

BÖLÜM 9

KONİK IŞINLI BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ'NİN (CBCT) ORTODONTİK TEDAVİLERDE KULLANIMI VE ÜÇ BOYUTLU TEDAVİ PLANLAMASINA ENTEGRASYONU

Laçın POSTACI¹

Esra GENÇ²

GİRİŞ

Tıbbi görüntülemenin dijitalleşmesi, daha verimli görüntü arşivleme ve iletişim sağlayan görüntüleme sürecinin yeniden yapılandırılmasıyla (görüntü elde etme, son işleme ve görüntü inceleme yöntemleri) dental radyolojide büyük dönüşümler getirilmiştir (1). Dental röntgen görüntüleme ile radyolojik görüntüleme teknikleri değişken bir kombinasyon oluşturur. Yöntemler, 2 boyutlu (2D) görüntüleme (intraoral, sefalometrik radyografi, panoramik röntgen) ve 3 boyutlu görüntüleme (çok kesitli bilgisayarlı tomografi [BT] ve konik ışın BT [CBCT]) tekniklerini içerir (2,3). Geleneksel dental röntgeni görüntülemeye, onlarca yıldır 2 boyutlu görüntü elde etme olan panoramik radyografi uygulanmaktadır. Ancak, bu üst üste bindirilmiş 2 boyutlu görüntülerde gerçek volümetrik anatominin süperpozisyonu, olası herhangi bir oryantasyonda lokal ve tipik olarak fokal bulguları ortaya çıkarmak için çok düzlemliliği görselleştirmeyi gerektirecek potansiyel olarak önemli klinik bulguları gizler (4-7).

CBCT teknolojisi, koni şeklinde bir iyonlaştırıcı radyasyon kaynağı ve iki boyutlu bir detektör kullanır (Şekil 1). Teşhis ve tedavi planlaması için çok boyutlu ve boyutsal olarak doğru görüntüler sağlar. Bu görüntüler izotropik vokseller (hacim ögeleri) içerir, öyle ki her bir hacim ögesi üç ortogonal düzlemde eşit boyutlara sahiptir ve uygulayıcı tarafından istenen herhangi bir yönde çok düzlemliliği görüntülere olanak tanır (8,9). CBCT, hastaları için teşhis ve tedavi planlamasını

¹ Dt., İstanbul Aydın Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti AD., lacinpostaci@hotmail.com

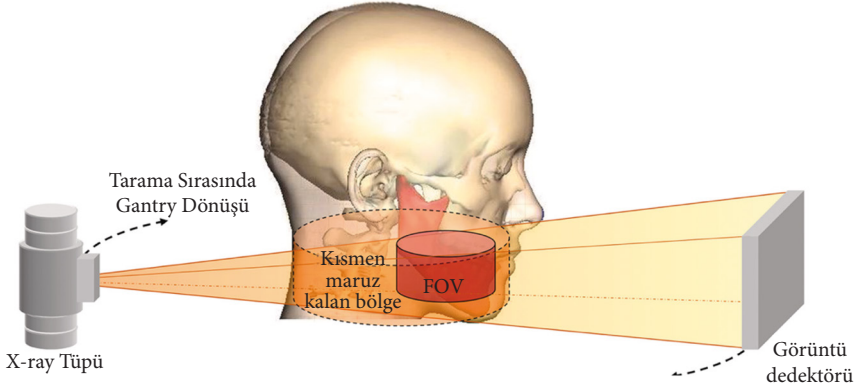
² Dr. Öğr. Üyesi, İstanbul Aydın Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti AD., dtegence@gmail.com

geliştirmeye çalışan hekimlerin büyük ilgisini çekmiştir (9). CBCT'nin ortodonti ve dento-fasiyal ortopedi alanında tanı ve tedavi planlaması için 2D radyografilere kıyasla çeşitli avantajları vardır. CBCT'nin artan kullanılabilirliği ile bu ilişkilerin üç boyutta görselleştirilmesi artık mümkündür.

Gelişmekte olan CBCT teknolojisi ile klinik ortodonti pratiğine getirilen iki ana yenilik vardır. Klinisyen için en çarpıcı avantaj, verilerin daha önce ortodontik uygulamada bulunmayan benzersiz görüntüler sağlamak için yeniden yapılandırılabilirliği ve fasiyal anatomik yapıların ve dişlerin sonsuz açılardan 3 boyutlu olarak görüntülenmesine olanak sağlamasıdır. İkinci avantaj, tek bir CBCT taramasından panoramik radyografik ve lateral ve postero-anterior sefalogramlar gibi geleneksel görüntüler oluşturma olasılığıdır. CBCT ayrıca bilateral yapılarda boyut, şekil ve hacimsel farklılıkların yanı sıra büyüme değişikliklerinin 3 boyutlu olarak belirlenmesine olanak tanır. Ayrıca, CBCT ile ilişkili bir büyütme yoktur çünkü 3D görünüm, matematiksel bir algoritma kullanılarak ham verilerden oluşturulur (10).

Ancak dezavantaj olarak bakacak olursak ortaya çıkan radyasyon dozları daha yüksektir. CBCT kullanımı, bazı ortodontistlerin 2D radyografik görüntüleri tamamen 3D olanlarla değiştirmesiyle giderek daha fazla artmaktadır. Bu nedenle, Cbct'nin klinik endikasyonları kadar ışınlama dozları da bilimsel literatürde yoğun bir şekilde tartışılmaktadır (11). Diğer bir deyişle CBCT'nin ortodontide endikasyonları belirlenmiştir ancak CBCT'nin riskleri ve sınırlamaları araştırılmalı ve hangi vaka için gerekli olup olmadığına karar verilmelidir.

CBCT, 1998 yılında Avrupa'da diş hekimliğine tanıtıldı ve 2001 yılında ABD'de kullanımı onaylandı. Bu teknolojinin diş hekimliğine ve daha spesifik olarak ortodontiye gelecekteki etkisinin erken bir değerlendirmesi, ilk olarak 2022'de Pasific Grove'da düzenlenen "21. Yüzyılda Kraniofasiyal Görüntüleme" konulu bir sempozyumda tartışıldı (12,13). O zamandan beri CBCT teknolojisi, büyük ölçüde doğru, tekrarlanabilir ve güvenli 3D görüntüler için her bir uzmanlığın talepleriyle yönlendirilen hızlı bir evrim geçirdi. Ortodontide, 3 boyutlu görüntüleme, diş ve iskeletsel maloklüzyonların karmaşıklığını çözmeye ve belirli vaka tiplerinde teşhis ve tedavi planlamasını iyileştirmeye yardımcı olabilmektedir (14-16).



Şekil 1. Cbct çalışma prensibi (5)

ORTODONTİDE CBCT KULLANIMI

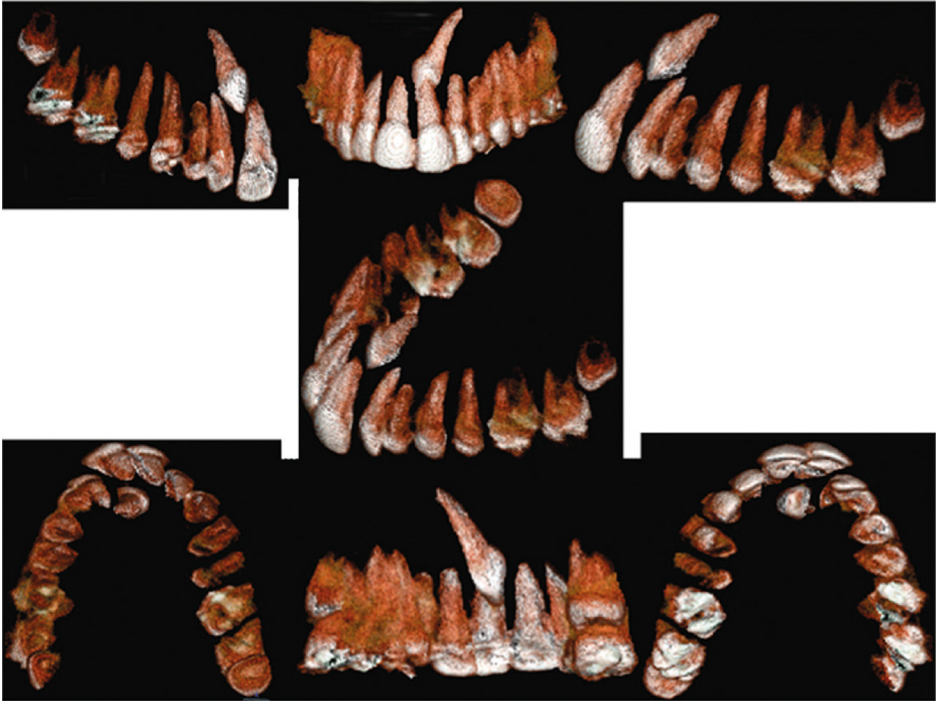
CBCT'nin ortodontik tedavilere entegre edilebileceği alanlar:

1. Sürmemiş ve supernumerer diş lokalizasyonlarının tayini
2. TME değerlendirilmesi,
3. Üst solunum yolunun üç boyutlu incelenmesi
4. Ortognatik cerrahi planlamaları
5. CBCT görüntülemeyle yapılan 3D dijital planlama ile indirekt bonding
6. Mini vida lokalizasyonunun CBCT desteği ile rehber plak hazırlanarak belirlenmesi
7. Kök konumlarının 3D değerlendirmesinde ağız içi taramalar ile CBCT entegrasyonu
8. CBCT'nin şeffaf plaklara entegrasyonu

1. GÖMÜLÜ DİŞ LOKALİZASYONUNUN BELİRLENMESİNDE CBCT KULLANIMI

Maksiller kanin, fonksiyonel ve stabil oklüzyon için gereklidir aynı zamanda estetikte önemli bir rol oynar. Ortodontik tedaviye ihtiyaç duyan hastaların yüzde 1 ile 5'i gömülü maksiller kanin diş şikayeti ile başvururlar (17).

Konvansiyonel iki boyutlu radyografiler (panoramik, periapikal, oklüzal filmler) uzun yıllardır ortodonti pratiğinde kullanılmaktadırlar. Gömülü bir maksiller kanin dişini lokalize etmenin tanısal geçerliliği, görüntünün doğal deformasyonu ve 2 boyutlu olması nedeniyle engellenebilir, öyle ki vakaların % 42'sinde ek radyografilere ihtiyaç duyulur (18). Ek olarak, birkaç araştırmacı tarafından 2D radyografilerin gömülü kanin diş lokalizasyonu, kök rezorpsiyonunun görselleştirilmesi, kök anormallikleri, ankilotik süreçler ve kök yüzeyindeki değişiklikler için hatalı olduğu bulunmuştur. 3 boyutlu görüntülemenin kullanımı, gömülü kanin dişlerinin tam olarak lokalizasyonu ve artan kök rezorpsiyonu saptama oranı ile geleneksel radyografinin sınırlamalarının üstesinden gelir (19-21). Kanin dişinin kesin konumu ve komşu dişlerde potansiyel kök rezorpsiyonu varlığını görüntülemeyi sağlayan bir 3D görüntüleme tekniği, tedavi planlama stratejileri üzerinde etkili olabilir (22)(Resim 2).

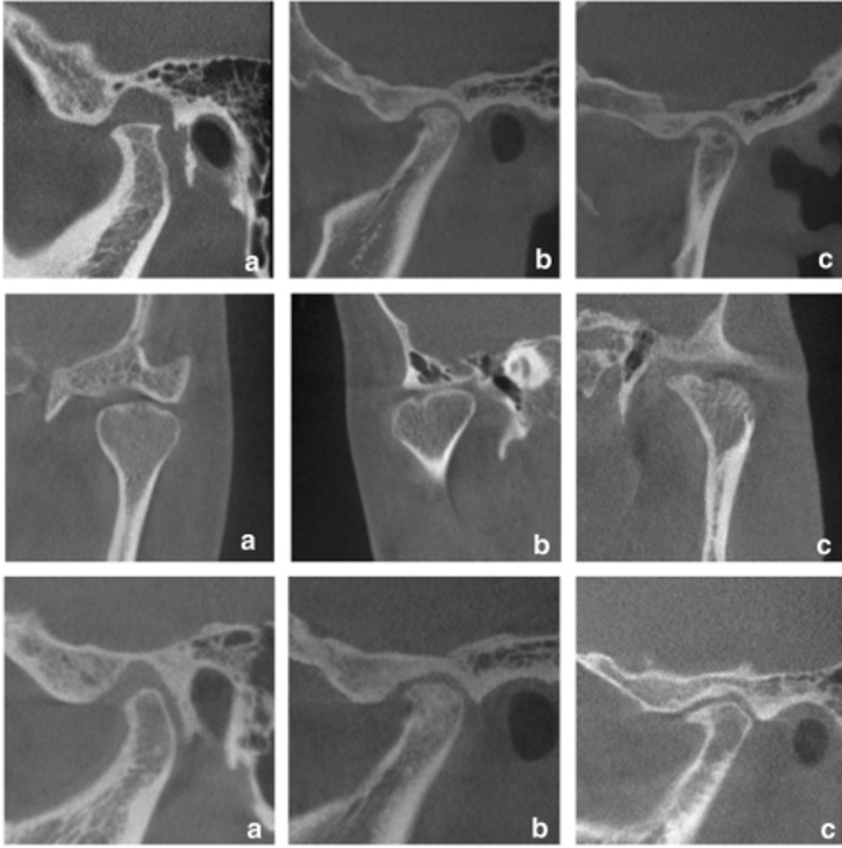


Resim 2. Maksiller Gömülü Kanin Pozisyonunun CBCT ile değerlendirilmesi (21)

2. CBCT İLE TME DEĞERLENDİRMESİ

Tüm diğer değerlendirmelerinin yanı sıra günümüzde CBCT, temporomandibular eklem (TME) kemik yapılarının görüntülenmesi için de kullanılmaktadır

(Resim 3). Ayrıca TME dejeneratif lezyonlarının saptanması ve değerlendirilmesi için tercih edilen prosedür olarak ortaya çıkmıştır (23-25). Önerilere göre TME için CBCT kullanımı sadece tedavi kararlarını önemli ölçüde etkileyeceği durumlarda uygulanmaktadır. Bu, örneğin ilerlemiş dejeneratif eklem hastalıklarında veya şiddetli, semptomatik temporomandibular düzensizlikte geçerlidir (26).

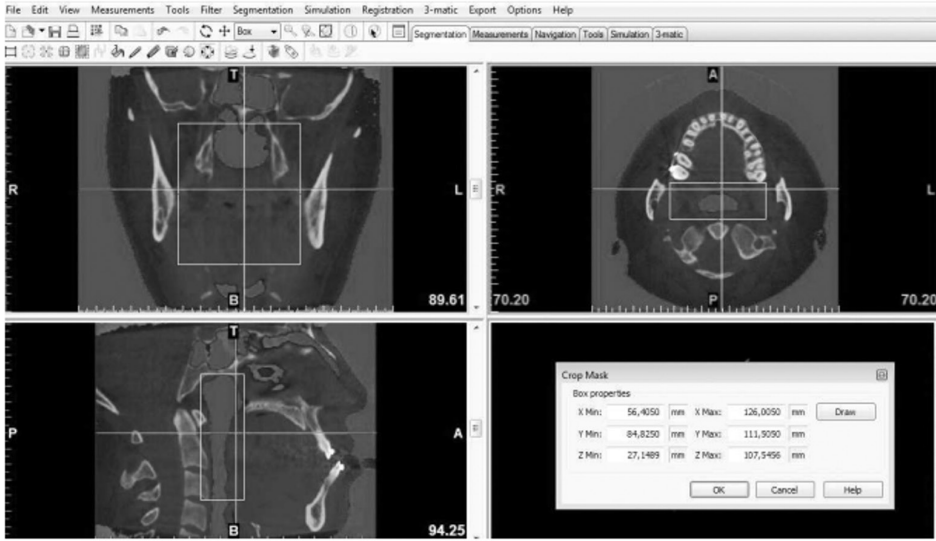


Resim 3. Kondillerdeki rejenaratif değişikliklerin CBCT ile incelenmesi (25)

3. ÜST SOLUNUM YOLUNUN CBCT İLE İNCELENMESİ

İskeletsel Sınıf 3 vakalarda 1980'lere kadar, bilateral sagittal split osteotomi veya intraoral vertikal ramus osteotomisi kullanan mandibular gerileme, cerrahi düzeltmenin standart şekliydi (27). Daha yakın zamanlarda, uygulama eğilimleri kısmen mandibular gerileme cerrahisinin yüz profili ve oklüzyon için faydalı olmasına rağmen hastanın faringeal hava yolu boşluğu üzerinde olumsuz bir etkisi olabileceği endişesi taşımaktadır. Bu tarz mandibular gerileme ameliyatı geçiren

hastaların hava yolu değişikliklerini ölçmek için ameliyat öncesi ve sonrası radyografileri önemli rol oynar (28,29). 2D lateral sefalogramlar 2 boyutlu görüntüleme verirken hava yolu, dinamik bir üç boyutlu (3D) yapıdır. Konik ışınlı bilgisayarlı tomografi, hava yolunun ve çevre yapıların doğru bir temsiliyi sağlaması ve aynı zamanda hastayı CT'ye göre önemli ölçüde daha az radyasyona maruz bırakması nedeniyle ortodonti ve ortognatik cerrahi disiplininde giderek yaygınlaşan bir görüntüleme yöntemidir (30)(Resim 4).



Resim 4. CBCT ile havayolunun değerlendirilmesi (29)

4. ORTOGNATİK CERRAHİ PLANLAMALARINDA CBCT KULLANIMI

Ortognatik cerrahi, ideal bir oklüzal ilişki ve yüz görünümü elde etmek için maksilla ve mandibulanın osteotomisi ve yeniden konumlandırılması yoluyla dental maloklüzyonla ilişkili maksillomandibular deformiteyi düzeltir. Yüz görünümündeki bir değişiklik, altta yatan iskeletin hareketine bağlıdır.

Kemik hareketi ile yumuşak doku yanıtı arasındaki ilişkinin kapsamlı bir şekilde anlaşılması, ameliyat sonrası yüz değişikliğini tahmin etmek için çok önemlidir tedavi planlaması ve hasta konsültasyonu için yararlıdır (31-35). İki boyutlu radyografiler ve manuel model cerrahi, ortognatik cerrahi için preoperatif planlamanın temel parçalarıdır. Ancak, özellikle majör fasiyal deformitesi veya asimetrisi olan hastalarda 2 boyutlu sefalometrik görüntüler 3 boyutlu yapılar hakkında tam bilgi sağlayamadığı için bu yaklaşımın sınırlamaları vardır (36). Konvansi-

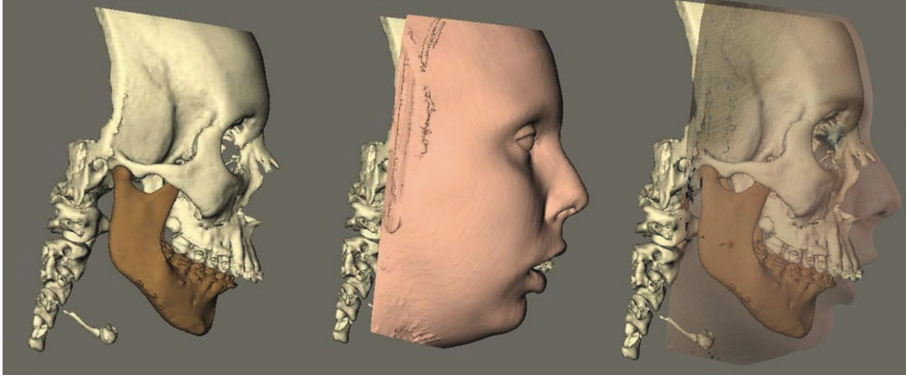
yonel 2 boyutlu cerrahi planlar uygulandığında çenelerde uyumsuzluk, orta hat uyumsuzluğu, okluzyon bozukluğu gibi beklenmeyen sorunlar ortaya çıkabilir (37). Özellikle, asimetrik bir dentofasiyal deformite içindeki iskeletsel karmaşıklıkların görselleştirilmesi, maksilla ve mandibuladaki rotasyonun kapsamı, oklüzal düzlem eğimini ve mandibulanın diferansiyel uzunluğunun gösterilebilirliği üç boyutlu modelleme yoluyla büyük ölçüde geliştirilmiştir. Bu nedenle konik ışınlı bilgisayarlı tomografi görüntülerini kullanan bilgisayar destekli cerrahi simülasyonlar, ortodonti ve ortognatik cerrahi için önemli bir dönüm noktasıdır (38,39)(Resim 5).

Bu dijital prosedür, yüz arki transferi ve model cerrahi kullanımını ortadan kaldırır aynı zamanda ortognatik cerrahinin doğruluğunu artırır. Boşlukları yeniden oluşturmak için kılavuzların ve aparatların üretimi, operatörün kemik segmentlerinin konumlandırmasını doğru bir şekilde yönlendirmesine de yardımcı olur. Ayrıca son zamanlarda geliştirilen navigasyon ortognatik cerrahide büyük potansiyel göstermektedir (40). CBCT görüntüleme teknolojisi ile ortognatik cerrahiye kolaylaştırmak için CAD/CAM tekniği kullanılarak oklüzal splint oluşturulabilir. CAD/CAM oklüzal splint kullanımı, yüksek doğruluk, güvenilirlik ve tutarlılığın yanı sıra iyileştirilmiş kantitatif kontrol ve verimlilik ile bir alternatif olabilir (41).



Resim 5. Ortognatik cerrahi planlamasında CBCT görüntüleri (42)

Bu yöntemle maksilla, mandibula ve çene üzerinde 'sanal' osteotomiler de gerçekleştirilebilir. Kullanıcı, çenenin çeşitli kısımlarını bölümlere ayırmak için 'sihirbaz' aracının yardımıyla osteotominin kesimlerini ana hatlarıyla belirtir (Resim 6). Örneğin, kombine bimaksiller osteotomi ve genioplasti prosedürü ile maksilla, mandibulanın her iki tarafı ve çene manuel olarak segmentlere ayrılmalıdır. Bu, sonraki modülde cerrahi hareketlerin simüle edilmesini sağlar (43).



Resim 6. Arttırılmış kemikli hasta modelinin, üzerini örten deri modeli ve fotogerçekçi yüzey ile sıralı gösterimi (43)

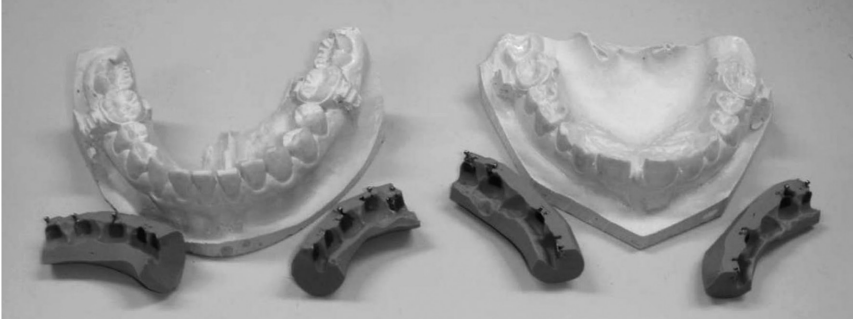
5. CBCT GÖRÜNTÜLEMEYLE YAPILAN 3D DİJİTAL PLANLAMA İLE İNDİREKT BONDİNG

Braketlerin indirekt bağlanması (IDB), yarım asırdan uzun bir süre önce tanıtılmıştır. Ortodontistler, çoğunlukla transfer anahtarı imal etmenin sıkıcı süreci ve bu protokolün tekniğe duyarlı doğası nedeniyle bu tekniği benimseme konusunda kutuplaşmıştır. Sabit tedavide braketlerin konumu tedavi sonucunu etkiler, dolayısıyla tüm bu sistemler bu gereksinimi karşılamak için indirekt yapıştırma (IDB) protokolüne yönelir.

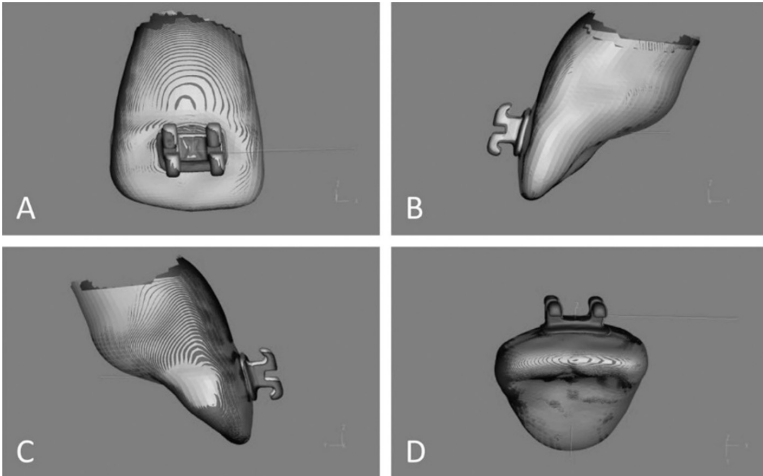
Geleneksel IDB protokolü, braket transfer anahtarını oluşturmak için alçı/taş modeller ve çeşitli silikon veya termoplastik malzeme kullanır. Tüm bu adımların laboratuvarda yapılması gerekir ve protokol optimizasyonu için yetenekli bir laboratuvar teknisyeni gerektirir. Ortodontik alanda masaüstü 3D baskının genişlemesi, fiziksel IDB protokollerinin, dijital olarak oluşturulan transfer anahtarının 3D baskı teknolojisi kullanılarak çoğunlukla ofis içinde üretilebildiği bir dijital IDB protokolüne geçişi sağlar (44).

Dijital tedavi planlama yazılım paketlerinin kullanıcı dostu masaüstü 3D baskı çözümleri ile entegrasyonu, geleneksel IDB tekniğini 3D baskılı transfer anahtar ile dijital indirekt yapıştırma tekniğine dönüştürmüştür. Dijital IDB tekniğinin ana avantajları, simüle edilmiş bir tedavi sonucuna dayalı olarak braketlerin konumlandırılması ve IDB transfer anahtarı imalatındaki birçok yorucu adımı ortadan kaldırmasıdır (45).

Bu tekniğin uygulanmasında braketler, diş kalıplarına yerleştirilir ve 3 boyutlu konumlandırma verilerini yakalamak için konik ışınlı bilgisayarlı tomografi kullanılarak taranır. Braketler daha sonra vinil polisiloksan (VPS) kullanılarak indirekt yapıştırma yöntemiyle hastanın diş yapısına aktarılır (Resim 7) ve daha sonra dişler üzerindeki son braket pozisyonunu yakalamak için CBCT kullanılarak taranır. İki tarama verisi setinden sanal modeller oluşturulur ve en uygun, yüzey tabanlı kayıt kullanılarak dijital olarak üst üste bindirilir (46) (Resim 8).

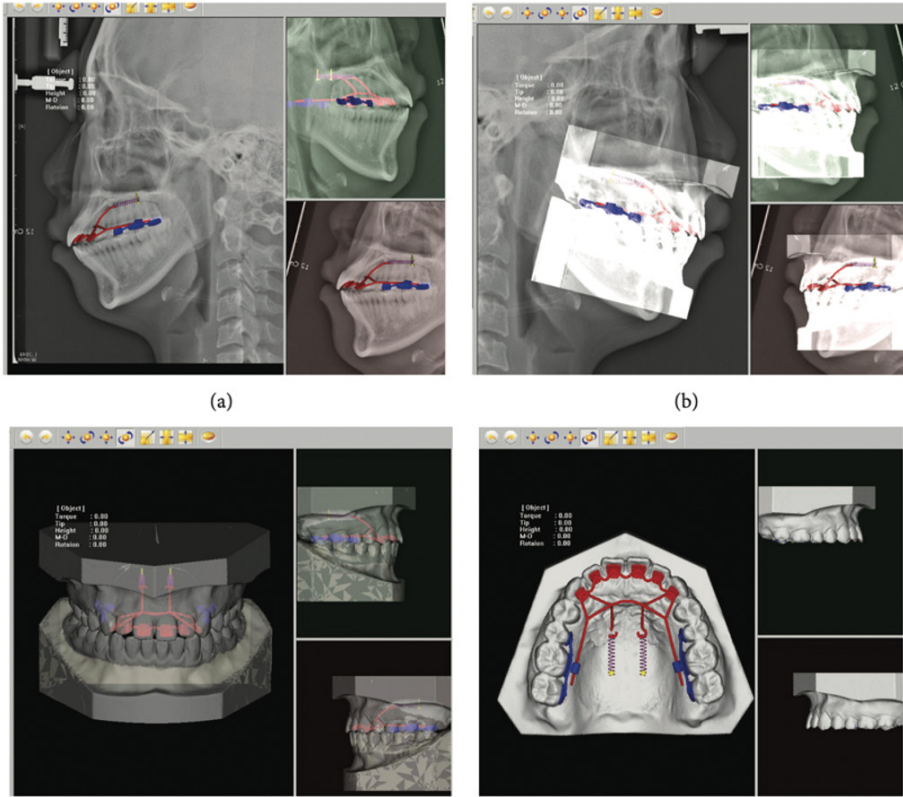


Resim 7. VPS ile elde edilen kalıpların modele aktarımı (46)



Resim 8. Elde edilen dijital görüntü braket pozisyonunun 3 boyutlu kontrolüne olanak tanır (46)

Özellikle lingual braketleme ve apareyler belirgin estetik avantajlar sağlasa da, artan koltuk süresi ve daha zor mekanik kontrol nedeniyle kullanımı sınırlandırılmıştır. Braketlerin ve apareylerin sanal konumlandırılması ve sanal kurulum modellerinden yararlanan indirekt yapıştırma sistemleri gibi yeni teknolojiler ile lingual ortodontik apareylerin uygulaması kolaylaşmaktadır (47) (Resim 9).



Resim 9. Lingual apareylerin CBCT ile planlanması (47)

6. MİNİ VİDA LOKALİZASYONUN CBCT DESTEĞİ İLE REHBER PLAK HAZIRLANARAK BELİRLENMESİ

Ortodontik tedavilerde ankraj ünitesinin doğru planlanmaması durumunda istenmeyen komplikasyonlar görülebileceğinden, ankraj planlaması ortodontik tedavi planlamasının en önemli parçası olarak kabul edilmiştir. Ortodontik ankraj için ağız içi ve ağız dışı anatomik yapılar kullanılmıştır. Ağız dışı apareyler istenilen ankrajı sağlamada başarılı olmakla birlikte, hasta uyumuna bağlıdır ve estetik olarak kabul edilmeleri zordur. Bu nedenle ağız içi ankraj genellikle istenen bir

seçenek olabilir. Mükemmel hasta kooperasyonu olsa bile ağız içi veya ağız dışı ankraj cihazlarıyla sabit bir ankraj elde etmek zordur. İskelet yapılarını ankraj olarak kullanmak için mini vidalı implantlar geliştirilmiştir (48-51).

Stabilite ve hasta güvenliği açısından periodontal ligament veya diş kökü travması, mini vidanın istenmeyen bölgelere kayması, sinir tutulumu, nazal ve maksiller sinüs perforasyonu gibi komplikasyonlar mini vida yerleştirilmesi sırasında ve ortodontik yükleme sonrasında ortaya çıkabilmektedir. Mini vida yerleştirme sırasında komplikasyonları önlemek için uygun bir yerleştirme tekniği zorunludur (52-55).

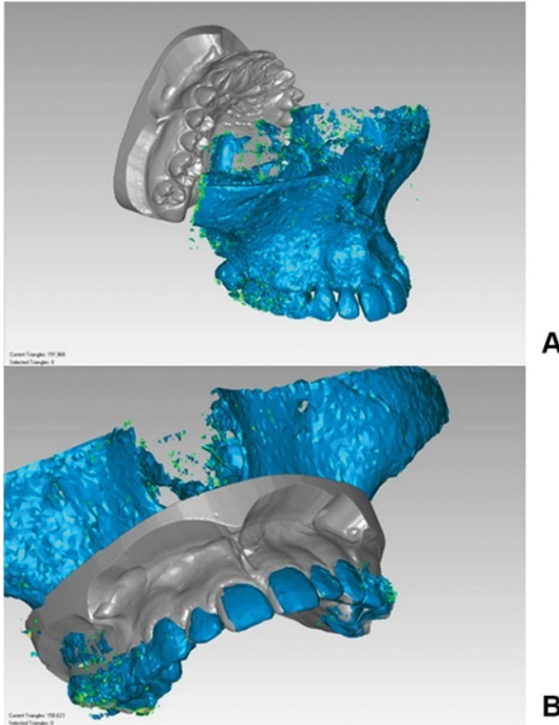
Direkt yöntem kullanılırken, panoramik veya periapikal görüntü gibi 2D radyografik görüntülerde interradiküler ilişki net görünüyorsa ve interradiküler mesafe yeterli görünüyorsa, mini vidalar başarıyla implante edilebilir. Ayrıca deneyimli bir ortodontist tarafından mini vidalar yerleştirilirse başarı oranı muhtemelen daha yüksek olacaktır. Bununla birlikte, istenen implantasyon bölgesinin 2D görüntüleri doğru bir interradiküler ilişkiyi göstermediğinde, interradiküler mesafe kısa olduğunda veya yakınlarda maksiller sinüs veya sinir kanalı gibi önemli anatomik yapılar olduğunda, başarısız olunabilir. CBCT görüntüleme, maliyeti ve radyasyon miktarı nedeniyle geleneksel olarak önerilmemesine rağmen, mini vida yerleştirmede kısıtlılıkları olan hastalarda seçici olarak kullanıldığında, mini vidaların başarılı bir şekilde yerleştirilmesi için cerrahi kılavuzların üretilmesinde değerli bir araç olabilir (56).

Cerrahi planlamada kullanılan radyograflardaki 2 boyutlu (2D) bilgilerin 3 boyutlu (3D) cerrahi bölgeye transfer edilmesi ve kök hasarı riskinin en aza indirilmesi için çeşitli yöntemler önerilmiştir. Konvansiyonel yöntemlerle ilgili çalışmalar incelendiğinde yüzey anatomisi ve 2 boyutlu radyografiler kullanılarak hazırlanan kılavuzların kemik hacmini doğru analiz edemediği sonucuna varılmaktadır. Aynı zamanda bu yöntemlerle maksiller sinüs, genişlemiş kökler ve alveoler kemik kaybına bağlı farklı yüzey anatomileri tespit edilememektedir (57).

3D teknolojisinin kullanımı, daha doğru bir vida yerleşimi için dijital implant kılavuzu üretimi için konik ışınlı bilgisayarlı tomografi görüntüleri ve 3D yazıcılar kullanma imkanını getirmiştir. 3 boyutlu görüntüleme yöntemlerinin gelişmesiyle birlikte kullanılan Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi teknolojisi, araştırma ve klinik çalışmalarda mini vidaların yerleştirilmesi için daha kesin ve detaylı bilgi sağlamaktadır. CBCT'nin ek avantajları, tipik tıbbi BT cihazlarına kıyasla düşük maliyet ve radyasyona maruz kalmanın önemli ölçüde azalmasını içerir. Aynı zamanda bilgisayar destekli tasarım ve bilgisayar destekli üretimin (CAD-CAM) gelişmesiyle planlamaya yönelik cerrahi plaklar ve palatal ortodontik apeareler üretilerek minimal invaziv ve daha doğru planlama yapılabilmektedir (58).

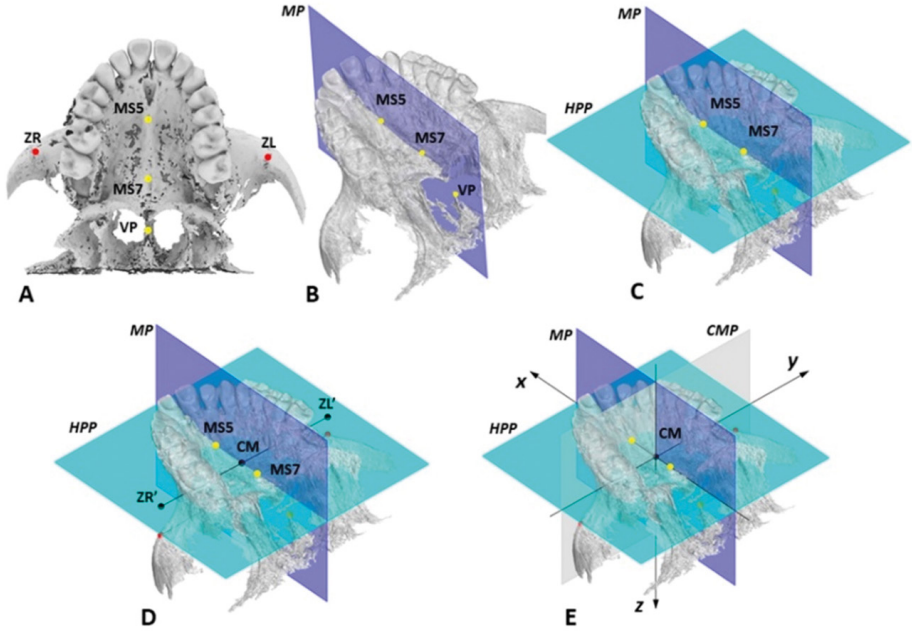
Dijital iş akışı, implantla ilgili diş hekimliği alanında yaygın olarak uygulanmaktadır (59,60). “Bilgisayar destekli” implant yerleştirme yaklaşımında, klinisyene cerrahi aşamada implantların çene kemiklerindeki konumlandırma doğruluğunu iyileştirmesine yardımcı olmak için implantların konumlarının sanal olarak planlanması ve 3D baskılı özelleştirilmiş cerrahi kılavuzlar kullanılır (61, 62). Ortodontide son yıllarda CBCT görüntülemeye dayalı 3 boyutlu bir yöntem ile mikro implantların yerleştirilmesi tarif edilmektedir (63-65).

CBCT ile mini vida yerleştirilmesi sadece ankraj için kullanılan mini vidalarda değil, aynı zamanda üst çene genişletmesi için kullanılan MARPE gibi aygıtlar için yerleştirilen mini vidalar için de kullanılabilir. Bu yöntem için öncelikle hastadan bir CBCT alınır. Hastanın ağız içi ölçüleri alınıp alçı model elde edilir. Elde edilen modeller taranır ve STL dosya formatına dönüştürülür. Daha sonra, CBCT ve dental arkların STL dosyaları önce üç yer işareti üst üste bindirilir. Bu noktada hastanın orta yüzünün kemik yapılarında maksillanın x, y, z koordinat sistemini oluşturmak için referans düzlemler belirlenir (Resim 10,11). Belirlenen düzleme göre mini vidaların yerleri belirlenerek 3 boyutlu yazıcılarla mini vidaların konumunun yer aldığı bir rehber plak basılır (Resim 12 ve 13).

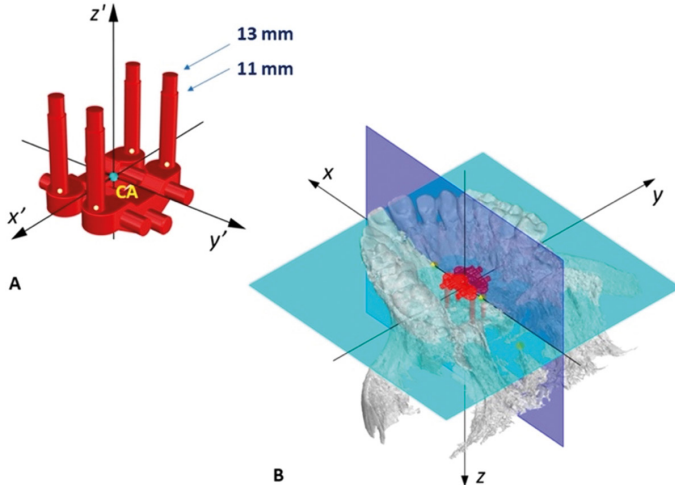


Resim 10. CBCT verileri ve hastadan elde edilen modelin üst üste bindirilmesi (65)

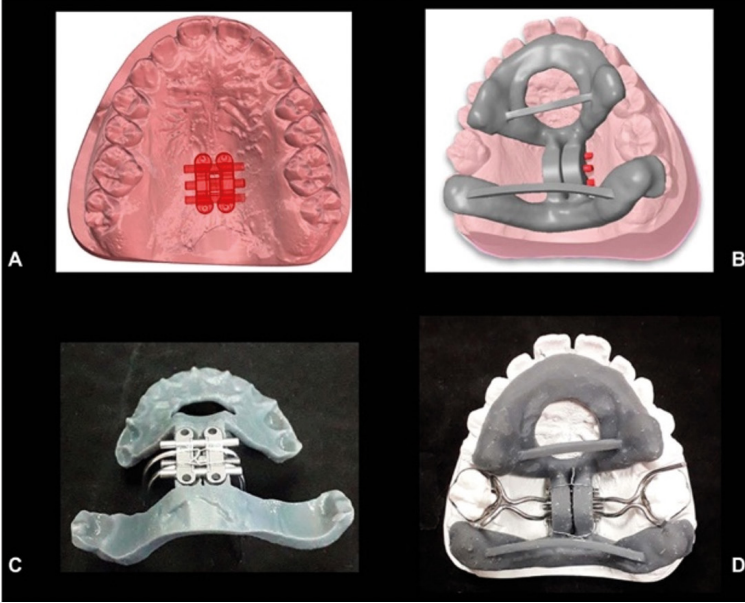
Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi'nin (CBCT) Ortodontik Tedavilerde Kullanımı ve Üç Boyutlu Tedavi Planlamasına Entegrasyonu



Resim 11. Maksillada referans düzlemlerinin ve eksenlerin belirlenmesi. (A) Kullanılan iskeletsel işaretler: ikinci küçük azı dişleri (MS5) ve ikinci azı dişleri (MS7) seviyesinde midpalatal suturun oral yönü üzerindeki nokta, vomerin en arka noktası (VP), maksillanın zigomatik sürecinin en yanıl noktası sağ (ZR) ve sol taraf (ZL). (B) Midsagittal düzlem (MP), mavi, MS5, MS7 ve VP'den geçiyor. (C) Yatay damak düzlemi (HPP), açık mavi, MP'ye dik ve MS5 ve MS7'den geçiyor. (D) Bizigomatik çizginin (ZR'-ZL') HPP'ye olan izdüşümünün ve midpalatal dikişin arka kısmının (MS5-MS7 çizgisi) kesişmesiyle tanımlanan Maksilla Merkezi (CM) noktası. (E) maksillanın x, y, z koordinat sisteminin orijini olarak CM noktası (65)



Resim 12. Apareyin istenen vida konumlarının belirlenmesi (65)



Resim 13. Rehber plağın elde edilmesi(65)

7. KÖK KONUMLARININ 3D DEĞERLENDİRMESİNDE AĞIZ İÇİ TARAMALAR İLE CBCT ENTEGRASYONU

CBCT görüntüleme tekniği günümüzde ortodontide önemli bir konuma gelmiştir ancak bir konik ışınli bilgisayarlı tomografi taramasının okluzal görselleştirmede bir sınırlaması vardır. Birçok araştırmacı ve klinisyen, sınırlı tarama çözünürlüğü ve radyopak diş restorasyonları veya ortodontik braketterin neden olduğu çizgi artefaktları nedeniyle, CBCT taramalarının tedavi planlaması için diş yapısı ve interoklüzal ilişkiler hakkında yeterince ayrıntılı bilgi sağlamadığı konusunda hemfikirdir (66-71). Ayrıca, tedavi sırasında veya sonrasında CBCT taraması yapmak, hastaları ve klinisyenleri radyasyona maruz kalma riskiyle karşı karşıya bırakır. Tekrarlanan CBCT taramaları, hastayı daha yüksek radyasyon seviyelerine maruz bırakacaktır; bu, özellikle çocuklarda klinik olarak önerilmemektedir (72-74).

Bu nedenle Lee ve ark., tedavi öncesi CBCT ve tedavi sonrası lazer tarama modeli kombinasyonu ile kök hareketinin izlenmesi için bir yöntem bildirdiler. Çalışmalarında kullanılan yöntem zaman alıcı olup ve çok çaba gerektirmektedir. Özellikle, CBCT'de alveoler kemikten bireysel diş kökü izolasyonu işlemi tekniğe duyarlıdır ve kullanıcıya bağımlıdır (75,76).

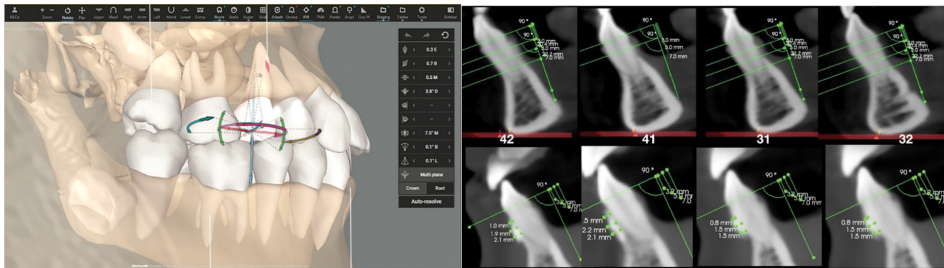
Bu teknikte öncelikle tedavi öncesi 3D diş modeli oluşturmak için, tedavi öncesi ağız içi taramalar ve buna karşılık gelen CBCT taramaları gereklidir. CBCT ile taranan kök ve intraoral olarak taranan kurondan oluşan 3 boyutlu diş modeli, bu iki görüntüleme yönteminin “birleştirme” işlevi kullanılarak entegre edilir. Tedavi sonrası kök pozisyonunu tahmin etmek için, tedavi öncesi diş modeli, tedavi sonrası ağız içi taramalarla birleştirilir ve bu amaçla kullanılacak programlarla tedavi sonundaki kök pozisyonu tahmin edilebilir (77).

8. CBCT’NİN ŞEFFAF PLAKLARA ENTEGRASYONU

Geleneksel sabit braketleme, ortodontide öngörülebilir sonuçlar elde etme konusunda uzun bir geçmişe sahiptir. Bununla birlikte, ortodontik tedavi sırasında sabit braketlemenin estetik sınırlamaları ve beslenme zorluğu gibi sorunlar şeffaf plakların gelişmesine yol açmıştır (78). Günümüzde firmalar CBCT ile şeffaf plakların entegrasyonu konusuna eğilmişlerdir. Bu şekilde yapılan 3 boyutlu kontrollerle plak verimliliği üst seviyelere çıkmıştır. Aynı zamanda yalnızca diş kron hareketini değil gerçek tarama verilerine dayalı olarak diş hareketleriyle beraber kök hareketinin de planlamaya dahil edilmesine ve kemik miktarının görüntülenmesine de olanak tanır (Resim 14).

CBCT’nin Şeffaf Plaklara Entegrasyonunun Getirdiği Avantajlar (79):

- 3D kontrol araçlarının verimliliğini en üst düzeye çıkarmak
- Gerçek tarama verilerine dayalı olarak gerçek kök işlemlerini ve kemik görüştürmelerini göstermek
- Çok çeşitli maloklüzyonlarda tedavi sonuçlarını planlamaya çok daha yakın elde etmek
- Aynı görünümde diş hareketiyle birlikte kök hareketini simüle etmek
- Planlamada mevcut alveolar kemik miktarını da göz önünde bulundurabilmek



Resim 14. CBCT’nin şeffaf plaklara entegrasyonu (79)

SONUÇ

Güncel diş hekimliği uygulamalarında 2 boyutlu görüntülemenin bazı durumlardaki yetersizliği ve hata payı gibi dezavantajlarından dolayı 3 boyutlu görüntülemeyle yararlanmak artık diş hekimliğinin her dalında olduğu gibi ortodontide de çok önemlidir. CBCT'nin görüntüleme, teşhis, tedavi planlaması açısından bize sağladığı imkanların dışında ortodontiye entegrasyonu ile aynı zamanda ortodonti uygulamalarında hasta başında işimizi kolaylaştırmaya ve çok daha başarılı tedaviler yapmamıza olanak tanımıştır. Ancak tüm bu yararlarının dışında radyasyon dozunun zararlı etkilerinden dolayı dikkatli olunması gerekmekte ve ancak gerekli görülen, tedavimizi başarıya ulaştıracağını düşündüğümüz uygulamalarda kullanılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Yoon DC, Mol A, Benn DK, Benavides E. Digital Radiographic Image Processing and Analysis. *Dent Clin North Am.* 2018;62(3):341-359. doi:10.1016/j.cden.2018.03.001.
2. Boeddinghaus R, Whyte A. Current concepts in maxillofacial imaging. *Eur J Radiol.* 2008;66(3):396-418. doi:10.1016/j.ejrad.2007.11.019
3. Jain S, Choudhary K, Nagi R, Shukla S, Kaur N, Grover D. New evolution of cone-beam computed tomography in dentistry: Combining digital technologies. *Imaging Sci Dent.* 2019;49(3):179-190. doi:10.5624/isd.2019.49.3.179.
4. Nemtoi A, Czink C, Haba D, Gahleitner A. Cone beam CT: a current overview of devices. *Dentomaxillofac Radiol.* 2013;42(8):20120443. doi:10.1259/dmfr.20120443
5. Kiljunen T, Kaasalainen T, Suomalainen A, Kortensniemi M. Dental cone beam CT: A review. *Phys Med.* 2015;31(8):844-860. doi:10.1016/j.ejmp.2015.09.004.
6. White SC, Pharoah MJ. The evolution and application of dental maxillofacial imaging modalities. *Dent Clin North Am.* 2008;52(4):689-v. doi:10.1016/j.cden.2008.05.006.
7. Hayashi T, Arai Y, Chikui T, et al. Clinical guidelines for dental cone-beam computed tomography. *Oral Radiol.* 2018;34(2):89-104. doi:10.1007/s11282-018-0314-3.
8. De Vos W, Casselman J, Swennen GR. Cone-beam computerized tomography (CBCT) imaging of the oral and maxillofacial region: a systematic review of the literature. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2009;38(6):609-625. doi:10.1016/j.ijom.2009.02.028
9. Leonardi R. Cone-beam computed tomography and three-dimensional orthodontics. Where we are and future perspectives. *J Orthod.* 2019;46(1_suppl):45-48. doi:10.1177/1465312519840029
10. Coskun I, Kaya B. Cone beam computed tomography in orthodontics. *Turkish Journal of Orthodontics* 2018;31: 55-61.
11. Hujoel P, Hollender L, Bollen AM, Young JD, McGee M, Grosso A. Radiographs associated with one episode of orthodontic therapy. *J Dent Educ.* 2006;70(10):1061-1065.
12. Mozzo P, Procacci C, Tacconi A, Martini PT, Andreis IA. A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. *Eur Radiol* 1998; 8: 1558-64.
13. Hatcher DC. Operational principles for cone-beam computed tomography. *J Am Dent Assoc* 2010; 141(Suppl. 3): 3S-6S.
14. Kapila S, Farman AG. Craniofacial imaging in the 21st century. Proceedings of the 2002 COAST Conference, Asilomar Conference Center, Pacific Grove, California. *Orthod Craniofac Res* 2003; 6: 7-8.

Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi'nin (CBCT) Ortodontik Tedavilerde Kullanımı ve Üç Boyutlu Tedavi Planlamasına Entegrasyonu

15. Kapila S, Conley RS, Harrell WE Jr. The current status of cone beam computed tomography imaging in orthodontics. *Dento- maxillofac Radiol* 2011; 40: 24–34.
16. Kapila S. Contemporary concepts on cone-beam computed to- mography in orthodontics. In: Kapila S, ed. Cone beam com- puted tomography in orthodontics: indications, insights and innovations. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell; 2014. pp. 5–42
17. Celikoglu M, Kamak H, Oktay H. Investigation of transmigrated and impacted maxillary and mandibular canine teeth in an orthodontic patient population. *J Oral Maxillofac Surg.* 2010;68(5):1001-1006. doi:10.1016/j.joms.2009.09.006
18. Grande T, Stolze A, Goldbecher H, Kahl-Nieke B. The displaced maxillary canine--a retrospective study. *J Orofac Orthop.* 2006;67(6):441-449. doi:10.1007/s00056-006-0616-7
19. Follin ME, Lindvall AM. Detection of lingual root resorptions in the intraoral radiographs. An experimental study. *Swed Dent J.* 2005;29(1):35-42.
20. Gavel V, Dermaut L. The effect of tooth position on the image of unerupted canines on panora- mic radiographs. *Eur J Orthod.* 1999;21(5):551-560. doi:10.1093/ejo/21.5.551
21. Haney E, Gansky SA, Lee JS, et al. Comparative analysis of traditional radiographs and cone-beam computed tomography volumetric images in the diagnosis and treatment planning of maxillary impacted canines. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2010;137(5):590-597. doi:10.1016/j.ajodo.2008.06.035
22. Bjerklin K, Ericson S. How a computerized tomography examination changed the treatment plans of 80 children with retained and ectopically positioned maxillary canines. *Angle Orthod.* 2006;76(1):43-51. doi:10.1043/0003-3219(2006)076[0043:HACTEC]2.0.CO;2
23. Honda K, Larheim TA, Maruhashi K, Matsumoto K, Iwai K. Osseous abnormalities of the mandibular condyle: diagnostic reliability of cone beam computed tomography compared with helical computed tomography based on an autopsy material. *Dentomaxillofac Radiol.* 2006;35(3):152-157. doi:10.1259/dmfr/15831361.
24. Katakami K, Shimoda S, Kobayashi K, Kawasaki K. Histological investigation of osseous changes of mandibular condyles with backscattered electron images. *Dentomaxillofac Radiol.* 2008;37(6):330-339. doi:10.1259/dmfr/93169617.
25. Arayasantiparb R, Mitirattanakul S, Kunasarapun P, Chutimataewin H, Netnoparat P, Sae-Heng W. Association of radiographic and clinical findings in patients with temporomandi- bular joints osseous alteration. *Clin Oral Investig.* 2020;24(1):221-227. doi:10.1007/s00784-019-02945-6.
26. European Commission, Radiation protection no. 172. Cone beam CT for dental and maxillo- facial radiology (evidence based guidelines) a report prepared by the sedentext project, 2012, http://www.sedentext.eu/files/radiation_protection_172.pdf.
27. Al-Delayme RM, Al-Khen M. Skeletal relapse after mandibular set- back in bi max surgery: intraoral vertical ramus versus bilateral sag- ittal split osteotomies. *J Maxillofac Oral Surg.* 2014;13:471-477.
28. Bailey LJ, Proffit WR, White R Jr. Assessment of patients for or- thognathic surgery. *Semin Orthod.* 1999;5:209-222.
29. Panou E, Motro M, Ates M, Acar A, Erverdi N. Dimensional changes of maxillary sinuses and pharyngeal airway in Class III pa- tients undergoing bimaxillary orthognathic surgery. *Angle Orthod.* 2013;83:824-831.
30. Loubele M, Bogaerts R, Van Dijck E, et al. Comparison between ef- fective radiation dose of CBCT and MSCT scanners for dentomaxil- lofacial applications. *Eur J Radiol.* 2009;71:461-468.
31. Ayoub AF, Mostafa YA, el-Mofty S. Soft tissue response to anterior maxillary osteotomy. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg.* 1991;6(3):183-190.
32. Dewan SK, Marjadi UK. Soft tissue changes in surgically treated cases of bimaxillary protrusi- on. *J Oral Maxillofac Surg.* 1983; 41, 116–118.
33. Kim JR, Son W S, Lee SG. A retrospective analysis of 20 surgically corrected bimaxillary prot- rusion patients. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg.* 2002; 17: 23–27.

34. Lee RT, Kyi CS, Mack GJ. A controlled clinical trial of the effects of the Twin Block and Dynamax appliances on the hard and soft tissues. *Eur J Orthod.* 2007; 29: 272–282. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjm004>
35. Okudaira M, Kawamoto T, Ono T, Moriyama K. Soft-tissue changes in association with anterior maxillary osteotomy: a pilot study. *Oral Maxillofac Surg.* 2008; 12: 131–138. <https://doi.org/10.1007/s10006-008-0121-9>
36. Ho CT, Lin HH, Liou EJ, Lo LJ. Three-dimensional surgical simulation improves the planning for correction of facial prognathism and asymmetry: a qualitative and quantitative study. *Sci Rep.* 2017;7:40423.
37. Xia JJ, Gateno J, Teichgraber JF. New clinical protocol to evaluate craniomaxillofacial deformity and plan surgical correction. *J Oral Maxillofac Surg.* 2009;67:2093–106.
38. Farrell BB, Franco PB, Tucker MR. Virtual surgical planning in orthognathic surgery. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am.* 2014;26:459–73.
39. Wu TY, Lin HH, Lo LJ, Ho CT. Postoperative outcomes of two- and three- dimensional planning in orthognathic surgery: a comparative study. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2017;70:1101–11.
40. Farrell BB. Evolving Management of Dentofacial Deformities with Digital Planning and Patient-Specific Fixation. *Atlas Oral Maxillofac Surg Clin North Am* 2020; 28: 59-71.
41. Lin HH, Lonic D, Lo LJ. 3D printing in orthognathic surgery - A literature review. *J Formos Med As- soc* 2018; 117: 547-558.
42. Zinser MJ, Mischkowski RA, Dreiseidler T, Thamm OC, Rothamel D, Zöllner JE. Computer-assisted orthognathic surgery: waferless maxillary positioning, versatility, and accuracy of an image-guided visualisation display. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2013;51(8):827-833. doi:10.1016/j.bjoms.2013.06.014
43. Popat H, Richmond S, Drage NA. New developments in: three-dimensional planning for orthognathic surgery [published correction appears in *J Orthod.* 2010 Dec;37(4):319. Drage, Nicholas A [added]] [published correction appears in *J Orthod.* 2010 Jun;37(2):140]. *J Orthod.* 2010;37(1):62-71. doi:10.1179/14653121042885
44. Meyer M, Nelson G. Preadjusted edgewise appliances: theory and practice. *Am J Orthod.* 1978;73(5):485–498.
45. Gardner S, Khosravi R, Detweiler M et al. 3D printing digitally planned in-direct bonding tray. *Semin Orthod* 2022; 28:61–72.
46. Grünheid T, Lee MS, Larson BE. Transfer accuracy of vinyl polysiloxane trays for indirect bonding. *Angle Orthod.* 2016;86(3):468-474. doi:10.2319/042415-279.1
47. Kwon SY, Kim Y, Ahn HW, Kim KB, Chung KR, Kim Sunny SH. Computer-Aided Designing and Manufacturing of Lingual Fixed Orthodontic Appliance Using 2D/3D Registration Software and Rapid Prototyping. *Int J Dent* 2014;2014:164164.
48. Maino BG, Mura P, Bednar J. Miniscrew implants: the spider screw anchorage system. *Semin Orthod.* 2005 11: 40–46.
49. Melsen B, Verna C. Miniscrew implants: the Aarhus anchorage system. *Semin Orthod.* 2005 11: 24–31.
50. Hedayati Z, Hashemi SM, Zamiri B, Fattahi HR. Anchorage value of surgical titanium screws in orthodontic tooth movement. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2007;36(7):588-592. doi:10.1016/j.ijom.2006.10.020.
51. 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(4 Suppl):S68-S73. doi:10.1016/j.ajodo.2006.06.017.
52. Kravitz ND, Kusnoto B. Risks and complications of orthodontic miniscrews. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007;131(4 Suppl):S43-S51. doi:10.1016/j.ajodo.2006.04.027.
53. Cope JB. Temporary anchorage devices in orthodontics: a paradigm shift. *Semin orthod.* 2005 11: 3–9.

*Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi'nin (CBCT) Ortodontik Tedavilerde
Kullanımı ve Üç Boyutlu Tedavi Planlamasına Entegrasyonu*

54. Kravitz N, Kusnoto B. Dual-Top Anchor Mini Orthoscrews: seminar manual—UIC Clinical Test Protocol. Rocky Mountain Orthotics. 2005 17–40.
55. Ohnishi H, Yagi T, Yasuda Y, Takada K. A mini-implant for orthodontic anchorage in a deep overbite case. *Angle Orthod.* 2005 May;75(3):444-52. doi: 10.1043/0003-3219(2005)75[444:AMFOAI]2.0.CO;2. PMID: 15898387.
56. Bae MJ, Kim JY, Park JT, et al. Accuracy of miniscrew surgical guides assessed from cone-beam computed tomography and digital models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013;143(6):893-901. doi:10.1016/j.ajodo.2013.02.018.
57. Suzuki EY, Suzuki B. Accuracy of miniscrew implant placement with a 3-dimensional surgical guide. *J Oral Maxillofac Surg.* 2008 Jun;66(6):1245-52. doi:10.1016/j.joms.2007.08.047.
58. Akdeniz BS, Çarpar Y, Arslan Çarpar K. Digital three-dimensional planning of orthodontic miniscrew anchorage: A literature review. *J. Exp. Clin. Med.* 2022; 39(1): 269-274.
59. Beretta M, Poli PP, Tansella S, Maiorana C. Virtually guided alveolar ridge reduction combined with computer-aided implant placement for a bimaxillary implant-supported rehabilitation: A clinical report. *J Prosthet Dent.* 2018;120(2):168-172. doi:10.1016/j.prosdent.2017.11.010.
60. Spector L. Computer-aided dental implant planning. *Dent Clin N Am.* 2008 52: 761–775.
61. Beretta M, Poli PP, Maiorana C. Accuracy of computer-aided template-guided oral implant placement: a prospective clinical study. *J Periodontal Implant Sci.* 2014;44(4):184-193. doi:10.5051/jpis.2014.44.4.184.
62. Maino G, Paoletto E, Lombardo L, Siciliani G. MAPA: A new high-precision 3D method of palatalminiscrew placement. *EJCO.* 2015 3: 41–47.
63. De Gabriele O, Dallatana G, Riva R, Vasudavan S, Wilmes B. The easy driver for placement of palatal mini-implants and a maxillary expander in a single appointment. *J Clin Orthod.* 2017 Nov;51(11):728-737.
64. Kim SH, Choi YS, Hwang EH, Chung KR, Kook YA, Nelson G. Surgical positioning of orthodontic mini-implants with guides fabricated on models replicated with cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007 Apr;131(4 Suppl):S82-9. doi: 10.1016/j.ajodo.2006.01.027.
65. Cantarella D, Savio G, Grigolato L, et al. A New Methodology for the Digital Planning of Micro-Implant-Supported Maxillary Skeletal Expansion. *Med Devices (Auckl).* 2020;13:93-106. Published 2020 Mar 18. doi:10.2147/MDER.S247751
66. Gateno J, Xia J, Teichgraeber JF, Rosen A. A new technique for the creation of a computerized composite skull model. *J Oral Maxillofac Surg.* 2003;61:222–7.
67. Uechi J, Okayama M, Shibata T, Muguruma T, Hayashi K, Endo K, Mizogu-chi I. A novel method for the 3-dimensional simulation of orthognathic surgery by using a multimodal image-fusion technique. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2006;130:786–98.
68. Swennen GR, Barth EL, Eulzer C, Schutyser F. The use of a new 3D splint and double CT scan procedure to obtain an accurate anatomic virtual augmented model of the skull. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2007;36:146–52.
69. Plooiij JM, Maal TJ, Haers P, Borstlap WA, Kuijpers-Jagtman AM, Berge SJ. Digital three-dimensional image fusion processes for planning and evaluating orthodontics and orthognathic surgery. A systematic review. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2011;40:341–52.
70. Rangel FA, Maal TJ, Berge SJ, Kuijpers-Jagtman AM. Integration of digital dental casts in cone-beam computed tomography scans. *ISRN Dent* 2012:949086.
71. Ye N, Long H, Xue J, Wang S, Yang X, Lai W. Integration accuracy of laser-scanned dental models into maxillofacial cone beam computed tomography images of different voxel sizes with different segmenta- tion threshold settings. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2014;117:780–6.
72. Ludlow JB, Davies-Ludlow LE, Brooks SL, Howerton WB. Dosimetry of 3 CBCT devices for oral and maxillofacial radiology: CB Mercuray, NewTom 3G and i-CAT. *Dentomaxillofac Radiol.* 2006;35:219–26.

73. Silva MA, Wolf U, Heinicke F, Bumann A, Visser H, Hirsch E. Conebeam computed tomography for routine orthodontic treatment planning: a radiation dose evaluation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008;133(640):e1-5.
74. Brooks SL. CBCT dosimetry: orthodontic considerations. *Semin Orthod.* 2009;15:14-8.
75. Lee RJ, Weissheimer A, Pham J, Go L, de Menezes LM, Redmond WR, et al. Three-dimensional monitoring of root movement during orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2015;147:132-42.
76. Lee RJ, Pi S, Park J, Nelson G, Hatcher D, Oberoi S. Three-dimensional evaluation of root position at the reset appointment without radiographs: a proof-of-concept study. *Prog Orthod.* 2018;19:15.
77. Lee SC, Hwang HS, Lee KC. Accuracy of deep learning-based integrated tooth models by merging intraoral scans and CBCT scans for 3D evaluation of root position during orthodontic treatment. *Prog Orthod.* 2022;23(1):15. Published 2022 May 9. doi:10.1186/s40510-022-00410-x.
78. Malik OH, McMullin A, Waring DT. Invisible orthodontics part 1: invisalign. *Dent Update.* 2013;40:203-204. <https://doi.org/10.12968/denu.2013.40.3.203>. 207-210, 213-205.
79. Invisalign(2023) <https://www.invisalign.com/provider/ccpro6.0/cbct>