

Promax artefakt azaltma algoritmasının titanyum ve zirkonyum implantların oluşturduğu artefaktlar üzerine etkisi

The effects of promax artefact reduction algorithm on artefacts induced by titanium and zirconium implants

Dr. Öğr. Üyesi Cansu Büyük

İstanbul Okan Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi,
Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi AD, İstanbul
Orcid ID: 0000-0001-8126-0928

Dr. Öğr. Üyesi Belde Arsan

İstanbul Okan Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi,
Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi AD, İstanbul
Orcid ID: 0000-0002-8655-6186

Prof. Dr. Tamer Lütfi Erdem

İstanbul Okan Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi,
Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi AD, İstanbul
Orcid ID: 0000-0002-9823-6796

Prof. Dr. Özgür Erdoğan

İstanbul Okan Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi,
Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi AD, İstanbul
Orcid ID: 0000-0003-1547-2513

Geliş tarihi: 27 Kasım 2019

Kabul tarihi: 9 Aralık 2019

doi: 10.5505/yeditepe.2020.85530

Yazışma adresi:

Cansu Büyük

Aydintepe Mahallesi, Prof. Dr. Necmettin Erbakan
Caddesi, No: 2 Tuzla/İstanbul

Tel: +905053914569

E-mail: cansubuyuk@yahoo.com,

cansu.buyuk@okan.edu.tr

ÖZET

Amaç: Artefaktlar görüntü kalitesini düşürürler. Literatürde titanyum (Ti) ve zirkonyum (Zr) implant artefaktları ile ilgili çalışma sayısı kısıtlıdır. Bu çalışmanın amacı, farklı çekim parametreleri ile ProMax Artefakt Azaltma Algoritması'nın (AAA) konik ışınli bilgisayarlı tomografi (KIBT) görüntülerinde Ti ve Zr implantların oluşturduğu artefaktlar üzerine olan etkisinin değerlendirilmesi ve karşılaştırılmasıdır.

Materyal ve Metod: Bir Zr ve bir Ti implant sığır kaburgasına yerleştirildi. Bu kemik ProMax 3D Mid KIBT cihazı ile tarandı. Görüntüler 70, 76, 80, 86 ve 90 kVp'de, 2 farklı voksel boyutunda (0.2 ve 0.4 mm) elde edildi. AAA kullanılarak ve kullanılmadan 20 çekim yapıldı. Elde edilen görüntüler ImageJ programına aktarıldı. Ortalama gri değeri (GV) ve standart sapma (SD) ile kontrast-gürültü oranı (CNR) hesaplandı. İstatistiksel analizlerde Pearson's korelasyon katsayısı, Student's t-test, ANOVA and multipl regresyon analizi testleri kullanıldı.

Bulgular: AAA her iki implant grubunda da SD'yi anlamlı derecede azalttı ($p<0.001$) ve bu azalma Zr implant için daha yüksekti. Algoritmanın aktivasyonu ile kVp ve Zr implanttaki SD arasında önemli bir negatif korelasyon gözlemlendi ($p<0.05$). Her iki implant grubunda da GV ve CNR değerleri anlamlı olarak yükseldi ve bu artış Zr grubunda daha yüksekti ($p<0.001$).

Sonuç: Zr, KIBT görüntülerini Ti'den daha fazla bozmaktadır. Promax cihazının AAA her iki implant grubunda da görüntü kalitesini iyileştirmektedir ve Zr implantlar üzerine etkisi daha yüksektir.

Anahtar kelimeler: Konik ışınli bilgisayarlı tomografi, artefakt, gürültü, zirkonyum, dental implant.

SUMMARY

Aim: Artefacts reduce image quality. There are a limited number of studies regarding the artefacts of titanium (Ti) and zirconium (Zr) implants. The aim of this study was to evaluate and compare the effects of different acquisition parameters and ProMax artefact reduction algorithm (ARA) on the artefacts caused by Ti and Zr implants in cone beam CT (CBCT) images.

Materials and Methods: One Zr and one Ti implant were inserted in a bovine rib. The bone was scanned with ProMax 3D Mid CBCT unit. Images were acquired using 70, 76, 80, 86 and 90 kVps at two different voxel sizes (0.2 and 0.4 mm). Twenty scans were obtained with and without using ARA. Acquired images were transferred to ImageJ program. Mean gray values (GV) and standard deviations (SD) were recorded and the contrast-noise ratio (CNR) was calculated. Statistical analysis was carried out with Pearson's correlation coefficient, Student's t-test, ANOVA and multiple regression analysis tests.

Results: ARA reduced the SDs in both implant groups significantly ($p<0.001$) and this reduction was higher

for the Zr implant. With the activation of the algorithm, significant negative correlation was observed between the kVp and SD of the Zr implant ($p<0.05$). The GVs and CNRs of both implant sides have improved significantly with the algorithm and the improvement was higher in Zr group ($p<0.001$).

Conclusion: Zr deteriorates the CBCT images more than Ti. The ARA of the ProMax unit enhances the image quality of both implants and has greater impact on Zr implants.

Keywords: Cone-beam computed tomography, artefacts, noise, zirconium, dental implant.

GİRİŞ

Konik ışınli bilgisayarlı tomografi (KIBT) 1990'lı yıllardan itibaren dental implantoloji başta olmak üzere diş hekimliğinde pek çok amaç ile iki boyutlu ve medikal BT görüntülemelerine alternatif olarak yaygın şekilde kullanılmaya başlanmıştır.^{1,2} Günümüzde kullanılan KIBT cihazları farklı kolimasyon ve görüntü kazanım parametreleri sunmaktadır. Sedentexct projesinde belirlenen optimizasyon prosedürleri ile uyumlu olarak, yeterli bir görüntü kalitesi seviyesi en düşük dozda elde edilmelidir.³ Artefaktların rekonstrükte edilecek veriyi bozduğu ve görüntü kalitesini düşürdüğü iyi bilinmektedir. Artefaktlar matematiksel modelleme ile gerçek fiziksel görüntüleme evresi arasındaki uyumsuzluktan kaynaklanır.⁴ Görüntüleme alanında (FOV) bulunan yüksek dansiteli yapılar çevre dokuları maskeleyerek, ilgilenilen alanın (ROI) tespitini güçleştirerek ve kontrastı azaltarak artefakt oluşmasına ve böylelikle görüntünün tanısallık kalitesinin düşmesine neden olur.⁵ Yüksek dansiteli yapıların en sık neden olduğu artefaktlar ışın sertleşmesi (BH), yok olma artefaktları ve üstel kenar gradyan etkisidir.⁶ Ayrıca saçılma ve gürültü de yüksek dansiteli bir objenin varlığında kaydedilen verinin bozulmasına katkıda bulunan etkenlerdendir.⁷⁻⁹

KIBT görüntülerinde artefaktı azaltmak için iteratif rekonstrüksiyon tekniği ya da projeksiyon interpolasyon metodu gibi farklı yaklaşımlar önerilmiştir.¹⁰ Promax (Planmeca, Helsinki, Finland) artefakt redüksiyon algoritması (ARA) belli bir eşik değerden yüksek dansitede olan yapıların düzeltilmesi temeline dayanmaktadır.⁵

Estetik avantajları ve implant yüzeyinde daha az plak birikimine yol açmaları nedeniyle zirkonyum (Zr) implantlar titanyum (Ti) implantlara alternatif olarak ortaya çıkmışlardır. Biyouyumluluk ve osseointegrasyon açısından ümit verici sonuçlar elde edilmesi yakın gelecekte Zr implant kullanımının yaygınlaşacağını düşündürmektedir.¹¹ Her iki implant tipi de artefakt oluşturarak KIBT görüntüsünün tanısallık kalitesini azaltmaktadır. Öte yandan literatürde Zr implantların neden olduğu artefaktlara ve Zr ile Ti implant artefaktlarının karşılaştırılmasına dair kısıtlı sayıda çalışma bulunmaktadır.^{7, 12, 13}

Bu çalışmanın amacı, farklı görüntü elde etme para-

metreleri ve ARA'nın, Ti ve Zr implantların Promax KIBT görüntülerinde neden olduğu artefaktlar üzerine etkilerinin değerlendirilmesi ve karşılaştırılmasıdır.

GEREÇ VE YÖNTEM

Bir Zr (4x10 mm tek parça, WhiteSKY, Bredent Medical, Senden, Almanya) ve bir Ti (4x10 mm abutment ile birlikte; NobelSpeedy Replace, Nobel Biocare, Göteborg, İsveç) implant sığır kaburgasına yerleştirildi. İmplantların bulunduğu kemik baz plak muma gömülerek hem çekimler sırasında düzeneğin stabil kalması, hem de yumuşak doku atenüasyonunun taklit edilmesi amaçlandı. Düzenek ProMax 3D Mid (Planmeca, Helsinki, Finland) KIBT cihazı ile tarandı.

Görüntüler 5 farklı kilovoltaj (kVp) ayarında (70, 76, 80, 86 ve 90) ve 2 ayrı voksel boyutunda (200 and 400 μ m) elde edildi. ARA kullanılmadan ve kullanılarak toplam 20 kez tarama yapıldı. FOV (500x500x155 mm) ve mA (8 mA) ayarları tüm taramalarda sabit tutuldu.

Elde edilen görüntüler ImageJ programına (version 1.51n; National Institutes of Health, USA) aktarıldı ve 8-bitlik gri skalaya çevrildi. İki tanesi implantların komşuluğunda, bir tanesi baz plak mum üzerinde belirlenen kontrol sahası olmak üzere 3 ROI seçildi. Bu seçimlerde ROI boyutları sabit tutuldu ve ölçümlerin doğruluğu için bu ROI'lerin koordinatları kaydedildi. Ardından her taramadan elde edilen görüntülerde ROI'ler kaydedilen koordinatlara göre seçilerek standardizasyon oluşturuldu.

Seçilen her ROI için ortalama gri değeri (GVort.) ve standart deviasyon (SD) değeri ölçüldü. Ti ve Zr implant alanlarındaki GVort. ve SD değerleri kullanılarak Kontrast-Gürültü Oranları (CNR) hesaplandı. (Denklem 1, GVimplant: İmplant bölgesindeki ortalama gri değeri; GVkontrol: Kontrol sahasındaki ortalama gri değeri).¹⁴

$$\text{Denklem 1: } CNR = \frac{|GV_{\text{implant}} - GV_{\text{kontrol}}|}{\sqrt{SD^2_{\text{implant}} + SD^2_{\text{kontrol}}}}$$

Elde edilen veriler SPSS.20 (Statistical Package for Social Sciences) programına aktarıldı. Değişkenler arasındaki korelasyon Pearson korelasyon katsayısı, Student' t testi ve one-way varyans analizi (ANOVA) testleri ile incelendi. Görüntü elde etme parametrelerinin CNR üzerine etkisi multipl regresyon analizi ile ölçüldü. $p<0.05$ istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.

BULGULAR

ARA aktive edilmeden yapılan taramalardaki Ti, Zr ve kontrol gruplarının ortalama GV, SD ve CNR değerleri Tablo 1'de verilmiştir

Ölçüm yapılan kesitlere ait 20 protokol Resim 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Titanyum, zirkonyum ve kontrol gruplarında ortalama GV, SD ve CNR değerleri.

	-/ARA			+/ARA		
	GV ± SH	SD ± SH	CNR ± SH	GV ± SH	SD ± SH	CNR ± SH
Titanyum	95.56±4.85	24.6±1.7	1.41±0.07	105.43±8.23	20.73±1.33	2.17±0.19
Zirkonyum	87.37±5.84	24.01±1.28	1.06±0.13	104.50±6.76	18.56±1.64	2.37±1.15
Kontrol	60.14±3.04	3.69±1.28		59.63±2.86	3.93±0.77	

(-/ARA: Artefakt Redüksiyon Algoritması aktive edilmeden yapılan tarama. +/ARA: Artefakt Redüksiyon Algoritması aktive edilerek yapılan tarama, SH: Standart Hata)



Resim 1. Ölçüm yapılan kesitlere ait 20 protokol.

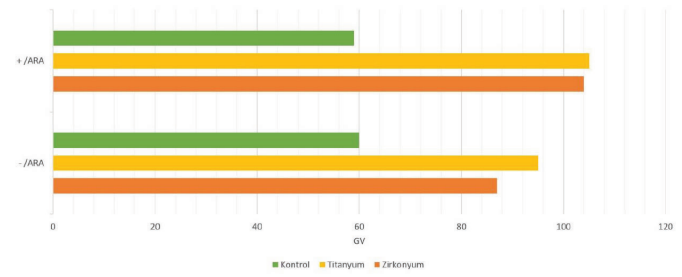
Standart Deviasyon

ARA'dan bağımsız olarak her iki implant grubunun SD değerleri kontrol grubundan daha yüksektir ($p < 0.001$). ARA aktive edilmediğinde ve diğer tüm parametreler bir arada değerlendirildiğinde Ti ve Zr implantların SD değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p = 0.131$). Algoritmanın kullanılması her iki implant grubunun SD değerlerini anlamlı derecede azaltmıştır ($p_{Ti} = 0.002$, $p_{Zr} = 0.000$). Algoritmanın SD değerlerinde yaptığı azalma Zr grubunda Ti grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı ölçüde daha fazladır ($p < 0.05$). ARA kullanılmadığında SD ve kVp değerleri arasında negatif yönde bir lineer korelasyon görülmüştür. Algoritmanın aktivasyonu ile Zr grubunda SD ve kVp değerleri arasındaki negatif korelasyon istatistiksel olarak önemli derecede etkilenirken ($p < 0.05$), bu aktivasyon Ti grubundaki SD-kVp ilişkisini istatistiksel olarak anlamlı derecede

etkilememiştir. Algoritma kullanılmadığında yapılan taramalarda voksel boyutu arttıkça Ti implantların çevresindeki SD değerleri artmış, Zr implantların çevresindeki SD değerlerinde ise anlamlı bir fark gözlenmemiştir. Algoritmanın aktivasyonu Zr grubundaki SD ile voksel boyutu arasında lineer bir korelasyona yol açarken; Ti grubunda bu aktivasyon ile iki değişken arasında anlamlı bir korelasyon gözlenmemiştir.

Gri Değeri

ARA uygulanmasından bağımsız olarak her iki implant grubunun çevresindeki GVort'ler kontrol grubundan anlamlı derecede yüksektir ($p < 0.001$). Kontrol grubunun GVort'si ARA ile değişmemiş, yalnızca ihmal edilebilir bir düşüş gözlenmiştir. Ti grubunun GVort'si Zr grubundan istatistiksel olarak anlamlı ölçüde yüksektir. Algoritma kullanıldığında her iki implant grubunda da gri değerleri artmıştır ($p_{Ti} = 0.033$, $p_{Zr} = 0.012$). Zr grubunda ARA, Ti grubuna göre gri değeri daha fazla arttırmıştır ($p < 0.001$, Grafik 1)

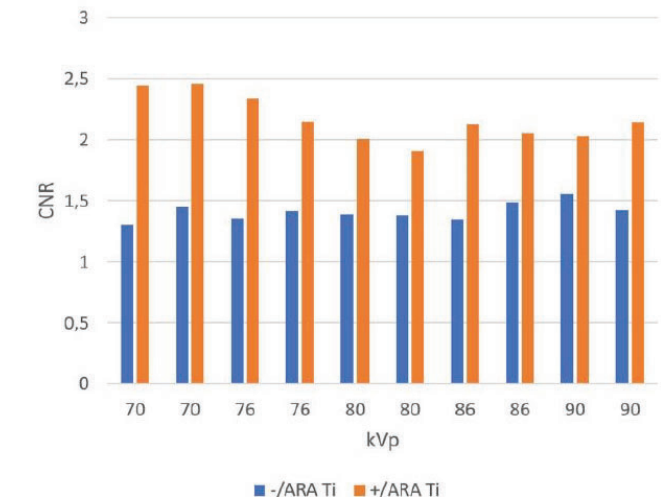


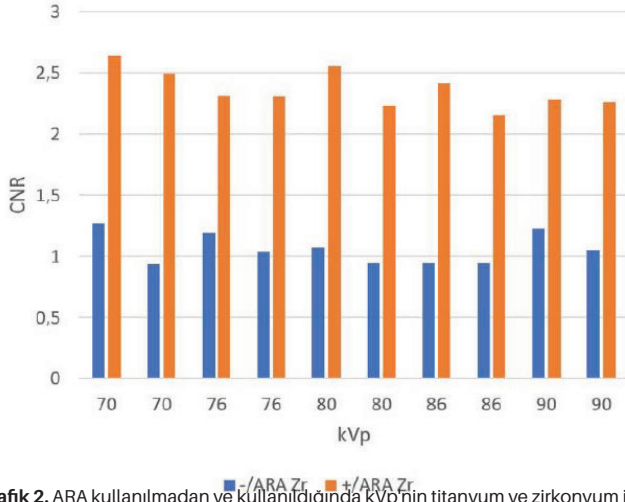
Grafik 1. Titanyum ve zirkonyum implantlar ile kontrol grubunda ARA aktivasyonunun ortalama gri değer üzerine etkisi.

Ayrıca ARA'dan bağımsız olarak tüm protokollerde her iki implant tipinde gri değeri ile voksel boyutu ve kVp arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki gözlenmemiştir.

Kontrast- Gürültü Oranı

Ti ve Zr implantların çevresinden elde edilen CNR değerleri ARA aktif değilken anlamlı derecede farklıdır ($p < 0.001$). Algoritmanın aktivasyonu ile her iki CNR değerini de belirgin şekilde arttırmıştır ($p_{Ti} = 0.026$, $p_{Zr} = 0.009$) ve bu artış Zr grubunda daha yüksektir ($p < 0.001$, Grafik2).





Grafik 2. ARA kullanılmadan ve kullanıldığında kVp'nin titanyum ve zirkonyum implantların çevresindeki kontrast-gürültü oranları üzerine etkisi.

ARA kullanılmadığında CNR ve kVp arasında her iki implant tipinde de anlamlı fark gözlenmemiştir. Algoritmanın aktivasyonu ile CNRTi ve kVp arasında zayıf bir korelasyon görülürken CNRZr ve kVp ilişkisi etkilenmemiştir ($p=0.058$). ARA kullanılmadan voksel boyutu ve CNR ilişkisi değerlendirildiğinde, Zr grubunda zayıf ancak anlamlı bir istatistiksel ilişki ($p=0.037$) gözlenirken Ti grubunda anlamlı bir ilişki izlenmemiştir. Algoritmanın aktivasyonu bu sonuçları etkilememiştir.

TARTIŞMA

Görüntü kalitesini iyileştirmek amacıyla yapılan çalışmalarda görüntü kazanım parametrelerini değiştirmek ya da artefakt redüksiyon algoritması kullanmak gibi metodlar ile umut verici sonuçlar elde edilmiştir.^{8,14,15} Bu çalışmada Ti ve Zr implantların varlığında ARA uygulanmasının etkileri, iki farklı voksel boyutunda ve beş farklı kVp değerinde CNR, GV, ve SD değerleri ölçülerek araştırılmıştır. Değişimleri gözlemlenmek için FOV ve mA değerleri sabit tutulmuştur.

Güncel bir in vitro çalışmada Smeets ve ark.¹², Ti ve Zr implantların KIBT'de benzer artefakt oluşturma biçimleri olduğunu rapor etmişlerdir. Bunun aksine Sancho-Puchades ve ark.¹³ ZrO₂ (Zirkonyum dioksit) implantların KIBT'de en belirgin artefaktları oluşturduğunu, ardından TiZr (Titanyum- Zirkonyum) ve Ti implantların geldiğini, farklı atom numaralarının (Z_{Ti} : 22, Z_{Zr} : 40 Z_{O} : 8) bu değişikliğe yol açabileceğini belirtmişlerdir. Yüksek SD değerlerinin gürültü ve artefakt yoğunluğu artışı ile ilişkili olduğu bilinmektedir.^{7,8,16} Çalışmamızda SD değerleri implant gruplarında kontrol grubuna göre daha yüksek bulunmuştur. Bu durum ARA uygulanmasından bağımsız olarak ışın sertleşmesi ve saçılma ile ilişkili olabilir. Algoritma kullanılmadığında implantların oluşturduğu SD değerleri arasında anlamlı farklılık gözlenmemiştir. Bechara ve ark.¹⁶, metal artefaktı azaltma algoritmasının metalik bir obje varlığında SD'yi azalttığını ancak metalik yapının türüne ya da atom numarasına özgü çalışmadığını belirtmişlerdir. Sonuçlarımıza göre ARA her iki implant grubun-

da da SD'ü düşürmüştür; ancak belirtilen çalışmadan farklı olarak bu azalma Zr grubunda daha fazla olmuştur. Bechara ve ark.¹⁶, metal mevcudiyetinde ARA'nın tüm kombinasyonlarda SD ile kVp arasında anlamlı bir negatif lineer trend gösterdiğini belirtmişlerdir. Bu araştırma ile uyumlu olarak, çalışmamızın sonuçlarında da kVp arttıkça SD değerlerinin düştüğü görülmüştür. ARA'nın aktivasyonu Zr grubundaki negatif lineer trendi arttırırken Ti grubu etkilenmemiştir. Bu sonuçlar klinik yönden değerlendirildiğinde Zr implant bulunan hastalarda çekim sonrası bir teknik olan algoritmanın kullanılması ile SD değerlerinin düşürülmesi; böylelikle kVp ve hasta dozu arttırılmadan optimum bir görüntü elde edilmesi mümkün olabilir.

X-ışını atenüasyonu bir objenin farklı dalga boylarını eşit olarak absorbe ettiği; ancak yüksek dansiteli objelerin düşük enerjili fotonları da absorbe ettiği varsayımı ile hesaplanmaktadır. Böylece x-ışını dedektöre ulaşmadan önce BH gerçekleşir ve foton sayısından elde edilen sayısal veriler ile oluşturulan gri değerleri azalmış olur.⁴ Demirtürk Kocasarac ve ark.¹⁷ çalışması ile uyumlu olarak bu çalışmada da algoritma kullanılmadan yapılan rekonstrüksiyonlarda Zr grubunun GVort verileri Ti grubundan belirgin derecede düşük olarak görülmüştür. Ti'den daha yüksek bir atom numarası olan Zr'nin daha fazla x-ışını absorbe etmesiyle çevre dokularda oluşan BH ve yok olma artefaktları daha fazla bir gri değer kaybına yol açmıştır. Resim 1'de açıkça görüldüğü şekilde Zr implantın çevresindeki sinyal intensitesi zayıfladıkça koyu alanlar artmıştır. Algoritmanın kullanılması her iki implant grubunda GVort'nin belirgin şekilde artarak yakın değerlere ulaşmasına neden olmuştur. Bu sonuç algoritmanın gerçek gri değerden, dolayısıyla tanısal doğruluktan ödün vererek görüntü kalitesini etkilediğine işaret etmektedir. CNR değerleri incelendiğinde çalışma sonuçlarında Zr implantın Ti'a göre görüntüyü daha fazla bozduğu görülmüştür. Sonuçlar ayrıca ARA'nın her iki implant grubunda da CNR değerlerini yükselttiğini göstermiştir. Zr implant çevresinde algoritmanın aktivasyonu ile CNR değerinde ortaya çıkan artış Ti'ye göre daha yüksektir. ARA'nın aktivasyonu ile CNR değerlerinin, böylelikle görüntü kalitesinin yükselmesi Bechara ve ark.^{14,16}'nın yaptığı daha önceki çalışmalarla uyumludur.

Tek KIBT ünitesinin kullanılmış olması bu çalışmayı sınırlandıran bir etmendir. Günümüzde farklı markalara ait pek çok KIBT cihazı mevcuttur ve birçoğu farklı artefakt redüksiyon prensibi ile çalışmaktadır.¹⁸ Bu nedenle karşılaştırmalarda elde edilen zayıf korelasyonlar değerlendirilirken değişik cihazlar ile yapılacak çalışmalarda farklı sonuçlar elde edilebileceği akılda tutulmalıdır.

SONUÇ

SD, GV ve CNR verileri bir arada değerlendirildiğinde algoritmanın görüntü kalitesini geliştirdiği ve Zr implantlar

üzerinde daha fazla etki gösterdiği görülmüştür. Bu sonuç Promax algoritmasının belirli bir eşik değerin üzerinde düzeltme yapma prensibi göz önüne alındığında atom numarası yüksek olan Zr'da daha fazla etki görülmesini açıklamaktadır. Öte yandan özellikle periimplantitis ya da travma gibi özellikli vakalar değerlendirilirken ARA'nın gerçek gri değeri etkilediği akılda tutulmalıdır. Sonuç olarak artefakt redüksiyon algoritmalarının güvenilirliği halen net değildir. Bu algoritmalar kullanılarak farklı KIBT cihazları ile Zr ve Ti implant artefaktları üzerine yapılacak çalışmalar literatüre katkı sunacaktır.

KAYNAKLAR

1. Mozzo P, Procacci C, Tacconi A, Tinazzi Martini P, Bergamo Andreis IA. A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. *Eur Radiol* 1998;8(9):1558-1564.
2. Arai Y, Tammisalo E, Iwai K, Hashimoto K and Shinoda K. Development of a compact computed tomographic apparatus for dental use. *Dentomaxillofac Radiol* 1999;28(4):245-248.
3. European Commission, Radiation Protection N° 172: Cone Beam CT for Dental and Maxillofacial Radiology Evidence-Based Guidelines. Luxemburg: European Commission; 2012. 36 p.
4. Schulze R, Heil U, Grob D, Bruellmann DD, Dranischnikow E et. al. Artefacts in CBCT: a review. *Dentomaxillofac Radiol* 2011;40(5):265-273.
5. Bechara B, McMahan AC, Moore WS, Noujeim M, Teixeira FB et. al. Cone beam CT scans with and without artefact reduction in root fracture detection of endodontically treated teeth. *Dentomaxillofac Radiol* 2013;42(5):20120245.
6. Kuusisto N, Vallittu PK, Lassila LVJ, Huumonen S. Evaluation of intensity of artefacts in CBCT by radio-opacity of composite simulation models of implants in vitro. *Dentomaxillofac Radiol* 2015;44(2):20140157.
7. Vasconcelos TV, Bechara BB, McMahan CA, de Freitas DQ, Noujeim M. Evaluation of artifacts generated by zirconium implants in cone-beam computed tomography images. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 2017;123(2):265-272.
8. Pauwels R, Stamatakis H, Bosmans H, Bogaerts R, Jacobs R et. al. Quantification of metal artifacts on cone beam computed tomography images. *Clin Oral Implants Res.* 2013; 24(A100): 94-99.
9. Pauwels R, Araki K, Siewerdsen JH, Thongvigitmanee SS. Technical aspects of dental CBCT: state of the art. *Dentomaxillofac Radiol* 2015;44(1):20140224.
10. Mahnken AH, Raupach R, Wildberger JE, Jung B, Heussen N et. al. A new algorithm for metal artifact reduction in computed tomography: in vitro and in vivo evaluation after total hip replacement. *Invest Radiol* 2003;38(12):769-775.

11. Möller B, Terheyden H, Açıl Y, Purcz NM, Hertrampf K et. al. A comparison of biocompatibility and osseointegration of ceramic and titanium implants: an in vivo and in vitro study. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2012;41(5):638-645.
12. Smeets R, Schöllchen M, Gauer T, Aarabi G, Assaf AT et. al. Artefacts in multimodal imaging of titanium, zirconium and binary titanium-zirconium alloy dental implants: an in vitro study. *Dentomaxillofac Radiol* 2017;46(2):20160267.
13. Sancho-Puchades M, Hammerle CH, Benic GI. In vitro assessment of artifacts induced by titanium, titanium-zirconium and zirconium dioxide implants in cone-beam computed tomography. *Clin Oral Implants Res* 2015;26(10):1222-1228.
14. Bechara B, Moore WS, McMahan CA, Noujeim M. Metal artefact reduction with cone beam CT: an in vitro study. *Dentomaxillofac Radiol* 2012;41(3):248-253.
15. Bechara B, McMahan CA, Moore WS, Noujeim M, Geha H et. al. Contrast-to-noise ratio difference in small field of view cone beam computed tomography machines. *J Oral Sci* 2012;54(3):227-232.
16. Bechara B, McMahan CA, Geha H, Noujeim M. Evaluation of a cone beam CT artefact reduction algorithm. *Dentomaxillofac Radiol* 2012;41(5):422-428.
17. Demirturk Kocasarac H, Ustaoglu G, Bayrak S, Katkar R, Geha H et. al. Evaluation of artifacts generated by titanium, zirconium, and titanium-zirconium alloy dental implants on MRI, CT, and CBCT images: A phantom study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 2019;127:535-544.
18. Candemil AP, Salmon B, Freitas DQ, Bovi Ambrosano GM, Haiter-Neto F et. al. Are metal artefact reduction algorithms effective to correct cone beam CT artefacts arising from the exomass? *Dentomaxillofac Radiol* 2019;48,20180290.