

임플란트 치료 계획 수립을 위한 진단영상

서울대학교 치의학대학원 구강악안면방사선학교실

부교수 허민석

수년 전만 하더라도 임플란트 술식은 일반 대중에게나 치과의사에게 다소 생소하고 일부치과에서만 시행되었으나 이제는 대중화되어 거의 모든 사람들이 임플란트 술식에 대하여 거부감이 없고 익숙해져 있으며 치과의사도 임플란트 술식을 큰 어려움이 없이 환자에게 적용할 수 있는 시대가 되었다. 임플란트 치료의 대중화는 치과의 장비가 고급화되고 첨단 장비를 구비하게 하는 계기가 되었으며 특히 진단영상 분야에서는 전통적으로 구내방사선사진에 의존하여 대부분의 치료가 이루어지던 것이 이제는 파노라마 방사선사진을 중심으로 하여 진단이 이루어지고 구내방사선사진을 보조적인 사진으로 사용하게 되는 등 진료의 형태와 구비하는 장비의 종류가 달라지고 있다.

파노라마 방사선사진은 전치부에서 흐림 현상이 나타날 수 있고 여러 부위에서 다른 해부학적 구조물과 중첩되어 판독이 어렵다는 단점이 있기는 하지만 상악 및 하악의 상태를 전반적으로 평가할 수 있고 특히 임플란트 술식과 관련해서는 치조정으로

부터 임플란트를 식립할 수 있는 범위를 대략적으로 평가할 수 있어 널리 이용되고 있다(그림 1).



그림 1. 파노라마 방사선사진. 악골의 전반적인 상태 및 병적 소견의 유무, 해부학적 구조물의 상태 등을 평가할 수 있다.

임플란트 술식에서 방사선사진을 획득하여 임플란트 식립에 유용한 골의 높이의 측정, 임플란트 식립 예정 부위에서의 병적 소견의 유무 평가, 골 밀도의 예측 등 임플란트 식립을 원하는 부위에 대한 전반적인 평가가 가능하다. CT와 같이 3차원 혹은 재구성 영상을 획득할 수 있다면 임플란트를

식립하고자 하는 부위의 악골 절단면을 얻을 수 있어 골의 협설측 두께, cortical bone의 두께를 평가할 수 있고 2차원 영상에 비하여 훨씬 더 많은 정보를 얻을 수 있어 더욱 정확한 진단이 가능하다 (그림 2).

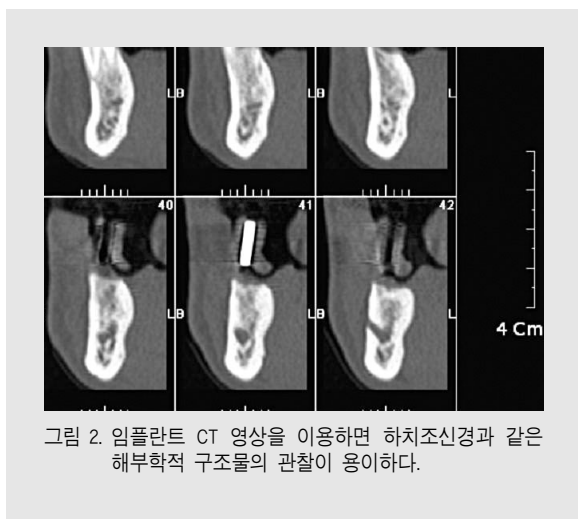


그림 2. 임플란트 CT 영상을 이용하면 하치조신경과 같은 해부학적 구조물의 관찰이 용이하다.

여기서는 임플란트를 식립하기에 유용한 치조골의 높이를 측정하는 관점에서 방사선사진의 이용에 대하여 서술하고자 하며 특히 과거에 전통적으로 이용하는 방법에서 최근에 이용되고 있는 방법들 및 미래에 펼쳐질 임플란트 술식과 관련된 방사선사진의 발전 방향에 대한 정보를 제공하고자 한다.

1. 파노라마를 이용한 치조골 높이의 측정

파노라마 방사선사진을 이용하여 임플란트 식립이 가능한 치조골의 높이를 측정할 때 일반적으로 파노라마 방사선사진에서 골의 높이를 측정하고 확대율을 나누어 실제 골의 높이를 판단하는 경향이 있으며 그와 같은 계산으로 실측 길이를 추정하면 많은 경우 큰 오류가 발생하지 않으나 확대율 외에

도 고려해야 할 사항은 매우 많으며 고려할 사항을 종합적으로 판단할 수 있다면 더욱 정확한 진단이 가능해질 것이다.

가장 우선적으로 생각해야 할 것으로, 파노라마 방사선사진은 악골의 전반적인 형태를 관찰하기 위한 방사선사진이며 길이를 측정하기 위하여 정교하게 제작된 기계가 아니라는 것을 항상 염두에 두어야 한다. 파노라마 방사선사진은 촬영기종에 따라 획득 영상에 차이가 있고 같은 촬영기라고 할지라도 촬영자의 숙련도에 따라 영상의 질은 크게 차이가 나타나며 촬영에 숙련된 방사선사라고 할지라도 촬영할 때마다 동일한 각도로 정확하게 촬영할 수는 없으므로 어느 정도의 오차는 항상 존재하게 된다.

여기서는 우선 파노라마 방사선사진과 관련하여 고려해야 할 점에 대하여 서술하기로 한다.

* 파노라마 방사선사진의 확대율

파노라마 방사선사진의 확대율은 기종에 따라 차이가 있으며 125%, 130%, 140% 등으로 다양한데 촬영기 제조사에서 정밀하게 평가하여 계산된 값이므로 확대율을 고려하여 골의 높이를 예상할 수 있다. 파노라마 방사선사진에서 확대율은 상층의 중



그림 3. 일반적인 상층의 형태.

임상가를 위한 특집 1

양에서의 평균 확대율을 의미하는데 상층은 말발굽 형태이므로 필름과 X선원의 위치에 대하여 전치부와 구치부에서 거리의 차이가 나타나게 된다(그림 3). 따라서 상층의 중앙부라고 해도 전치부와 구치부에서 확대율의 차이가 나타나며 구치부의 확대율이 더 크다는 것을 생각할 수 있다. 하지만 그 차이는 매우 적어 무시할 정도이지만 다른 요인과 함께 작용하는 경우에는 오차 정도를 증폭시킬 가능성이 있다.

한편 환자의 구강 내 환경에 따라 치열이 상층의 정중앙에 위치하지 않는 경우 확대율은 제조사에서 주장하는 확대율과 차이가 나타나게 된다. 게다가 치아의 각도가 상층의 수직 방향으로의 각도와 일치하는 경우는 드물어 확대율은 더욱 차이가 나타나게 된다. 예를 들어 전치부의 절단면은 순측으로 각도를 이루고 있어 치아의 장축은 상층의 수직 방향과 큰 차이가 있다. 또한 치아가 근원심 방향과 협설측 방향으로 모두 비스듬히 경사져 있는 경우에는 더욱 큰 영향을 받게 된다. 상층의 중심선에 대하여 설측에 위치한 물체의 경우에는 수직 방향과 수평방향으로 모두 확대가 나타나게 되지만 수평방향의 확대가 훨씬 크게 나타난다. 즉 상층에

대하여 설측으로 위치한 사물이 근원심 방향으로 비스듬히 위치할 때는 제조사에서 주장하는 확대율보다 훨씬 큰 확대를 보이게 된다. 게다가 상층은 전치부가 구치부보다 얇아 전치부에서 상층에 비하여 협설측에 위치하게 되면 수평방향으로의 확대 혹은 축소되는 효과가 더욱 커지므로 전치부에서는 특히 주의하여야 한다(그림 4).

* 악골의 해부학적 형태

악골의 해부학적 형태에 따라 파노라마 방사선사진에서 측정된 골의 높이와 실제 임플란트 식립에 적절한 골의 높이의 차이가 나타나는 경우가 있다. 파노라마 방사선사진에서 골의 높이를 측정하고 확대율을 고려하여 골의 높이를 평가한 후 임플란트를 식립했는데 하치조신경을 침범한 경우가 간혹 발생한다. 이와 같은 현상이 나타나는 원인 중에는 파노라마 방사선사진 촬영기의 중심 X선 방향이 약간 상방으로 각도를 이루기 때문에 나타나는 경우가 있다. 하방에서 상방으로 조사되는 X선의 방향은 횡적으로 같은 위치에 있는 하악관이나 치조정이라 하더라도 협설측으로의 상대적 위치에 따라 방사선사진에서는 위 아래로 다르게 상을 형성하게



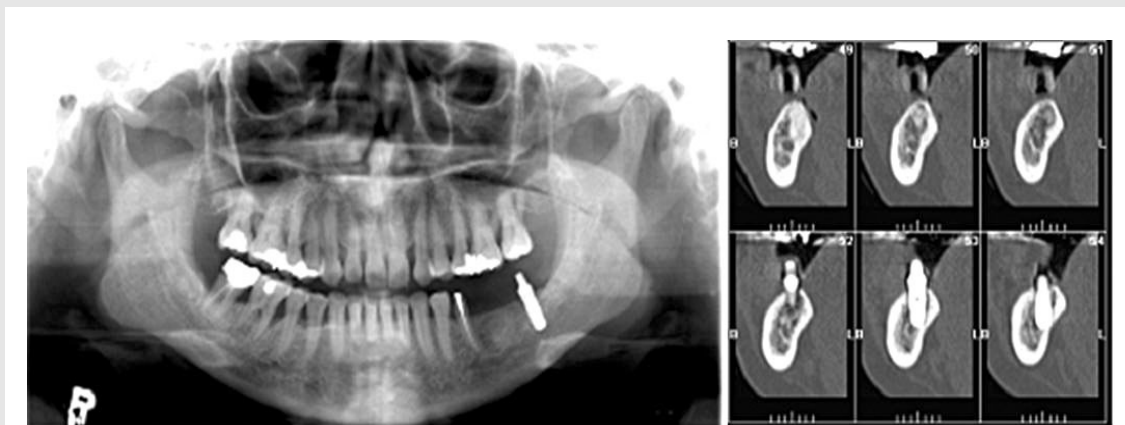


그림 5. 파노라마 방사선사진에서 골의 높이를 측정하고 확대율을 계산하여 식립하였으나 하치조신경을 침범한 사례. 파노라마 방사선 사진 촬영기의 확대율은 1.3이었으나 두 사진에서 임플란트 식립 부위 골 높이의 비율은 1.6으로 나타났음.

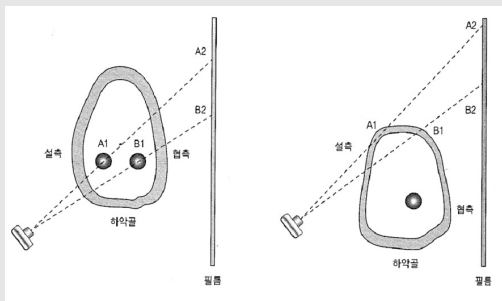


그림 6. 동일한 높이의 하악관이나 치조정이라 할지라도 협설측 위치에 따라 방사선사진에서 높이가 다르게 나타날 수 있다.

되어 남아있는 치조골의 높이는 같아도 파노라마 방사선사진에서 나타나는 골의 높이는 다르게 나타날 수 있다(그림 5, 6).

이상과 같이 파노라마 방사선촬영기의 확대율, 임플란트 식립을 원하는 곳의 위치, 상층 중앙선에 대한 위치, 상층의 수직 방향에 대한 협설측 및 근원심 각도, 악골의 해부학적 형태 등이 모두 골의 높이 측정에 영향을 주게 되므로 임플란트 식립을 위한 골의 높이를 측정할 때 오차가 발생한다는 점에 주의하여야 한다.

2. 스텐트를 이용한 골의 높이 측정

파노라마 방사선사진의 확대율이 위치에 따라 달라질 수 있다는 점을 고려하여 환자의 구강 내에 스텐트를 장착한 후 파노라마 방사선사진을 촬영하여 스텐트에 포함된 방사선불투과성의 물질의 길이를 측정하고 실측과 비교하여 확대율을 고려한 골의 깊이 측정방법이 유용하게 사용되어 왔다. 스텐트 내에 방사선불투과성의 물질을 포함시키는 방법은 전통적으로 사용되어 왔는데 구형이나 원기둥 형태의 금속 물질이나 gutta percha 등의 방사선불투과성 물질을 이용하여 표시자로 사용하였다(그림 7, 8). 이 방법은 스텐트를 이용하지 않고 평가하는 방법에 비하면 훨씬 정확한 방법이라고 할 수 있으나 앞서 기술한 여러 가지 오차 중에서 상층에 비하여 협설측 위치에 따른 오차를 극복할 수 있을 뿐이며 다른 원인에서 나타나는 오차를 극복할 수 없는 단점이 있다.

임상가를 위한 특집 1

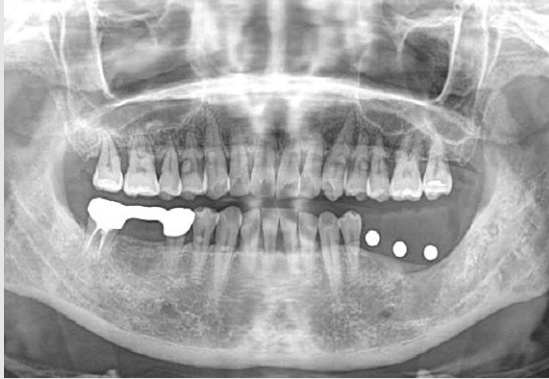


그림 7. 금속구를 표시자로 사용한 스텐트의 예



그림 8. 원기둥 형태의 물질을 표시자로 사용한 스텐트의 예

3. 단층촬영을 이용한 방법

단층촬영은 회전축을 중심으로 X선원과 필름을 서로 반대 방향으로 움직이면서 촬영하면 회전축 높이의 단면상을 얻을 수 있어 임플란트 식립 부위의 골의 높이를 평가하는데 유용하게 사용될 수 있다(그림 9). 단층촬영기는 X선원과 필름의 운동에 따라 직선형, 원형, 나선형, 복잡 운동형의 다양한 기종이 있으며 최근에는 Scanora 혹은 Comcat과 같은 단층촬영 전용 장치가 있고 파노라마 방사선

촬영기의 옵션에도 단층촬영이 포함되어 있다.

단층촬영은 회전축에 해당하는 깊이의 사물을 정확히 표현하고 회전축에서 멀어질수록 상의 흐림 현상으로 관찰할 수 없게 만드는 특징이 있다. 그리고 촬영기의 설계 상 X선원, 필름의 위치, 회전축이 결정되어 있어 확대율이 정확하므로 방사선사진의 결과에서 확대율을 고려한 측정치는 실측과 정확히 일치한다.

그러나 회전축과 가까운 해부학적 구조물은 관심 부위와 중첩되어 사진 상에 나타나기 때문에 깊이 측정에 어려움을 줄 수 있다. 예를 들어 치조정에

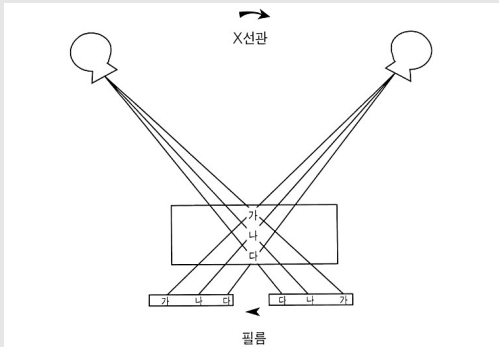


그림 9. 단층촬영의 원리. “나”에 해당하는 층 외의 다른 부위는 흐림 현상이 나타나므로 “나”와 동일한 높이의 물체만 필름에 기록된다.

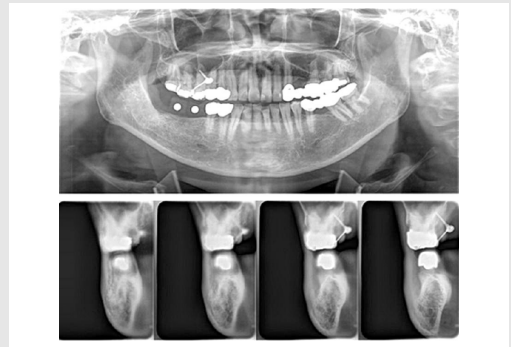


그림 10. 위 파노라마 방사선사진에서 하악 우측 금속구 부분의 단층촬영 영상. 전방 치아의 금속 보철물에 의하여 금속구의 형태가 명확하게 나타나지 않음.

서 관심 부위에 골의 결손부가 있고 인접 부위의 치조정은 건전한 경우 상의 흐림 현상에 의하여 골 결손부에 대한 관찰이 어려울 수도 있다(그림 10).

4. CT를 이용한 방법

CT 영상을 이용하여 임플란트 식립 부위의 골의 깊이를 측정하는 방법은 실측에 가장 가까운 측정치를 얻을 수 있는 방법으로 알려져 있다. 환자가 누운 상태에서 axial image를 연속적으로 얻은 후 영상을 쌓아 3차원 정보를 얻고 원하는 방향으로 절편 영상을 얻을 수 있다. 이와 같은 방법으로 3차원 영상, 임플란트를 위한 파노라마 영상, 악골의 절단면 영상 등 다양한 영상을 가공할 수 있다(그림 11). CT 영상은 촬영 원리가 실측을 표현할 수 있도록 되어 있어 CT 영상에서 측정한 측정치는 확대가 없이 환자의 해부학적 구조물을 실측으로 표현할 수 있다는 장점이 있고 상의 왜곡현상도 없어 가장 정확한 영상이다.

임플란트 CT 영상은 partial volume effect에 의하여 길이의 왜곡이 있을 수 있다. CT 영상은 공간을 직육면체 혹은 정육면체 형태의 voxel의 모임으로 구성되는데 voxel의 HU, 즉 밀도는 내부 밀도의 평균값으로 표현한다. 해부학적 구조물이 voxel을 통과하여 지나갈 때에는 포함 정도에 따라 HU의 수치는 달라질 수 있다. 과거에 사용하던 CT의 경우 단면이 2mm 이상이었던 때문에 최대 2mm까지 오차가 나타날 수 있었으나 최근 CT의 경우에는 단면이 0.5 혹은 0.6mm의 두께까지 얇은 영상을 얻을 수 있기 때문에 1mm 이내로 오차가 감소하여 과거에 사용하던 CT에 비하여 매우 정확한 영상을 얻을 수 있다.

임플란트 CT 영상은 악골의 절단면을 관찰할 수 있다는 장점이 있으나 절단면은 기준 영상에 대하여 수직방향으로만 보여주기 때문에 만일 임플란트를 치조정에서 협설측으로 비스듬히 식립하게 되는 경우에는 절단면 영상 뿐 아니라 파노라마 영상도 함께 고려해야 정확한 깊이를 평가할 수 있다. 임플란트 CT를 촬영할 때 스텐트를 미리 만들어 환



그림 11. 임플란트 CT 영상. CT 영상을 재구성하여 만들어 낸 영상으로 절단면, 파노라마 영상 등으로 구성된다.

임상가를 위한 특집 1

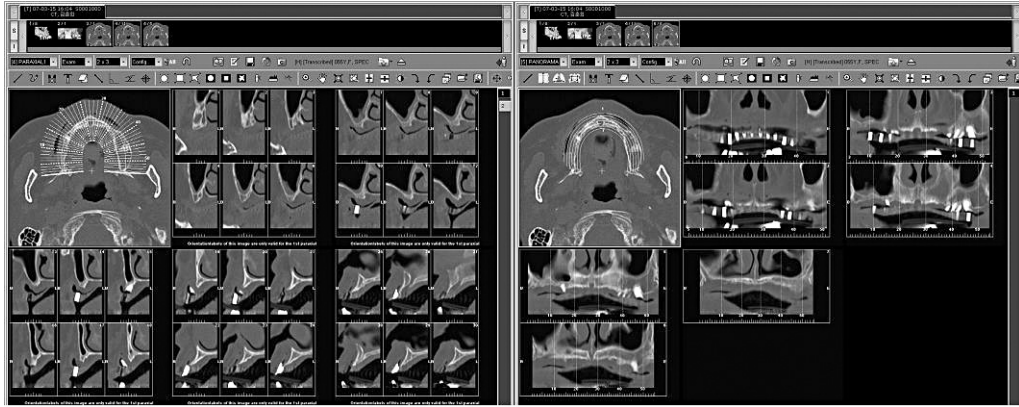


그림 12. 스텐트를 장착하고 임플란트 CT를 촬영한 경우 환자의 구강 내의 특정 위치에서 악골의 형태를 CT 영상에서 정확히 판단할 수 있다.

자에게 장착한 후 촬영하게 되면 더욱 의미있는 정보를 얻을 수 있다. 임플란트를 식립할 곳에 방사선 불투과성 물질을 이용하여 표시자를 넣은 스텐트는 임플란트 CT 영상에서 관찰할 수 있으므로 표시자를 기준으로 하여 임플란트가 식립될 위치에서의 골의 깊이를 정확히 판단할 수 있다(그림 12).

5. 치과용 CT를 이용한 방법

최근 치과용 CT라는 이름으로 새로운 장비가 소개되고 있다. 기존의 의과용 CT가 부채꼴 형태의 X선을 이용하여 영상을 획득하는 fan beam CT라고 한다면 이에 대한 상대적인 개념으로 원뿔형의

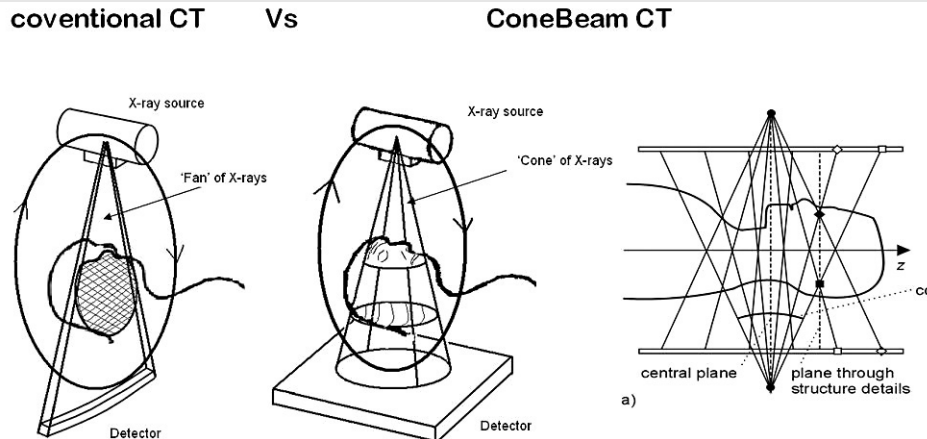


그림 13. 기존 CT와 치과용 CT (cone beam CT)의 차이. 기존 CT는 부채꼴 형태의 X선을 사용하는 반면 치과용 CT는 원뿔 형태의 X선을 사용하여 영상을 획득한다.

	Total E_{ICRP60} (μSv) per individual examination	Effect probability per million examinations	Total E_{SAL} (μSv) per individual examination	Effect probability per million examinations
Max/Man CBCT	36.9	2.2	77.9	4.7
Mandibular CBCT	34.7	2.1	74.7	4.5
Maxillary CBCT	19.9	1.2	41.5	2.5
Max/Man CBCT #2	42.1	2.5	91.4	5.5
Panoramic	6.2	0.4	22.0	1.3
NewTom ^a	50.2	3.0	—	—
Planmeca 2002 dental region panoramic ^c	3.9	0.2	8.7	0.5
Scanora (4 molar images) ^d	52.0	3.1	104.0	6.2
PM 2002 cross-section (3 images) ^e	2.0	0.1	9.0	0.5
Scanora (4 mandibular images) ^f	36.7	2.2	84.0	5.0
Scanora (4 maxillary images) ^f	22.1	1.3	117.0	7.0
Cranex Tome (4 mandibular images) ^f	11.0	0.7	40.0	2.4
Cranex Tome (4 maxillary images) ^f	11.4	0.7	61.0	3.7
CT Mand ^g	2426.0	145.6	3324.0	199.4
CT Max ^g	1031.0	61.9	1202.0	72.1

CBCT, cone beam computed tomography; Max/Man, combined maxillary/mandibular scan
^aStochastic effects are the weighted radiation detriment to an exposed population of individuals and their offspring. Coefficients of detriment include fatal cancer ($5.0 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$) and non-fatal cancer ($1.0 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$), or a coefficient of $6.0 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ for the combined detriment⁶
^bDanforth et al¹⁶
^cDanforth and Clark¹²
^dFrederiksen et al¹¹
^eLecomber et al¹³
^fDula et al¹⁵
^gSeaf et al³

그림 14. The E_{ICRP60} of 36.3 μSv for the NewTom 9000TM CBCT compares favorably with published effective doses for conventional CT (314 μSv) and film tomography (2-9 μSv per image). CBCT examinations resulted in doses that were 3-7 (E_{ICRP60}) and 2-4 (E_{SAL}) times the panoramic doses observed in this study. {JB Ludlow, LE Davies-Ludlow and SL Brooks, Dosimetry of two extraoral direct digital imaging devices : NewTom cone beam CT and Orthophos Plus DS panoramic unit Dentomaxillofacial Radiology (2003)}

X선을 이용하여 영상을 획득한다는 개념으로 cone beam CT가 개발되었는데(그림 13) 해상도가 높고 치과 의료분야에 적용하는 것을 목적으로 개발되었다고 하여 치과용 CT라고 이름이 붙여졌기 때문에 현재는 치과용 CT와 cone beam CT(CBCT)는 동일한 의미로 사용되고 있다.

치과용 CT는 기존 CT에 비하여 화소의 크기가 작아 해상도가 높다는 장점이 있으나 노이즈가 많고 대조도가 높아 연조직에서의 밀도 차이를 표현할 수 없다. 임플란트 술식을 위해서는 치아나 악골 등 주로 경조직을 관찰하기 때문에 연조직을 관찰할 필요성이 적어 치과용 CT를 효과적으로 사용할 수 있다. 또한 치과용 CT가 기존의 CT에 비하여 환자에 대한 노출량이 적다는 것도 장점으로 생각할 수 있다(그림 14).

치과용 CT는 촬영 부위에 대한 공간상의 볼륨 데이터를 구성하고 데이터를 적절히 가공하여 원하는

영상을 재구성하게 된다. 일반 CT와 마찬가지로 axial 영상이나 coronal 영상도 만들 수 있고 3차원 영상이나 임플란트 CT 영상을 형성할 수도 있다. 아래 그림은 임플란트 CT 영상을 재구성한 예이다.

치과용 CT는 기존 의과용 CT와 비교하여 X선 검출기와 X선의 형태 등 작동상의 차이가 있고 노이즈와 대조도가 낮아 연조직 간의 대조도 차이를



그림 15. CBCT를 이용하여 얻어진 임플란트 CT 영상.

관찰할 수 없다는 것 외에 기본적으로 동일한 개념의 장비이다. 치과용 CT를 이용하여 임플란트 CT 영상을 획득하고 의료영상의 표준인 DICOM이 적용되어 있다면 환자의 해부학적 구조물 사이의 실제 거리를 측정할 수 있어 유용한 장비이다.

6. 최신 경향

임플란트 치료계획 수립을 위하여 과거에는 파노라마 방사선사진을 이용하여 대략적인 위치 결정과 골의 높이 평가가 이루어졌으나 CT 영상의 사용으로 매우 정확한 치료계획을 수립할 수 있게 되었다. 최근에는 CT 영상을 이용하여 더욱 정확한 임플란트 식립 위치를 결정할 수 있는 방법이 소개되기 시작하였는데 그 대표적인 예로는 Materialise 사에서 Simplant 소프트웨어를 이용하여 악골을 분석하여 임플란트 식립 위치를 결정하면 결정된 위치에 따라 정확하게 식립할 수 있도록 스텐트를 만들어 주는 서비스를 제공하고 있고, Nobel Biocare 사에서는 NobelGuide™라는 시스템을 이용하여 임플란트 식립을 위한 스텐트와 상부 보철물까지 제작할 수 있는 시스템을 개발하여 서비스를 제공하고 있다. 그 외에도 많은 시스템이 개발되어 소개되고 있으며 국내에서도 Surgiguide나 NobelGuide에 비하여 더욱 정확하고 비용이 적게 소요되는 새로운 시스템이 개발되어 조만간 소개될 예정이다.

한편으로는 내비게이션 시스템을 이용한 수술 기법에 대한 연구가 진행되고 있는데 술자가 잡고 있는 핸드피스의 위치와 환자의 악골 사이의 관계를 실시간으로 3차원적으로 보여주어 버(bur)의 방향이 술자가 원하는 방향으로 향하고 있는지 직접 눈으로 확인할 수 있는 시스템에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다.

이와 같은 시스템에 대한 지속적인 개발이 이루어지고 현실화된다면 임플란트 치료계획을 수립하였던 내용을 실제 환자에 정확하게 적용할 수 있게 됨으로써 임플란트 시술의 실패율은 더욱 감소할 것이며 술자는 임플란트 시술을 편안하게 시행할 수 있게 될 것으로 기대된다. 임플란트 시술의 간편함은 임플란트 시술 결과를 전반적으로 향상시킬 수 있으며 숙련도에 따른 임플란트 시술 결과의 차이를 감소시켜 줄 수 있을 것으로 기대된다.

그리고 임플란트 시술이 증가하면서 파노라마 방사선사진을 획득하는 경우가 많아짐에 따라 악골에 대한 전반적인 평가 혹은 악골 내 병소에 대한 판독의 중요성이 증대되고 있다. 파노라마 방사선사진을 이용한 악골 내 병소의 진단이 쉽지 않은 경우도 자주 나타나므로 판독 전문가의 도움이 필요한 경우가 있다. 대한구강악안면방사선학회에서는 홈페이지(<http://www.kaomfr.org>)를 통하여 원격 판독을 제공하고 있으며 현재는 무료로 시범서비스가 제공되고 있어 이를 잘 활용한다면 임플란트 시술에 도움을 얻을 수 있을 것이라 여겨진다.