

## ORTODONTİDE KONİK IŞINLI BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ KULLANIMI

### CONE-BEAM COMPUTED TOMOGRAPHY IN ORTHODONTICS

<sup>1</sup>\*Elif TARIM ERTAŞ, <sup>2</sup>İlknur VELİ, <sup>3</sup>Meral YIRCALI ATICI, <sup>4</sup>Burçin YÜKSEL

<sup>1</sup>Yrd. Doç. Dr. İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı, İZMİR.

<sup>2</sup>Yrd. Doç. Dr. İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ortodonti Anabilim Dalı, İZMİR.

<sup>3</sup>Araş. Gör. İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı, İZMİR.

<sup>4</sup>Araş. Gör. İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ortodonti Anabilim Dalı, İZMİR.

#### Özet

Ortodontik değerlendirmeler genellikle lateral sefalometrik radyografi ile desteklenmiş bir panoramik radyografi ile yapılmakta ve gerektiğinde intraoral radyografiler, hastaya özgü ihtiyaçlara göre kullanılmaktadır. Ancak son yıllarda, konik ışınli bilgisayarlı tomografiye ulaşım kolaylığı bazı klinisyenler tarafından ortodontik tedaviler için radyolojik değerlendirmelerde kullanılmaya başlanmıştır. Bu derlemenin amacı konik ışınli bilgisayarlı tomografinin ortodontide kullanımını güncel veriler niteliğinde değerlendirmektir.

**Anahtar Kelimeler:** Konik ışınli bilgisayarlı tomografi, ortodonti.

#### Abstract

Orthodontic assessments are often made with a panoramic radiography and when needed it is supplemented by lateral cephalometric radiography and intraoral radiographs according to patient specific needs. However, in recent years due to easy access to cone beam computed tomography, it has been used for orthodontic radiologic assessment by some clinicians. The aim of this review is to assess the use of cone beam computed tomography in orthodontics with current data.

**Key words:** Cone beam computed tomography, orthodontics.

#### Giriş

Anatomik dokuların daha iyi görüntülenebileceği ve hastayı daha az radyasyona maruz bırakacak alternatif bir bilgisayarlı tomografi (BT) tekniğine yönelik çalışmalar, sensör tasarımındaki gelişmeler ve modern bilgisayarlardaki teknik gelişmeler sayesinde 1998 yılında konik ışınli bilgisayarlı tomografinin (KIBT) üretilmesi ile sonuçlanmıştır(1). Önceleri radyoterapide (2), vasküler görüntüleme ve küçük örneklerin mikro tomografisinde (3, 4) kullanılan KIBT tekniği, piyasaya sürülen ilk KIBT cihazı olan NewTom 9000 (Quantitative Radiology, Verona, İtalya) ile dentomaksillofasiyal dokuların görüntülenmesinde kullanılmaya başlanmıştır (1).

KIBT ile geleneksel BT' lerde olduğu gibi

her üç düzlemde de inceleme yapmak ve 3 boyutlu görüntü elde etmek mümkündür. KIBT tarayıcıları diş ve kemik gibi sert dokuların görüntülenmesi için optimize edilmiş iken; BT tarayıcıları, fizyolojik ve patolojik koşulların değerlendirilmesi, vücudun farklı yumuşak dokularının radyoopasitelerindeki ince ayrımların tespiti için optimize edilmiştir (5).

KIBT ve geleneksel BT tarayıcı sistemlerinin dizaynları arasındaki temel fark cihazların çalışma prensipleri ile açıklanmaktadır. Spiral ve konvansiyonel BT' lerde fan (yelpeze) şeklinde ışın demeti mevcuttur ve aksiyal düzlemde alınan çoklu kesitlerin üst üste yığılması ile görüntü elde edilmektedir. KIBT ise, görüntülenmek istenilen alan etrafında konik x-ışını demeti kullanılarak gantrinin tek bir rotasyonuna imkân veren iki boyutlu bir dedektör veya panelin kullanıldığı hacimsel veriye dayanır (1, 6, 7). Tüp-dedektör (veya flat panel) sistemi hasta başı etrafında 360° dönerken incelenecek olan bölgenin hacimsel bir görüntüsü elde edilir. Teknikte, primer x-ışını demeti sadece görüntülenmek istenen alana sınırlandırılabilirdiği için radyasyona maruz kalacak sahanın küçültülmesi, hastanın alacağı radyasyon

#### \*İletişim Adresi

Dr. Elif TARIM ERTAŞ  
İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi,  
Ağız Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı,  
İzmir.

Tel: +90 232 325 4040- 2352  
E-mail: dteliftarim @yahoo.com

dozunun ve saçılmış radyasyonun azaltılması sağlanmış olur.

Işınlama dozu ve maliyet açısından KIBT kullanımı, konvansiyonel BT ve multislice BT'lerle mukayese edildiğinde belirgin bir biçimde azalmış olup (8) efektif radyasyon dozu KIBT sistemlerde oldukça düşüktür. Bu doz, cihazların tipine bağlı olarak değişmekle beraber klasik BT'lerde yaklaşık 289-723  $\mu$ Sv, KIBT'lerde ise 7-50  $\mu$ Sv civarındadır (8). KIBT'lerdeki bu doz, yaklaşık 4-15 panoramik radyografi çekimi esnasında hastanın aldığı radyasyon dozuna eşittir (7). Sonuç olarak, KIBT sistemlerde efektif radyasyon dozunun klasik BT'lere göre yaklaşık %85-98 oranında daha az olduğu söylenebilmektedir.

Görüntülenen alandan elde edilen hacimsel veriler "voksel" adı verilen kübik yapıların toplamından oluşmakta olup voksellerin boyutları görüntünün çözünürlüğünü belirlemektedir. Bu kübik yapıların boyutları ne kadar küçük ise görüntünün çözünürlüğü yani kalitesi o kadar yüksek olur. BT'de voksel yüzey alanı 0.625 mm<sup>2</sup> olmasına rağmen, derinlik genellikle 1-2 mm civarındadır. KIBT cihazları ise 3 boyutta da eşit voksel rezolüsyonu sağlamaktadır. Klasik BT'lerde voksel boyutu yaklaşık olarak 0,3 mm<sup>3</sup>, KIBT'lerde ise 0,07-0,4 mm<sup>3</sup> arasında değişir (8). KIBT'lerde gerek küçük voksel boyutu, gerekse her 3 boyutun da aynı olması sayesinde görüntü çözünürlüğü artmakta ve daha net görüntüler elde edilebilmektedir (9, 10).

Literatürde KIBT'nin boyutsal ölçümdeki doğruluğu konusunda birçok araştırma yapılmış ve çalışmaların çoğunda referans olarak kullanılan ölçümler, direkt iskeletsel ölçümler ile kıyaslanmıştır. Genel anlamda elde edilen sonuçlar, görüntü üzerinde yapılan ölçümler ile direkt iskeletsel ölçümler arasında klinik olarak önemsiz sayılacak bir farkla, KIBT ile elde edilen ölçümlerin yüksek doğruluğa sahip olduğu şeklinde özetlenebilmektedir (11).

KIBT sistemlerinin; maksillofasial bölgedeki iskeletsel yapıların minimal distorsiyonla üç boyutlu görüntüsünü sağlaması, bu teknolojinin kullanılabilirliğinde artış sağlamıştır (7, 12). KIBT tekniği ile elde edilen görüntülerin; implant planlaması, mevcut patolojilerin teşhisi, temporomandibuler eklemin (TME) değerlendirilmesi ve çene-yüz bölgesi kırıklarının saptanmasında oldukça başarılı sonuçlar verdiği bildirilmiştir (13-18). KIBT teknolojisindeki hızlı ilerlemeler, son yıllar

içerisinde bu teknolojiye sahip görüntüleme cihazı sayısında anlamlı bir artışa yol açmıştır. Günümüzde tüketicilerin ulaşabileceği 40'dan fazla KIBT sistemi bulunmaktadır.

İlk KIBT sisteminin 2001 yılında Loma üniversitesi'nde kurulmasını takiben, 2007 yılında 1000 kurulum olduğu rapor edilmiş ve 2008 yılının sonunda bu sayı ikiye katlanmıştır (19). 2003 yılında Pubmed veritabanında arama yapıldığında KIBT ile ilgili sadece 9 makale bulunurken; 2008 yılında bu sayı 40'ın üzerine çıkmıştır. 2012 sonunda ise anahtar kelime olarak "Cone-beam computed tomography" yazıldığında 4100' e yakın çalışmaya ulaşılmakta, bu sayı her geçen gün artmaktadır (19).

Herhangi bir X-ışını uygulamasında olduğu gibi KIBT de hasta için risk oluşturmaktadır. Tercih edilecek radyolojik yöntem ile elde edilen veriler hastaya net bir yarar sağlamalı ve uygulamanın hastaya oluşturabileceği zarar ile diagnostik açıdan sağladığı yarar karşılaştırılarak yöneme karar verilmelidir. Aynı amaçla kullanılacak fakat daha az veya hiç radyasyon içermeyen çeşitli tekniklerin etki, yarar ve riski akılda tutulmalıdır. Bütün KIBT uygulamalarının bireysel olarak hastaya getireceği potansiyel yararın, potansiyel riskinden fazla olduğu doğrulanmalı ve KIBT uygulamaları hastanın tedavisine yeni bilgiler eklemelidir (11).

### **KIBT'nin Ortodontideki Yeri ve Katkısı**

Literatürde KIBT'nin lokalize uygulamaları konusunda destekleyici araştırma verileri olmasına karşın, ortodontik tedavinin herhangi bir aşamasında geniş görüntüleme alanında (FOV) endike KIBT kullanımını destekleyecek bilimsel olarak geçerli veriler bulunmamaktadır (11).

Tüm fasiyal iskeleti görüntülemeye tercih edilen geniş FOV kraniofasial KIBT, bazı klinisyenler tarafından ortodontik değerlendirmede rutin olarak kullanılmaktadır (20, 21). Ancak uygulanan radyasyon dozları ve hastaların büyük ölçüde pediatrik yaş grubunda olmaları göz önünde bulundurulduğunda, bu uygulama konusunda tartışmalar devam etmektedir.

Avrupa Radyasyondan Korunma Komisyonu (European Commission Radiation Protection), ortodontik tedavilerde KIBT'yi

standart tanı ve planlama yöntemi olarak tavsiye etmemektedir. Bu görüş Amerikan Ortodonti Derneği'nin (American Orthodontic Society, 2010) tavsiyesi ve Avrupa Ulusal Rehberi ( Haute autorité de Sante 2009 Leitlinie der DGZMK, 2009 Isaacson ve ark, 2008) ile uyum içindedir. Bununla birlikte, Avrupa Radyasyondan Korunma Komisyonu, 16 yaş veya üzerinde tedavi planlamasının bir parçası olarak cerrahi veya kombine ortodontik/ cerrahi müdahale gerektiren karmaşık kraniyofasiyal deformitesi olan hastaların değerlendirilmesi ve kesin tedavi prosedürleri için görüntüleme metodu olarak geniş FOV KIBT' nin potansiyel önemini vurgulamaktadır. Ancak, iskeletsel gelişimin düzenli takibi için ve ortodontik tanıda geniş FOV KIBT'nin rutin olarak kullanımı önerilmemektedir (11).

Avrupa Radyasyondan Koruma Komisyonu 2004 yılında yayınladıkları yönergede; uygulanan tedavi kriterlerinden ödün vermeden, radyografilerin sayılarının azaltılabileceğini vurgulamıştır (11). Birçok çalışmada, KIBT'nin teşhis ve tedavi planlamasını değiştirebileceği ve sefolometrik radyografilerin her zaman tedavi planlamasına katkı sağlamayacağı gösterilmiştir (22-25).

Çoğu ortodontist gömük, eksik veya süpernümere diş vakalarında KIBT istemekte ve elde edilen veriler ek bir teşhis değeri sağladığından KIBT'ye olan talep artmaya devam etmektedir. (19) Cha ve ark. (26) her yeni hastada KIBT görüntüleme yöntemi kullanıldığında teşhis değeri olan tesadüfi bulguların %26 oranında arttığını bildirmiştir.

### **Ortodontik Tanı ve Tedavide KIBT'nin Avantajları;**

- Pseudo lateral ve frontal sefalometrik radyografilerin, panoramik ya da tek periapikal görüntülerin elde edilmesi mümkündür.

- Daha önce oluşturulması mümkün olmayan, tüm hacim içerisinden istenilen alanın önündeki ve arkasındaki yapıların süperpozisyonu olmaksızın istenilen kalınlıkta kesit görüntüleri oluşturulabilmekte ve elde edilen görüntüler istenilen düzlemde oryante edilebilmektedir. Bu kesitler özellikle temporomandibuler eklem bozukluklarının analizinde oldukça değerlidir.

- Sistem aynı zamanda baş bölgesindeki herhangi bir bölgenin ilişkide olduğu yapılarla dijital olarak diseksiyonunu sağlayarak görüntü oluşturabilir, örneğin glenoid fossadan ayrılmış kondil görüntüsü oluşturulabilmektedir.

- Planar görüntüler farklı bakış açılarından incelenebilmekte; istenilen şekilde sagittal, para-sagittal, koronal veya oblik kesitler oluşturulabilmektedir (5).

- Düşük radyasyon dozu, özellikle 3 boyutlu inceleme gerektiren damak yarığı ve ortodontik malformasyonlara sahip genç hastaların incelenmesi açısından faydalıdır (1, 7).

### **KIBT'nin Ortodontide Kullanım Alanları**

Literatürde KIBT'nin birçok kullanım alanı gösterilmiştir (7).

#### **1. Gömük dişlerin lokalizasyonu:**

Gömük dişlerin lokalizasyonunu belirlemede daha düşük dozlu konvansiyonel radyografiden bilgi elde edilemediğinde KIBT kullanımının endike olduğu bildirilmiştir (11). Gömük dişler varlığında uygulanan geleneksel radyolojik değerlendirme, farklı açılar ile çekilen görüntüler arasında paralaks tekniği kullanımına dayanmaktadır. Literatürde bazı çalışmalarda, multi slice BT (MSBT) bu amaç için kullanılmış ve KIBT ile karşılaştırılmıştır (11).

Haney ve ark.(27) gömük maksiller kanin dişler üzerine yaptıkları bir klinik çalışmada, konvansiyonel radyografi ve KIBT arasında diş pozisyonunun belirlenmesinde farklılıklar olduğunu belirtmişlerdir.

Botticelli ve ark.(28)'da yapmış oldukları çalışmada konvansiyonel radyografilere kıyasla KIBT kullanıldığında kanin dişlerin pozisyonunun belirlenmesinde farklılıklar olduğunu ancak olguların pek azında tedavi kararlarının farklı olduğunu bildirmişlerdir.

Katheria ve ark.(30) kanin ve süpernümerer dişlerin pozisyonlarını belirledikleri çalışmalarında benzer sonuçlar bildirirken, KIBT'nin konvansiyonel tekniklere göre daha faydalı olduğunu belirtmişlerdir.

#### **2. Kök rezorpsiyonlarının tespiti:**

Gömük dişlerin pozisyonlarının değerlendirmesi sırasında aynı zamanda komşu dişlerdeki

rezorpsiyonunun varlığı da değerlendirilmelidir. Literatürde pek çok non-sistemik derleme ve vaka raporunda gömük dişlerle ilişkili kök rezorpsiyonlarında KIBT uygulamaları bildirilmiştir. Ayrıca gömük dişler ile ilişkili rezorpsiyonunun değerlendirilmesinde KIBT'nin tanısal ve terapötik etkinliğinin değerlendirildiği çalışmalar mevcuttur (11).

Haney ve ark.(27) yapmış oldukları çalışmada kök rezorpsiyonunun tanısında konvansiyonel ve KIBT görüntüleri arasında bir uyum olduğunu bildirmiştir.

Katheria ve ark.(29) ise KIBT incelemelerinde daha fazla rezorpsiyon olgusunun skorlandığını bildirmiş ancak sonuçlar değerlendirildiğinde skorların yanlış pozitif olma olasılığı göz önünde bulundurulmamıştır.

Alqerban ve ark.(31) gömük kaninlere bağlı kök rezorpsiyonunu değerlendirdikleri çalışmalarında, panoramik radyografilere kıyasla KIBT kullanıldığında rezorpsiyonun tespit edilebilme oranında artış olduğunu bildirmişlerdir.

Kuru kafa üzerinde oluşturulan rezorpsiyon alanlarının iki ayrı KIBT yöntemi ve panoramik radyografi ile değerlendirildiği bir diğer çalışmada KIBT'nin duyarlılık ve özgüllük açısından daha avantajlı olduğu saptanmıştır (32).

Tüm bu çalışmalardan çıkarttığımız sonuç özellikle fasiyal ve palatinal yüzeylerdeki rezorpsiyonu belirlemede KIBT'nin intraoral radyografilere göre daha etkin olduğudur. Ancak bu sonucu destekleyen ya da tedavi sonuçlarını geliştirdiğini gösteren herhangi bir araştırma sonucu bulunmamaktadır. Konvansiyonel radyografiler hekime gömük ya da süpernümerer dişlerin oluşturduğu rezorpsiyonu belirlemede KIBT kadar yeterli bilgi sunmamaktadır. Ancak bu durum yinede KIBT'yi ilk tercih sebebi yapmamaktadır. Gömülü dişin yerinin belirlenmesi ve komşu dişteki rezorpsiyonu tespiti için KIBT isteneceği durumlarda hastaların maruz kalacağı radyasyonu azaltmak adına en dar FOV alanı seçilmelidir.

**3. Havayolu analizi:** Konvansiyonel radyografiler 2 boyutlu görüntü sağladıkları için havayolunun değerlendirilmesinde tam bir bilgi sağlamamaktadır. KIBT, üst hava yolunun değerlendirilmesinde yeni ve etkili bir teşhis

yöntemi olarak tanıtılmış ve literatürde pek çok çalışmada kullanılmıştır (33-35).

**4. Alveoler kemik yüksekliği ve hacminin değerlendirilmesi:** KIBT ile elde edilen görüntüler, kemik bölgelerinin daha iyi değerlendirilmesine yardımcı olmaktadır (36).

Literatürde, KIBT'nin mini implantlar yerleştirilmeden evvel en uygun lokasyonunu belirlemede ve köklere gelebilecek zararını engellemede kullanıldığını bildirilmektedir (20, 30). Birçok çalışmada geçici ankraj aygıtları olan mini implantların yerleştirilme bölgelerindeki yeterli kemik kalınlığının değerlendirilmesi için KIBT kullanımına yer verilmiştir (31-37). Aynı zamanda KIBT verilerine dayalı olarak yapılan cerrahi stentlerin de kullanımını önerilmektedir (38, 39).

Jung ve ark. çalışmalarında mini implantların yerleştirilmesinden evvel BT ve KIBT gerekliliğini karşılamış ve sonuç olarak üç boyutlu görüntülemenin sadece ölçümlerin çok sınırdaki olduğu nadir vakalarda yeterli olduğunu belirtmişlerdir (39). Ortodontik tedavilerde mini implantların planlanmasında KIBT'nin rutin olarak kullanımını endike değildir (11).

**5. Damak yarıklı hastaların teşhis ve tedavisi:** Damak yarığı olan vakaların tedavi planlamasında KIBT kullanımı birçok çalışmada yer almıştır (40-42). Damak yarıklı hastalarda, defekt için gerekli olan greft miktarının ve cerrahi sonrası yeterli kemik dolununun olup olmadığının değerlendirilmesi için 3D tekniklere ihtiyaç bulunmaktadır (43, 44). Literatürde, yarıklı damaklı vakalarda KIBT uygulamalarının 3D görüntüler oluşturmak için uygun ve radyasyon dozunun MSBT'lere kıyasla nisbeten daha düşük olduğu bildirilmiştir. Yine hastanın maruz kalacağı radyasyon dozunu azaltmak adına en dar FOV seçilmelidir.

**6. Ortognatik cerrahi:** Ortognatik cerrahi öncesi üç boyutlu görüntüleme kullanımı ile ilişkili olarak literatürde çok sayıda çalışma bulunmaktadır (45-54). Avrupa Radyasyondan Korunma Komitesi yayınladığı raporda; KIBT'nin ortognatik cerrahi planlamalarında kraniofasiyal iskeletin üç boyutlu verilerini elde etmek için kemik ile ilgili bilgi gerektiğinde endike olduğunu bildirmiştir (11).



## 7. Temporomandibular eklem:

Temporomandibular eklem (TME) ile ilgili şikayetleri olan hastaların büyük çoğunluğunda miyofasyal ağrı / disfonksiyon veya internal disk düzensizlikleri de mevcuttur. Miyofasyal ağrı veya disfonksiyon da kemik kaynaklı anomaliler görülmezken bazen internal disk düzensizliklerinde kemik yapılarda düzensizlikler ortaya çıkabilir. Bu gibi durumlarda, radyografiler tedavi yönetimi için önemli bilgiler sağlamaz. TME diskin görüntülenmesi gerektiğinde, Manyetik Rezonans Görüntüleme (MR) ilk düşünülmesi gereken seçim yöntemidir.

TME ile ilgili karşılaşılan diğer patolojilerden olan osteoartroz ve romatoid artrit vakalarında genellikle konvansiyonel grafiler ve KIBT ile saptanabilen kemik değişiklikleri bulunmaktadır. KIBT istek gerekçesi göz önüne alındığında, klinisyen elde edilen bilgilerin hastanın tedavisini değiştirip değiştirmeyeceğini göz önüne almalıdır.

Literatürde KIBT'nin teşhisteki doğruluğu ile ilişkili çalışmalar (14, 55-57) ve non-sistemik derlemeler bulunmaktadır (58-63). Bununla birlikte, eklem erozyonlarının ve osteofitlerin KIBT ile değerlendirildiği derleme yayınlanmıştır (64).

Kondilde ortaya çıkan kemik patolojilerinin değerlendirilmesinde KIBT görüntülerinin MSBT'ye benzer doğrulukta teşhis sağladığı (55), kondildeki rezorpsiyonların saptanmasında panoramik radyografi ve lineer tomografi görüntülere göre ise daha fazla doğruluk sağladığı bildirilmiştir.(65) Bununla birlikte, Hintze ve ark.(56) kondiler anomalilerin tanısal doğruluğu açısından KIBT ve konvansiyonel tomografiler arasında herhangi bir farklılık olmadığını belirtmişlerdir.

Kemik anormalliklerinin tespitinde KIBT'nin MR ile karşılaştırıldığı bir çalışmada; osseöz değişikliklerin saptanmasında, MR'ın daha düşük duyarlılığa sahip olduğu bildirilmiştir (66).

Petersson (74), TME bozukluklarının tanısı için TME'in görüntülenmesinin gerekli olmadığını belirtmiştir. Ayrıca literatürde, TME hastalarının görüntüleme yöntemleri ile incelenip incelenmemesi gerektiği konusunda net bir kanıt bulunmamaktadır.

## Sonuç

BT'nin endikasyon sahaları yüksek radyasyon dozu nedeniyle gün geçtikçe kısıtlanmaktadır. Bu açıdan bakıldığında KIBT daha az x-ışını kullanılarak 3 boyutlu tanı ve tedavi planlamasını mümkün hale getirmiştir. BT'ler ile karşılaştırıldığında KIBT sistemlerinin maliyeti, düşük radyasyon dozu ve diş hekimliğine özgü olması bu sistemi bir adım daha öne çıkarmaktadır. Şüphesiz üç boyutlu radyografi kullanımı ortodonti uzmanlığı üzerinde büyük etkiye sahiptir ve ortodontik tedavilerin karar aşamalarını etkilemeye devam edecektir.

## Kaynaklar

1. 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(9):1558-64.
2. Cho PS, Johnson RH, Griffin TW. Cone-beam CT for radiotherapy applications. *Phys Med Biol* 1995;40(11):1863-83.
3. Harrison RM, Farmer FT. The determination of anatomical cross-sections using a radiotherapy simulator. *Br J Radiol* 1978;51(606):448-53.
4. Machin K, Webb S. Cone-beam x-ray microtomography of small specimens. *Phys Med Biol* 1994;39(10):1639-57.
5. Baumrind S. The Road to Three-Dimensional Imaging in Orthodontics. *Seminars in Orthodontics* 2011;17(1):2-12.
6. Scarfe WC, Farman AG, Sukovic P. Clinical applications of cone-beam computed tomography in dental practice. *J Can Dent Assoc* 2006;72(1):75-80.
7. Sukovic P. Cone beam computed tomography in craniofacial imaging. *Orthod Craniofac Res* 2003;6 Suppl, 1:31-36; discussion 179-82.
8. Rigolone M, Pasqualini D, Bianchi L, Berutti E, Bianchi SD. Vestibular surgical access to the palatine root of the superior first molar: "low-dose cone-beam" CT analysis of the pathway and its anatomic variations. *J Endod* 2003;29(11):773-75.
9. Danforth RA, Dus I, Mah J. 3-D volume imaging for dentistry: a new dimension. *J Calif Dent Assoc* 2003;31(11):817-23.
10. Suomalainen A, Vehmas T, Kortensniemi M, Robinson S, Peltola J. Accuracy of linear measurements using dental cone beam and conventional multislice computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol* 2008;37(1):10-7.
11. Terakado M, Hashimoto K, Arai Y, Honda M, Sekiwa T, Sato H. Diagnostic imaging with newly developed ortho cubic super-high resolution computed tomography (Ortho-CT). *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2000;89(4):509-18.
12. European Commission Radiation Protection No 172 Cone Beam CT for Dental and Maxillofacial Radiology Evidence Based Guidelines. 2012.
13. Mah JK, Danforth RA, Bumann A, Hatcher D. Radiation absorbed in maxillofacial imaging with a new dental computed tomography device. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2003;96(4):508-13.
14. Hilgers ML, Scarfe WC, Scheetz JP, Farman AG. Accuracy of linear temporomandibular joint measurements with cone beam computed tomography and digital cephalometric radiography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2005;128(6):803-11.

15. Honda K, Bjornland T. Image-guided puncture technique for the superior temporomandibular joint space: value of cone beam computed tomography (KHBT). *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2006;102(3):281-86.
16. Honda K, Larheim TA, Johannessen S, Arai Y, Shinoda K, Westesson PL. Ortho cubic super-high resolution computed tomography: a new radiographic technique with application to the temporomandibular joint. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2001;91(2):239-43.
17. Naitoh M, Yamada S, Noguchi T, Arijii E, Nagao J, Mori K, et al. Three-dimensional display with quantitative analysis in alveolar bone resorption using cone-beam computerized tomography for dental use: a preliminary study. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2006;26(6):607-12.
18. Tsurumachi T, Honda K. A new cone beam computerized tomography system for use in endodontic surgery. *Int Endod J* 2007;40(3):224-32.
19. Ziegler CM, Woertche R, Brief J, Hassfeld S. Clinical indications for digital volume tomography in oral and maxillofacial surgery. *Dentomaxillofac Radiol* 2002;31(2):126-30.
20. Scholz RP. The Radiology Decision. Seminars in Orthodontics, 2011;17(1):15-9.
21. Kapila S, Conley RS, Harrell WE, Jr. The current status of cone beam computed tomography imaging in orthodontics. *Dentomaxillofac Radiol* 2011;40(1):24-34.
22. Smith BR, Park JH, Cederberg RA. An evaluation of cone-beam computed tomography use in postgraduate orthodontic programs in the United States and Canada. *J Dent Educ* 2007;75(1):98-106.
23. Han UK, Vig KW, Weintraub JA, Vig PS, Kowalski CJ. Consistency of orthodontic treatment decisions relative to diagnostic records. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1991;100(3):212-19.
24. Bruks A, Enberg K, Nordqvist I, Hansson AS, Jansson L, Svenson B. Radiographic examinations as an aid to orthodontic diagnosis and treatment planning. *Swed Dent J* 1999;23(2-3):77-85.
25. Nijkamp PG, Habets LL, Aartman IH, Zentner A. The influence of cephalometrics on orthodontic treatment planning. *Eur J Orthod* 2008;30(6):630-35.
26. Devereux L, Moles D, Cunningham SJ, McKnight M. How important are lateral cephalometric radiographs in orthodontic treatment planning? *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011;139(2):e175-81.
27. Cha JY, Mah J, Sinclair P. Incidental findings in the maxillofacial area with 3-dimensional cone-beam imaging. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007;132(1):7-14.
28. Haney E, Gansky SA, Lee JS, Johnson E, Maki K, Miller AJ, 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):590-97.
29. Botticelli S VC, Cattaneo PM, Heidmann J, Melsen B. Two-versus three-dimensional imaging in subjects with unerupted maxillary canines. *Eur Orthod* 2010;Dec 3.(Epub ahead of print).
30. Katheria BC, Kau CH, Tate R, Chen JW, English J, Bouquet J. Effectiveness of impacted and supernumerary tooth diagnosis from traditional radiography versus cone beam computed tomography. *Pediatr Dent* 2010;32(4):304-9.
31. Alqerban A, Jacobs R, Fieuws S, Willems G. Comparison of two cone beam computed tomographic systems versus panoramic imaging for localization of impacted maxillary canines and detection of root resorption. *Eur J Orthod* 2011;33(1):93-102.
32. Alqerban A, Jacobs R, Souza PC, Willems G. In-vitro comparison of 2 cone-beam computed tomography systems and panoramic imaging for detecting simulated canine impaction-induced external root resorption in maxillary lateral incisors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009;136(6):764 e761-711; discussion 764-65.
33. Aboudara C, Nielsen I, Huang JC, Maki K, Miller AJ, Hatcher D. Comparison of airway space with conventional lateral headfilms and 3-dimensional reconstruction from cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009 Apr;135(4):468-79.
34. Hatcher DC. Cone Beam computed tomography: craniofacial and airway analysis. *Sleep Med Clin* 2010 Apr;5:59-70.
35. Lenza MG, Lenza MM, Dalstra M, Melsen B, Cattaneo PM. An analysis of different approaches to the assessment of upper airway morphology: a CBCT study. *Orthod Craniofac Res* 2010 May;13(2):96-105.
36. Kau CH, Richmond S, Palomo JM, Hans MG. Three-dimensional cone beam computerized tomography in orthodontics. *J Orthod*, 2005;32:282-93.
37. Lai RF, Zou H, Kong WD, Lin W. Applied anatomic site study of palatal anchorage implants using cone beam computed tomography. *Int J Oral Sci* 2010;2:98-104.
38. Gracco A, Lombardo L, Cozzani M, Siciliani G. Quantitative evaluation with KHBT of palatal bone thickness in growing patients. *Prog Orthod*, 2006;7(2):164-74.
39. Gracco A, Luca L, Cozzani M, Siciliani G. Assessment of palatal bone thickness in adults with cone beam computerised tomography. *Aust Orthod J* 2007;23(2):109-113.
40. Gracco A, Lombardo L, Cozzani M, Siciliani G. Quantitative cone-beam computed tomography evaluation of palatal bone thickness for orthodontic miniscrew placement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;134(3):361-69.
41. King KS, Lam EW, Faulkner MG, Heo G, Major PW. Predictive factors of vertical bone depth in the paramedian palate of adolescents. *Angle Orthod* 2006;76(5):745-51.
42. King KS, Lam EW, Faulkner MG, Heo G, Major PW. Vertical bone volume in the paramedian palate of adolescents: a computed tomography study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007;132(6):783-88.
43. 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;131(4 Suppl):S82-89.
44. Fayed MM, Pazera P, Katsaros C. Optimal sites for orthodontic mini-implant placement assessed by cone beam computed tomography. *Angle Orthod* 2010;80(5):939-51.
45. Miyazawa K, Kawaguchi M, Tabuchi M, Goto S. Accurate pre-surgical determination for self-drilling miniscrew implant placement using surgical guides and cone-beam computed tomography. *Eur J Orthod* 2010;32(6):735-40.
46. Jung BA, Wehrbein H, Wagner W, Kunkel M. Preoperative diagnostic for palatal implants: Is CT or KHBT necessary? *Clin Implant Dent Relat Res* 2010;14(3):400-5.
47. Mussig E, Wortche R, Lux CJ. Indications for digital volume tomography in orthodontics. *J Orofac Orthop* 2005;66(3):241-49.
48. Wortche R, Hassfeld S, Lux CJ, Mussig E, Hensley FW, Krempien R, et al. Clinical application of cone beam digital volume tomography in children with cleft lip and palate. *Dentomaxillofac Radiol* 2006;35(2):88-94.
49. Korbmacher H, Kahl-Nieke B, Schollchen M, Heiland M. Value of two cone-beam computed tomography systems from an orthodontic point of view. *J Orofac Orthop* 2007;68(4):278-89.
50. Oberoi S CR, Gill P, Hoffman WY, Vargervik K. Volumetric assesment of secondary alveolar bone grafting using cone beam computed tomography. *Cleft Palate Craniofac J* 2009;2009(46(5)):503-11.
51. Shirota T, Kurabayashi H, Ogura H, Seki K, Maki K, Shintani S. Analysis of bone volume using computer simulation system for secondary bone graft in alveolar cleft. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2010;39(9):904-8.
52. Caloss R, Atkins K, Stella JP. Three-dimensional imaging for virtual assessment and treatment simulation in orthognathic surgery. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am* 2007;19(3):287-309.

53. Edwards SP. Computer-assisted craniomaxillofacial surgery. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am* 2010;22(1):117-34.
54. Popat H, Richmond S, Drage NA. New developments in: three-dimensional planning for orthognathic surgery. *J Orthod* 2010;37(1):62-71.
55. Enciso R, Memon A, Mah J. Three-dimensional visualization of the craniofacial patient: volume segmentation, data integration and animation. *Orthod Craniofac Res* 2003;6 Suppl 1:66-71; discussion 179-82.
56. Cevidanes LH, Bailey LJ, Tucker GR, Jr., Styner MA, Mol A, Phillips CL, et al. Superimposition of 3D cone-beam CT models of orthognathic surgery patients. *Dentomaxillofac Radiol* 2005;34(6):369-75.
57. Boeddinghaus R, Whyte A. Current concepts in maxillofacial imaging. *Eur J Radiol* 2008;66(3):396-418.
58. Hoffman GR, Islam S. The difficult Le Fort I osteotomy and downfracture: a review with consideration given to an atypical maxillary morphology. *J Plast Reconstr Aesthet Surg* 2008;61(9):1029-33.
59. Metzger MC, Hohlweg-Majert B, Schwarz U, Teschner M, Hammer B, Schmelzeisen R. Manufacturing splints for orthognathic surgery using a three-dimensional printer. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008;105(2):e1-7.
60. Quereshy FA, Savell TA, Palomo JM. Applications of cone beam computed tomography in the practice of oral and maxillofacial surgery. *J Oral Maxillofac Surg* 2008;66(4):791-96.
61. Swennen GR, Mommaerts MY, Abeloos J, De Clercq C, Lamoral P, Neyt N, et al. A cone-beam CT based technique to augment the 3D virtual skull model with a detailed dental surface. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2009;38(1):48-57.
62. 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):152-57.
63. Hintze H, Wiese M, Wenzel A. Cone beam CT and conventional tomography for the detection of morphological temporomandibular joint changes. *Dentomaxillofac Radiol* 2007;36(4):192-97.
64. Marques AP, Perrella A, Arita ES, Pereira MF, Cavalcanti Mde G. Assessment of simulated mandibular condyle bone lesions by cone beam computed tomography. *Braz Oral Res* 2010;24(4):467-74.
65. Ikeda K, Kawamura A. Assessment of optimal condylar position with limited cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009;135(4):495-501.
66. Farronato G, Garagiola U, Carletti V, Cressoni P, Mercatali L, Farronato D. Change in condylar and mandibular morphology in juvenile idiopathic arthritis: Cone Beam volumetric imaging. *Minerva Stomatol* 2010;59(10):519-34.
67. Barghan S, Merrill R, Tetradis S. Cone beam computed tomography imaging in the evaluation of the temporomandibular joint. *J Calif Dent Assoc* 2010;38(1):33-9.
68. Alkhader M, Kuribayashi A, Ohbayashi N, Nakamura S, Kurabayashi T. Usefulness of cone beam computed tomography in temporomandibular joints with soft tissue pathology. *Dentomaxillofac Radiol* 2010;39(6):343-48.
69. Huntjens E, Kiss G, Wouters C, Carels C. Condylar asymmetry in children with juvenile idiopathic arthritis assessed by cone-beam computed tomography. *Eur J Orthod* 2008;30(6):545-51.
70. Lewis EL, Dolwick MF, Abramowicz S, Reeder SL. Contemporary imaging of the temporomandibular joint. *Dent Clin North Am* 2008;52(4):875-90.
71. Hussain AM, Packota G, Major PW, Flores-Mir C. Role of different imaging modalities in assessment of temporomandibular joint erosions and osteophytes: a systematic review. *Dentomaxillofac Radiol* 2008;37(2):63-71.
72. Honey OB, Scarfe WC, Hilgers MJ, Klueber K, Silveira AM, Haskell BS, et al. Accuracy of cone-beam computed tomography imaging of the temporomandibular joint: comparisons with panoramic radiology and linear tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007;132(4):429-38.
73. Alkhader M, Ohbayashi N, Tetsumura A, Nakamura S, Okochi K, Momin MA, et al. Diagnostic performance of magnetic resonance imaging for detecting osseous abnormalities of the temporomandibular joint and its correlation with cone beam computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol* 2010;39(5):270-76.
74. Petersson A. What you can and cannot see in TMJ imaging-an overview related to the RDC/TMD diagnostic system. *J Oral Rehabil* 2010;37(10):771-78.