델, CARP 모델에 있어 상대적인 오차의 평균을 산정하여 각 모델에서의 축소 및 확대 경향을 분석한 결과로는 3차원 영상 모델의 실제 치아에 대한 축소량은 평균 0.149 mm였으며, CARP모델의 3차원 영상 모델에 대한 축소량은 평균 0.067 mm로, 또한 CARP 모델의 실제 치아에 대한 총 축소량은 평균 0.216 mm를 나타냈다. 이번 실험 결과를 통한 상기의 축소량은 실험적인 결과이기는 하나 임상에서 실제 치아에 대한 CARP 모델의 상대적인 축소경향을 가늠해볼 수 있다는 점에서 의의를 가지고 있다.

이상의 연구들을 통해 이와 같은 오차가 존재하지만 실제 치아와 유사한 크기의 CARP 모델을 자가 치아 이식술에 사용하는 경우 공여치의 구강 외 노출시간의 감소 효과와 함께 수술시 CARP 모델을 공여치의 발거 이전에 미리 피이식 치조골에 미리 적용시켜 봄으로써 피이식 치조골의 실제 치아와 유사한 형태의 형성을 가능하게 해주는 효과 역시 기대할 수 있다. 이를 통해 공여치의 치근면과 피이식 치조골과의 거리를 줄여줌과 동시에, 원활한 혈류 공급을 제공할 수 있다. 또한 우수한 초기 고정을 유도함으로써 rigid splinting의 필요성을 줄이며, suture splinting과 같은 non rigid splinting으로 고정 과정을 대체함으로써 성공적인 결과를 기대할 수 있다. 본 연구를 통한 실제 치아와 CARP 모델간의 0.291 mm의 절대값 오차값은 과거 문헌상 아직 정확히 알려진 바는 없으나 Lee 등 (2001)의 연구에서 보인 바와 같이 임상시술에서 평균 1mm 내외의 오차인데도 좋은 성공률 보임을 바탕으로 임상에 적용시 상기의 효과를 기대할 수 있는 오차범위라고 생각되어진다.

이번 실험을 통해 구강 악안면 영역에 주로 이용되어 오던 CARP 모델을 자가 치아 이식술에 적용하기 위한 공여치의 CARP 모델의 실제 치아에 대한 오차 측정을 조사하여 CARP 모델을 이용시 자가 치아 이식술의 성공률을 높일 수 있음을 환기하였으며, 차후 donor 대상 치아에 대한 정확한 임계치의 설정 및 설정이 용이하며 재현성 또한 우수한 치아 계측 점등과 함께 표본 골이 아닌 연조직이 부착되거나 연조직을 재현할 수 있는 상태에서의 오차 측정도 추후 연구되어야 할 것이다.

V. 결 론

본 실험에서는 CARP 모델의 정확성에 대한 평가를 위하여 실제 치아에 대한 CARP 모델 및 3차원 영상 모델간에 생기는 절대값 오차량과 실제 치아에 대한 CARP 모델과 3차원 영상 모델의 확대 및 축소 경향을 알아보기 위해 상대적인 오차 분포를 분석한 바 3차원 영상 모델은 실제 치아에 비해 축소되는 경향을 보였으며, CARP 모델 역시 3차원 영상 모델 및 실제 치아에 비해 축소되는 경향을 보였다. 절대값 오차량의 크기에 있어서는 3차원 영상 모델은 실제 치아에 비해 평균 0.199 mm의 절대값 오차량을 보였으며, CARP 모델은 실제 치아에 비해 평균 0.291 mm의 절대값 오차량을 보였다. 실제 치아와 3차원 영상 모델, CARP 모델에 있어 실제 오차의 평균을 산정하여 각 모델에서의 축소 및 확대 경향을 분석한 결과로는 3차원 영상 모델의 실제 치아에 대한 축소량은 평균 0.149 mm였으며, CARP모델의 3차원 영상 모델에 대한 축소량은 평균 0.067 mm로 CARP 모델의 실제 치아에 대한 총 축소량은 평균 0.216 mm를 나타냈다.

이상의 결과로 미루어 볼 때 CARP 모델의 사용은 자가 치아 이식술에서 수용부 골와동의 정밀성을 높이는데 기여하여 수술의 성공 가능성을 높일 수 있을 것으로 생각된다.

VI. 참고 문헌

엄기두, 이병도: CT절편두께와 RP방식이 3차원 의학모델 정확도에 미치는 영향에 대한 연구. *대한 구강악안면방사선 학회지* 34: 13-18, 2004.

이병도, 이완: 전산화 단층 촬영상의 임계치가 3차원 의학모델 정확도에 미치는 영향에 대한 연구. *대한 구강악안면방사선 학회지* 32: 27-33, 2002.

최진영, 최정호, 김남국, 이종기, 김명기, 김명진, 김영호: Rapid Prototyping으로 제작한 3D Medical Model의 오차 측정에 관한 연구(임상 적용 가능성 및 사례). *대한 구강악안면외과 학회지* Vol 25, No 4: 295-303, 1999.

Andreasen JO: Interrelation between alveolar bone and periodontal ligament repair after replantation of mature permanent incisors in monkeys. *J Periodont Res* 16: 228-35, 1981.

Andreasen JO: Periodontal healing after replantation and autotransplantation of incisors in monkeys. *Int J Oral Surg* 10: 54-61, 1981.

Andreasen JO: Third molar autotransplantation, relation between successful healing and storage of root development at time of grafting. Presented at annual meeting in Scandinavian Association of Oral and Maxillofacial Surgeons, Aug 15-19, 1990, Nyborg, Denmark.

Andreasen JO, Hjorting-Hansen E: A clinical and radiographic study of 76 autotransplanted third molars. *Scand J Dent Res* 78: 512-523, 1970.

Baker TM, Earwaker WJ, Lisle DA: Accuracy of stereolithographic models of human anatomy. *Austral Radiol* 38: 106-11, 1994.

Bauss O, Schwestka-Polly R, Schilke R, Kiliaridis S: Effect of different splinting methods and fixation periods on root development of autotransplanted immature third molars. *J Oral Maxillofac Surg* Mar 63(3): 304-10, 2005.

Cavalcanti MG, Vannier MW: Quantitative analysis of spiral computed tomography for craniofacial clinical applications. *Dentomaxillofacial Radiol* 27: 344-50, 1998.

Cavalcanti MG, Vannier MW: The role of three-dimensional spiral computed tomography in oral metastases. *Dentomaxillofacial Radiol* 27: 203-8, 1998.

Gedrange T, Hietschold V, Haase I, Haase J, Laniado M, Harzer W: Computed tomographic examination of muscle volume, cross-section and density in patients with dysgnathia. *Rofo* Feb 177(2): 204-9, 2005.

Guralnick WC, Shulman LB: Tooth transplantation. *Dent Clin North Am* 6: 499-511, 1962.

Hammarstroem L, Blomloef L, Lindskog S: Dynamics of dentoalveolar ankylosis and associated root resorption. *Endod Dent Traumatol* 5: 163-175, 1989.

Herman GT, Coin CG: The use of 3-dimensional computer display in the study of disk disease. *J Comput Assist Tomogr* 4: 564-7, 1980.

Kim E, Jung JY, Cha IH, Kum KY, Lee SJ: Evaluation of the prognosis and causes of failure in 182 cases of autogenous tooth transplantation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* Jul 100(1): 112-9, 2005.

Kim E, Kim KD, Roh BD, Cho YS, Lee SJ: Computed tomography as a diagnostic aid for extra canal invasive resorption. *J Endod* Jul 29(7): 463-5, 2003.

Klotz E, Ernst O, Kalender WA: Algorithms for the reduction of CT artifacts caused

by metallic implants. *Proc. SPIE* 1234: 642-50, 1990.

Kragstov J, Sindet-Pedersen S, Gyldensted C, Jensen KL: A comparison of three-dimensional computed tomography scans and stereolithographic models for evaluation of craniofacial anomalies. *J Oral Maxillofac Surg* Apr 54(4): 402-11, 1996.

Lee SJ, Jung IY, Lee CY, Choi SY, Kum KY: Clinical application of computer-aided rapid prototyping for tooth transplantation. *Dent Traumatol* 17: 114-119, 2001.

Lill W, Solar P, Ulm C, Watzek G, Blahout R, Matejka M: Reproducibility of three-dimensional CT-assisted model production in the maxillofacial area. *Br J Oral Maxillofac Surg* Aug 30(4): 233-6, 1992.

Nethander G: Oral restoration with fixed partial dentures on transplanted abutment teeth. *Int J Prosthodont* 8: 517-26, 1995.

Nethander G, Andreasen JE, Hirsch JM: Autogenous free tooth transplantation in man by a 2-stage operation technique. A longitudinal intra-individual radiographic assessment. *Int J Oral Maxillofacial Surg* 17: 330-336, 1988.

Nordenarm A: Autotransplantation of teeth. *Acta Odontol Scand* 21 (suppl): 33, 1963.

Ray CE Jr, Mafee MF, Friedman M, Tarmoressi CN: Application of three dimensional CT imaging in head and neck pathology. *Radiol Clin North Am* 31: 181-94, 1993.

Richtsmeier JT, Paik CH, Elfert PC, Cole TM 3rd, Dahlman HR: Precision, repeatability, and validation of the localization of cranial landmarks using computed tomography scans Cleft Palate *Craniofac J* May 32(3): 217-27, 1995.

Soder PO, Lundquist G: Transplantation of teeth : a clinical investigation and in vitro

study of cell cultivation techniques. Transactions of the Fifth International Conference on Endodontics, pp. 77-88, 1973. University of Pennsylvania, Philadelphia.

Table 5. Real tooth size in maxilla (mm)

	MD(cr)		BL(cr)		MD(cer)		BL(cer)	
	Mx 1	Mx 2	Mx 1	Mx 2	Mx 1	Mx 2	Mx 1	Mx 2
#17	9.72	9.1	10.99	11.29	7.45	6.99	9.85	9.6
#16	9.64	M	11.14	M	7.16	M	10.35	M
#15	7.2	6.1	9.72	9.07	5.04	4.28	8.49	6.88
#14	7.55	7	9.78	9.53	5.18	4.96	7.56	7.55
#13	7.92	7.06	8.38	7.98	5.92	5.62	7.99	6.97
#12	7.16	6.96	6.9	6.06	4.88	4.65	6.34	5.43
#11	8.5	6.34	7.36	6.36	5.75	F	6.56	F
#21	8.56	M	7.25	M	5.88	M	6.58	M
#22	7.54	4.84	6.78	5.68	5.12	F	6.25	F
#23	8.33	6.31	8.2	5.46	5.92	F	8.04	F
#24	7.41	7	9.86	9.58	4.74	4.76	8.37	8.14
#25	6.32	M	9.62	M	4.51	M	8.58	M
#26	10.21	10.87	11.42	9.89	6.56	9.56	10.26	7.17
#27	9.63	9.03	11.87	11.07	6.47	6.7	9.75	9.49

F : root fractured tooth during extraction

M : missing tooth

Mx : maxilla

MD(cr) : Mesio-distal width in crown portion

BL(cr) : Bucco-lingual width in crown portion

MD(cer) : Mesio-distal width in cervical portion

BL(cer) : Bucco-lingual width in cervical portion

Table 6. Real tooth size in mandible (mm)

	MD(cr)		BL(cr)		MD(cer)		BL(cer)	
	Mn 1	Mn 2	Mn 1	Mn 2	Mn 1	Mn 2	Mn 1	Mn 2
#38	9.95	M	10.04	M	8.32	M	8.1	M
#37	10.64	10.97	10.89	10.41	8.38	8.75	8.91	8.14
#36	11.06	M	10.92	M	7.92	M	8.91	M
#35	7.55	7.04	8.62	8.54	4.78	4.68	7.52	6.82
#34	7.44	6.63	8.37	7.9	5.23	F	7.14	F
#33	7.2	5.26	8.01	6.65	4.8	F	7.83	F
#32	6.08	M	6.21	M	3.54	M	6.04	M
#31	5.45	3.18	5.69	5.35	3.47	F	5.35	F
#41	5.28	4.81	5.78	5.32	3.46	3.05	5.49	4.97
#42	5.76	5.89	6.1	5.64	3.89	3.48	5.85	5.56
#43	7.07	6.65	7.95	7.31	5.08	4.98	8	6.94
#44	7.47	7.09	8.4	8.11	5.14	5.1	7.02	6.25
#45	7.38	6.91	8.34	7.92	4.96	4.7	7.27	6.07
#46	11.24	11.08	11.02	11.47	8.97	8.34	8.91	8.32
#47	10.34	9.92	10.79	10.46	7.63	8.38	9.76	7.58
#48	9.57	M	9.89	M	8.35	M	7.44	M

F : root fractured tooth during extraction

M : missing tooth

Mn : mandible

MD(cr) : Mesio-distal width in crown portion

BL(cr) : Bucco-lingual width in crown portion

MD(cer) : Mesio-distal width in cervical portion

BL(cer) : Bucco-lingual width in cervical portion

Table 7. 3D image dimension in wet state

	MD(cr)	BL(cr)	MD(cer)	BL(cer)
Mx 1				
#21	8.61	7.1	5.79	6.41
#25	6.11	9.67	4.44	8.49
#27	9.51	11.62	6.36	9.62
Mx 2				
#12	6.61	5.79	4.5	5.3
#15	6.27	8.92	4.38	6.82
#17	8.89	10.96	6.78	9.38
Mn 1				
#37	10.36	10.57	8.19	8.63
#44	7.81	8.08	4.97	6.89
#47	10.42	10.98	7.79	9.54
Mn 2				
#42	5.81	5.45	3.29	5.36
#43	6.74	7.21	5.05	6.75
#44	7.09	8.16	4.91	6.28

Mx : maxilla

Mn : mandible

MD(cr) : Mesio-distal width in crown portion

BL(cr) : Bucco-lingual width in crown portion

MD(cer) : Mesio-distal width in cervical portion

BL(cer) : Bucco-lingual width in cervical portion

Table 8. 3D image dimension in dry state

	MD(cr)	BL(cr)	MD(cer)	BL(cer)
Mx 1				
#21	8.65	7.12	5.55	5.97
#25	6.19	9.38	4.41	8.38
#27	9.49	11.66	6.36	9.61
Mx 2				
#12	6.81	5.87	4.34	5.19
#15	5.97	8.87	3.91	6.92
#17	8.97	10.97	6.73	9.41
Mn 1				
#37	10.36	10.54	7.85	8.33
#44	7.12	8.04	5.39	6.74
#47	10.71	10.73	7.89	9.24
Mn 2				
#42	5.71	5.33	3.63	5.28
#43	6.49	6.98	5.05	6.58
#44	7.05	7.87	4.87	6.09

Mx : maxilla

Mn : mandible

MD(cr) : Mesio-distal width in crown portion

BL(cr) : Bucco-lingual width in crown portion

MD(cer) : Mesio-distal width in cervical portion

BL(cer) : Bucco-lingual width in cervical portion

Table 9. CARP model size in wet state

	MD(cr)	BL(cr)	MD(cer)	BL(cer)
Mx 1				
#21	8.48	7.03	5.73	6.3
#25	6.09	9.41	4.14	8.38
#27	9.42	11.32	6.12	9.68
Mx 2				
#12	6.78	5.84	4.65	5.3
#15	6.24	8.71	4.32	6.8
#17	8.85	10.73	6.7	8.69
Mn 1				
#37	10.29	10.78	7.58	8.42
#44	7.37	8.29	4.83	7.15
#47	10.75	10.85	7.8	9.1
Mn 2				
#42	5.84	5.46	3.4	5.12
#43	6.12	7.13	4.88	6.69
#44	6.93	7.97	4.9	6.11

Mx : maxilla

Mn : mandible

MD(cr) : Mesio-distal width in crown portion

BL(cr) : Bucco-lingual width in crown portion

MD(cer) : Mesio-distal width in cervical portion

BL(cer) : Bucco-lingual width in cervical portion

Table 10. CARP model size in dry state

	MD(cr)	BL(cr)	MD(cer)	BL(cer)
Mx 1				
#21	8.42	7.01	5.87	6.51
#25	6	9.55	4.3	8.54
#27	9.44	11.1	5.92	9.43
Mx 2				
#12	6.92	6.03	4.51	5.32
#15	6.35	9.03	3.96	6.81
#17	8.9	10.86	6.71	8.97
Mn 1				
#37	10.31	10.65	7.69	8.37
#44	7.23	8.06	5.24	6.83
#47	10.49	10.76	7.57	9.08
Mn 2				
#42	5.7	5.62	3.11	5.25
#43	6.48	6.98	4.82	6.61
#44	6.99	7.93	4.97	6.19

Mx : maxilla

Mn : mandible

MD(cr) : Mesio-distal width in crown portion

BL(cr) : Bucco-lingual width in crown portion

MD(cer) : Mesio-distal width in cervical portion

BL(cer) : Bucco-lingual width in cervical portion

Abstract

Accuracy of Computed Aided Rapid Prototyping model(CARP model) compared with real donor tooth in autogenous tooth transplantation.

Seong-Jae, Lee DDS

Department of Dentistry,

The Graduate School, Yonsei University

(Directed by **Seung-Jong, Lee D.D.S, M.S.D., Ph.D.**)

I. Objective

Computer aided rapid prototyping model (CARP model) is the three-dimensional model which is producing each part of human body with various materials by using data acquired from CT. In autogenous tooth transplantation surgery, CARP model can produce the tooth model and donor sites model to reduce the extra-alveolar time of donor tooth and to lead optimal contact between recipient site and donor tooth. But dimensional error of CARP model to real tooth is unknown. The purpose of this study was to evaluate dimensional error between real tooth and CARP model and 3D CT image model which is the intermediate phase of CARP model.

II. Materials and Methods

2 maxilla and 2 mandible block bone with teeth were taken from 2 cadaver. Computed tomography was taken in dry state block bone and in water state block bone. After CT taken, all teeth were extracted and dimension of real teeth was measured using digital caliper. Measuring dimension was mesio-distal and bucco-lingual width in crown portion and cervical portion. 3D CT image model was made with V-works 4.0TM (Cybermed Inc., Seoul, Korea) software and measured same dimension. Then 12 teeth were selected and CARP model was fabricated. CARP

model's dimension was measured and dimensional error between real tooth and 3D CT image model and CARP model was calculated. Average of absolute error was calculated and t-test was done between real teeth and 3D CT image model. And to examine the reduction or enlargement of size of CARP model and 3D CT image model to real teeth, average of error distribution was analyzed.

III. Results

1) Average of absolute error between real teeth and 3D CT image model was 0.199 mm and between 3D CT image model and CARP model was 0.169 mm and between real teeth and CARP model was 0.291 mm.

2) The result of t-test, average of absolute difference between dry state and wet state, maxillary teeth and mandibular teeth was significantly different between real tooth and 3D CT image model.

3) 3D CT image model's size was smaller than real teeth and CARP model's size was smaller than 3D CT image model and real teeth.

4) Average of size reduction between real teeth and 3D CT image model was 0.149 mm and between 3D CT image model and CARP model was 0.067 mm and total between real teeth and CARP model was 0.216 mm.

IV. Conclusion

Within the scope of this study, CARP model with the 0.291 mm average of absolute error can aid to enhance the success rate of autogenous tooth transplantation due to the increased accuracy of recipient bone and donor tooth.

Keyword : autotransplantation, donor tooth, recipient bone site preparation, 3D CT image model, rapid prototyping absolute error