



Kök Kanallarının Dezenfeksiyonunda Kullanılan Antibakteriyel Etkili Nanopartiküller

Antibacterial Nanoparticles Used in Disinfection of Root Canal

Güzin Tülü¹, Bulem Üreyen Kaya¹

¹Süleyman Demirel Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı, Isparta, Türkiye.

Özet

Sağlıklı bir dişte pulpa-dentin kompleksi mine ve sement ile örtülü olduğundan oral kavitedeki mikroorganizmalardan izole halde ve sterildir. Mine ve sementin bütünlüğünü kaybetmesi (örn: çürük, travma kaynaklı çatlak ve kırıklar, restoratif prosedürler, diş yüzeyi temizliği ve kök yüzeyi düzleştirilmesi, atrizyon, abrazyon vb.) ya da doğuştan yokluğu (sement yüzeyinin servikalde boşluklar içermesi vb.) halinde pulpa-dentin kompleksi oral kavitedeki mikrobiyal floraya açık hale gelir. Enfekte olmuş kök kanalı, birçok bakteri türünün bir arada bulunduğu çok türlü bir biyofilm barındırır. Kök kanal tedavisinin başarısızlıkla sonuçlanmasının en önemli nedenlerinden biri, kök kanal sistemindeki biyofilmin tamamen elimine edilememesidir. Mikroorganizmaların kök kanallarından uzaklaştırılmasında uzun yıllardır farklı ajanlar değişik konsantrasyonlarda kullanılmaktadır. Fakat günümüzde kullanılan yöntemler ile hala enfekte kök kanalını tamamen dezenfekte edebilmek oldukça güçtür. Son yıllarda nanoteknoloji alanındaki gelişmeler endodonti alanına da yansımış, nano boyuttaki materyallerin kazandığı üstün özellikler sayesinde farklı alanlarda nanopartikül kullanımı araştırmaları hız kazanmıştır. Materyaller nanoboyutlara indirildiğinde kök kanalının kompleks anatomik bölgelerine ulaşması ve bakteri hücrelerine penetre olması kolaylaşmakta, daha etkin dezenfeksiyon sağlanmaktadır. Bu amaçla gümüş nanopartikülleri, kitosan nanopartikülleri, biyoaktif cam nanopartikülleri ve fonksiyonize antimikrobiyal nanopartiküller gibi materyaller ile en uygun partikül büyüklüğü, konsantrasyon ve uygulama şekli ile ilgili araştırmalar yapılmaktadır. Bu derlemenin amacı kök kanal dezenfeksiyonunda kullanılan nanopartikülleri ve çalışma prensiplerini incelemektir.

Anahtar kelimeler: Nanopartiküller, Dezenfeksiyon, Kök Kanalı.

Giriş

Kök kanal tedavisinde başarısızlığın temel nedenlerinden biri şekillendirme ve irrigasyon ile ulaşılamayan kompleks kök kanal anatomileri ve bu bölgelerde çoğalmaya devam eden mikroorganizmalardır. Ultra küçük boyut, geniş yüzey alanı, artmış kimyasal aktivite gibi benzersiz fizikokimyasal özelliklere sahip olan nanopartiküllerin dental enfeksiyonların tedavisinde kullanımı umut vericidir. Irrigasyon solusyonu ya da kanal medikamenti olarak ya da kanal patları ve restoratif

Abstract

In a healthy tooth, the pulp-dentin complex is covered with enamel and cementum which provides isolation from microorganisms in the oral cavity and sterilization. Pulp dentin complex is exposed to microbial flora in oral cavity in case of enamel and cement loss (eg. caries, cracks and fractures due to trauma, restorative procedures, tooth surface cleaning and root surface smoothing, attrition, abrasion, etc.) or congenital absence (cement surface containing cavities in the cervix, etc.). The infected root canal contains a multispecies biofilm, in which many species of bacteria are combined. One of the most important reasons for the failure of root canal treatment is the inability to completely eliminate the biofilm in the root canal system. Different agents have been used in different concentrations for many years to remove microorganisms from root canals. However, it is still difficult to completely disinfect the infected root canal with the methods used today. In recent years, developments in nanotechnology have been reflected in the field of endodontics; in order to benefit from the superior properties of nanoscale materials and the use of nanoparticles in different fields has accelerated. When the materials become nanoscale, it is easier to reach the complex anatomical regions of the root canal and penetrate the bacterial cell wall so that more effective disinfection is provided. Materials such as silver nanoparticles, chitosan nanoparticles, bioactive glass nanoparticles and functionalized antimicrobial nanoparticles are investigated for optimal particle size, concentration and proper application. The aim of this review is to investigate the nanoparticles used in root canal disinfection and their mechanism of action.

Keywords: Nanoparticles, Disinfection, Root Canal.

materyallere eklenerek antibakteriyel etkinliğin artırılması hedeflenmektedir (1).

Gümüş Nanopartikülleri (AgNP)

Gümüş, elementlerin periyodik tablosunda simgesi Ag (Ag sembolü Latince argentum kelimesinden gelir) olan, beyaz, parlak, değerli bir metalik elementtir. Atom numarası 47, atom ağırlığı 107,87 gramdır. Erime noktası 961,9 °C, kaynama noktası 1950 °C ve özgül ağırlığı da 10,5 g/cm³tür.

Çoğu bileşiklerinde +1 değerlidir (2). +1 değerlikli iyonize gümüş sahip olduğu antimikrobiyal özelliği sayesinde 200 yıldan uzun süredir özellikle yanık yaralarının bakımında, protezlerde ve kataterlerde kullanılmaktadır. Metalik halde inert iken, yaradaki nem ile reaksiyona geçip iyonize forma dönüşmektedir. Gümüş iyonları ya da gümüş bileşikleri içeren jeller ve yara bakımı ürünlerinin popüleritesi son yıllarda artmıştır (3). Gümüş; güçlü bir antimikrobiyal olmasının yanı sıra, düşük toksisite ve insan hücreleriyle iyi biyolojik uyumluluk, uzun süreli antibakteriyel aktivite, sürekli iyon salınımı ve azalmış bakteriyel direnç gibi birçok avantaja sahiptir. Nanoteknolojide meydana gelen gelişmeler sonrasında sentezlenen gümüş nanopartikülleri sahip oldukları geniş yüzey alanı nedeniyle artmış reaktivite ve artmış antibakteriyel özelliklere sahiptir. Özellikle bakteri hücre membranına daha kolay nüfuz olabilme yeteneği nedeniyle biyofilmde bulunan dirençli bakterilere karşı bile antibakteriyel etki gösterebilir (4). Morones ve ark. (5) çalışmalarında geniş reaktif yüzeylere sahip farklı dağılım ve morfolojilerde gümüş nanopartikülleri kullanmışlar ve bakterilere olan etkilerini bildirmişlerdir. Gram negatif bakterilere karşı; 1-10 nm aralığında olan nanopartiküllerin hücre zarının yüzeyine tutunup, geçirgenlik ve solunum gibi işlevleri büyük ölçüde bozduğunu, bakteri içine nüfuz edip DNA gibi kükürt ve fosfor içeren bileşiklerle etkileşime girerek hasara neden olabildiğini bildirmişlerdir.

AgNP içeren materyallerin hazırlanmasında en önemli aşamalardan birisi karakterizasyonun sağlanmasıdır. Birçok çalışma materyaldeki Ag dağılımını, transmisyon elektron mikroskobu (TEM) ile analiz etmiştir. Bu teknik, AgNP'lerin test edilen materyale nasıl yayıldığını ve partikül boyutunu görselleştirmeyi sağlar (6). Cheng ve ark. (7) 3 nm'lik AgNP partiküllerinin net şekilde gözlemlendiğini ve polimer matrisi boyunca iyi dağıldığını bildirmişlerdir. Bu sonuçlar, 2 ila 5 nm arasında değişen büyüklükte AgNP ile yapılmış sonraki başka bir çalışmada doğrulanmıştır. Bu çok küçük boyutun, AgNP nin dentin tübülleri içinde rezidüel kalmış olabilecek bakterilere penetrasyonuna izin verdiği düşünülmektedir. AgNP lerinin materyal içinde iyi dağılırarak az sayıda agregat oluşturduğu bildirilmiştir (7).

Diş hekimliğinde uzun yıllardır çeşitli antibakteriyel ajanlar kullanılmaktadır. Nanoteknolojinin gelişimi ile birlikte bu antibakteriyellerin etkisinin artırılarak toksisitesinin azaltılması hedeflenmektedir. Dental antibakteriyel bazlı yapılan çalışmalarda da en çok kullanılan nanopartiküllerden biri gümüş nanopartikülü olmuştur (8). Örneğin gümüş nitrat antibakteriyel özelliği nedeniyle çürük tedavisinde kullanılmıştır. S. mutans üzerine altın, gümüş ve çinkooksit nanopartiküllerinin etkisini inceleyen çalışmada gümüş nanopartiküllerin düşük konsantrasyonda ve düşük toksisite ile antimikrobiyal etki oluşturduğu bildirilmiştir (9). Kompozit ve restorasyon sınırlarında biyofilm birikimini önlemek veya azaltmak için, özellikle AgNP'lerin kompozit reçinelere ve yapıştırıcı sistemlere katılmasıyla antimikrobiyal restoratif materyaller geliştirilmiştir (6). Protez stomatitinin engellenmesi amacıyla polimetilmetakrilat içine AgNP eklenecek şekilde özellikle Candida ya yönelik antibakteriyel

etkinlik araştırmaları yapılmaktadır (10). İmplant yüzeyinde biyofilm oluşumunu önlemek için antibakteriyel kaplamalar geliştirilmiştir. Ancak, çoğu uzun süreli zayıf antibakteriyel etki gösterir. Bu materyallerin uzun süreli kullanımından sonra dirençli suşların oluşma olasılığı vardır. Bu nedenle, AgNP'lerin implant yüzeyine dahil edilmesi önerilmiştir. Ag salınımı kontrol ederek uzun vadeli antibakteriyel özelliklere sahip kaplamalar üretmek amaçlanmıştır (11, 12).

Endodonti alanında AgNP kullanımı her geçen gün yapılan yeni çalışmalarla araştırılmaktadır. Özellikle kök kanallarının dezenfeksiyonunu sağlamak için AgNP dispersiyonlarının ya da jelinin antibakteriyel etkinlik çalışmaları bildirilmektedir. Sonuçlar umut verici olmakla birlikte, yeni araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır. E.faecalis'in 4 hafta süre ile inkübe edilmesi ile oluşturulan biyofilmin uzaklaştırılmasını diyet lazer; ortalama 30 nm 100 ppm AgNP süspansiyonu; fotodinamik tedavi ile birlikte diyet lazer; fotodinamik tedavi ile birlikte diyet lazer ve AgNP; ve %2,5 NaOCl kültür yöntemi ile karşılaştırmışlardır. Fotodinamik tedavi ile birlikte diyet lazer ve AgNP nin birlikte uygulandığı örneklerde en iyi bakteriyel eliminasyon sağlanmasına karşı yöntemler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır (13). Lotfi ve ark. (14) E.faecalis biyofilmine AgNP, %2 CHX ve %5,25 NaOCl nin antibakteriyel etkilerini karşılaştırmışlardır. AgNP ile benzer antibakteriyel etkiyi gösterebilmesi için NaOCl nin 70 kat daha yoğun olması gerektiğini göstermişlerdir. Çalışmanın sonuçları, AgNP nin çok daha düşük konsantrasyonlarda bile %5,25 NaOCl ye benzer antibakteriyel etkiye sahip olduğuna dikkat çekmektedir. Rodrigues ve ark. (15) sığır dentin bloklarında 21 gün inkübasyon ile oluşturdukları E.faecalis biyofilmine 94 ppm AgNP solüsyonu, %2,5 NaOCl ve %2 CHX nin antibakteriyel etkisini 5,15 ve 30. dk uygulama süresi sonunda KLTM ile incelemişlerdir. AgNP solüsyonunun daha az bakteriyi uzaklaştırdığını ancak CHX ile kıyaslandığında biyofilmi daha iyi bozduğunu bildirmişlerdir. NaOCl en iyi antibakteriyel etkiyi gösteren ve biyofilmi en iyi bozan irrigasyon solüsyonu olmuştur. Rutin endodontik prosedürlerde kullanılmak üzere AgNP nin "irrigasyon solüsyonu olarak" etkili bir antibakteriyel ajan olmadığı gösterilmiştir.

Kök kanallarının doldurulması esnasında kullanılan konvansiyonel güta perkayı AgNP ile kaplayarak antibakteriyel özelliğin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Oluşturulan bu yeni materyel üzerinde belirgin olarak daha az Enterococcus faecalis, Staphylococcus aureus, Candida albicans, Escherichia coli saptanmıştır. Bunun yanında, Shantiaee ve ark (16), nanosilver kaplı gutta-perka ve normal gutta-perka'nın fare fibroblastları üzerindeki sitotoksitesini karşılaştırarak, bu yeni materyalin biyoyuumluluğunu test etmişlerdir. Bu çalışmada, 24 saat sonra, nanosilver kaplı gutta-perka, normal gutta-perkaya benzer sitotoksitesite göstermiştir. 1 hafta sonra, test edilen materyaller arasında en düşük sitotoksitesite seviyesine ulaşmıştır.

Çalışma Prensibi

Bakterilerin hayati işlevlerini sürdürmelerinde hücre zarı

önemli görevlere sahiptir. Gümüş nanopartiküllerinin hücre zarındaki respiratuvar zincir proteinleri, transport proteinleri gibi hücresel elemanlarla kararlı kompleksler oluşturarak zarın işlevini bozduğu, geçirgenliği arttırdığı ve hücre bileşenlerinin sızınmasına yol açtığı bilinmektedir. AgNP, bakteri hücresi içindeki çeşitli metabolik yollarla etkileşime girebilir. Hücre içinde reaktif oksijen bileşikleri oluşturarak, oksidatif stresi artırıp DNA hasarına ya da lipid degradasyonuna sebep olabilir. Replikasyon ve transkripsiyonun engellenmesine neden olabilir. Bakteri hücresinin protein sentezini engelleyebilir. Ayrıca hücre stoplazmasına giren gümüş iyonları DNA'ya bağlanarak DNA'yı gevşek hale getirmektedir. Bu sebeplerden dolayı gümüş antibakteriyel olarak kullanıldığında antibiyotiklere göre daha az direnç gelişimi gerçekleştiği düşünülmektedir (1).

Kitosan Nanopartikülleri

Kitosan temel olarak kitinin (kabukluların dış iskeletini oluşturan polimer) bir çeşidi olup, doğada selülozdan sonra ikinci sırada en çok bulunan doğal biyopolimerdir. EPS komponentlerine benzer bir yapısı vardır. Katyonik özellik gösterir. Toz (mikro- nanopartiküller), kapsül, film, iskele, hidrojel, boncuk ya da bandaj gibi formlara sokulabilir. Kitosan ayrıca çok iyi antibakteriyel, antiviral ve antifungal özelliklere sahiptir. Tüm bu sebeplerden dolayı biyomedikal alanda kullanımı yaygındır. Kitosan nanopartiküllerinin kök kanal sistemindeki enfekte kompleks anatomik bölgelere ve dentin tübüllerine ulaşarak burada dezenfeksiyonu artırmak için kullanılabilirliği düşünülmektedir (1).

Çalışma Prensipleri

Kitosanın temel antibakteriyel mekanizması pozitif yüklü kitosan nanopartiküllerinin negatif yüklü bakteri membranı ile elektrostatik etkileşime girmesi, membran permeabilitesinin artması ve rüptüre olarak hücre içi elemanların hücre dışına sızmasıdır. Kitosanın ayrıca hücre çekirdeğine ulaşarak DNA'ya bağlandığı böylece RNA ve protein sentezini engellediği düşünülmektedir (1).

Kishen ve ark. (17) çalışmalarının ilk bölümünde katyonik nanopartiküllerin tek başlarına ya da çinkooksit içerikli kanal patları ile birlikte kullanımın antibakteriyel etkinliklerini nasıl etkilediği araştırılmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde farklı nanopartiküllerle muamele edilmiş dentine *E.faecalis*'in tutunmasını önlemedeki yeteneği incelenmiştir. Nanopartikül eklenmesinin patın akışkanlığını etkilemediğini ancak doğrudan antibakteriyel özelliğini ve antibakteriyel bileşenleri sızdırma kabiliyetini artırdığını bildirmişlerdir. Nanopartikül ile muamele edilen dentinde *E.faecalis*'in tutunması belirgin derecede azalmıştır.

Da Silva ve ark. (18) kitosan nanopartikülü eklenmiş çinkooksit öjenol patının pat-dentin arayüzündeki biyofilme etkisini incelemişlerdir. Çinkooksit öjenol patına kitosan nanopartikülü eklendiğinde pat-dentin arayüzünde biyofilm formasyonu oluşumu inhibe edilmiştir.

Kitosan nanopartikülü içeren solüsyonlarla 3 dk irrigasyon yapılarak kök kanallarındaki smear tabakasının etkin şekilde çözülebildiği bildirilmiştir (19, 20). Perochena ve ark. (21)

kitosan nanopartiküllerinin dentin üzerine şelasyon etkisini ve antibakteriyel kapasitesini araştırmışlardır. Kitosan nanopartiküllerinin smeari çözme ve şelasyon etkinliğinin etilendiamintetraasetik asit (EDTA) ile benzer olduğunu bildirmişlerdir. Fakat kitosan nanopartiküllerinin dentin üzerine bakteri yapışmasına direnç sağlaması ve erken dönem biyofilm formasyonuna engel olması nedeniyle EDTA ya alternatif olabileceği ve son irrigasyon ajanı olarak kullanımının mantıklı olacağı ileri sürülmüştür.

Biyoaktif Cam Nanopartikülleri

Biyoaktif cam hem osteoindüktif hem de antibakteriyel etkileri nedeniyle çeşitli ortopedik ve dental uygulamalarda kullanılmaktadır. Kök kanal tedavisinde dezenfeksiyonun artırılabilmesi için çeşitli mikro ve nanoformlarının etkileri araştırılmaktadır.

Çalışma Prensipleri

Biyoaktif cam nanopartiküllerinin antibakteriyel etkisi 3 temel mekanizmaya dayanmaktadır: Yüksek pH: Aköz bir çevreden salınan iyonlara bağlı artan pH seviyesi antibakteriyel etki oluşturur. Ozmotik etki: Ozmotik basıncın %1 den fazla artması bir çok bakteriyi inhibe eder. Ca/P çökmesi: Bakteri yüzeyindeki mineralizasyonu indükler (1).

Zehnder ve ark. (22) çalışmalarında *E.faecalis* ile enfekte edilmiş dentin bloklarına kalsiyum hidroksit ya da ortalama büyüklüğü 20 mikrometre olan biyoaktif cam toz süspansiyonunun dezenfeksiyon etkilerini karşılaştırmışlardır. Kalsiyum hidroksitin *E.faecalis* üzerine 1. ya da 5. günlerde sınırlı etkili olabildiğini gözlemlemişlerdir. Benzer şekilde biyoaktif cam uygulanan dentinde de 1 gün sonunda *E.faecalis*'e karşı sınırlı etki oluşmuştur. Fakat 3 gün sonunda biyoaktif cam uygulanan 6 dentin bloğundan birinde örneklenen tüm dentin katmanlarında dezenfeksiyon elde etmişlerdir. Bununla birlikte, 5 gün sonra, biyoaktif cam uygulanan altı test bloğunun tamamında örneklenen dentin tabakalarının tamamen dezenfekte olduğu gözlemlenmiştir. Bu bulgulara dayanarak biyoaktif camın uzun sürede dezenfeksiyon etkisinin oluştuğunu bu nedenle kanal medikamanti olarak kullanımının daha mantıklı olabileceği bildirilmiştir.

Zehnder ve ark. (23) benzer bir çalışmada kontralateral insan premoları üzerine kalsiyum hidroksit ve biyoaktif camın dezenfeksiyon potansiyellerini karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. *E. faecalis* ile enfekte olan sığır dentin bloklarını kullanan önceki araştırmanın aksine, mevcut *ex vivo* çalışmada kontra-lateral insan dişlerinde kalsiyum hidroksitin biyoaktif cam S53P4 süspansiyonuna kıyasla üstün bir dezenfeksiyon kapasitesi olduğu görülmüştür.

Waltimo ve ark. (24) nanometrik biyoaktif camın antibakteriyel etkisini incelemişlerdir. Nanometrik biyoaktif cam, on kattan daha fazla spesifik yüzey alanına sahip olduğundan, daha fazla alkalın türevleri oluşturur. Bu nedenle daha önce uygulanmış olan mikron ölçülü malzemedan daha güçlü bir antimikrobiyal etki göstermesini beklemişlerdir. Antimikrobiyal etkinliği, persiste kök kanal enfeksiyonlarından izole edilmiş enterokoklara karşı değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak nanopartikül büyüklüğünde hazırlanan biyoaktif camın

antibakteriyel etkisinin daha fazla olduğu gösterilmiştir.

Fonksiyonelize Antimikrobiyal Nanopartiküller

Çeşitli reaktif moleküller içeren ve peptidler veya diğer ligandlarla fonksiyonel hale getirilmiş nanopartiküller, antimikrobiyal dirençle mücadele için yeni imkânlar sağlamaktadır. Nanopartiküllerle fotosensitizasyonun birlikte kullanımı;

1. Nanopartiküllerle kapsülize edilmiş fotosensitizasyon
2. Nanopartiküllere bağlı ya da yüklenmiş fotosensitizasyon
3. Kendisi fotosensitif olan nanopartiküller olarak değerlendirilebilir (1).

Pagonis ve ark. (25) nanopartikül temelli endodontik antimikrobiyal fotodinamik terapinin etkilerini incelemişlerdir. Fotosensitif metilen mavisi ile yüklenmiş poly(laktik-co-glikolik asit) nanopartiküllerinin ve ışığın *E.faecalis* üzerine etkisini karşılaştırmışlardır. Hem metilen mavisi ile yüklenmiş nanopartiküllerin bulunduğu hem de metilen mavisi yüklenmiş ve ışık kullanılmış nanopartiküllerin bulunduğu gruplardaki koloni sayısı kontrol grubuna göre daha az bulunmuştur. Işık kullanılan gruptaki koloni sayısı kullanılmayan gruba göre daha az olmuştur. Nanopartiküllerin ve ışığın sinerjistik olarak kullanılması deneysel olarak enfekte edilmiş insan kök kanallarında *E. faecalis* biofilm türünün yaklaşık 1 log10 miktarında uzaklaştırılmasını sağlarken, metilen mavisi yüklenmiş nanopartiküllerin ışık kullanılmadan uygulanmasıyla bakteri görünürlüğü yaklaşık %44 ve %58 arasında azalmıştır. Sonuç olarak fotosensitif ilaçları kapsüllemiş PLGA nanopartiküllerinin kullanımının, antimikrobiyal endodontik tedavide umut verici olabileceği sonucuna varılmıştır.

Antibakteriyel irrigasyon ajanı olarak klorheksidin, kök kanal tedavisinde sıklıkla kullanılmaktadır. Aynı zamanda matriks metalloproteinaz inhibitörü ve antibakteriyel olduğundan adeziv diş hekimliğinde yaygın olarak tercih edilmektedir (26).

Priyadarshini ve ark. (26) çalışmada nanokapsülenmiş klorheksidinin ilaç taşınım sistemi olarak rezin dentin arayüzüne olan etkisini değerlendirmişlerdir. Daha önce klorheksidinin epidermal uygulamalarda kullanımında poly(caprolactone) (PCL) ile nanokapsülenmesinin etkili bir taşıyıcı olduğu bildirilmiştir. Bu çalışmada simüle edilmiş pulpal basınç karşısında PCL kaplı CHX nin dentin tübüllerine taşınımı incelenmiştir. Çekilmiş dişlerde hem in vitro hem de ex vivo olarak 25 güne kadar önemli derecede klorheksidin salınımı yaptıkları ve bu süre zarfında yavaş yavaş bozdukları bildirilmiştir. Adeziv dişhekimliğinde ilaç taşınım sistemi olarak rutin kullanımı için daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğunu bildirmişlerdir.

Sonuç

Nanopartiküllerin kök kanallarının dezenfeksiyonunda kullanımı umut verici sonuçlar vermektedir. Materyaller nanoboyuta yaklaştıkça kök kanal dentinine ve bakteri hücrelerine penetrasyonları ve dezenfeksiyon etkileri artmaktadır. En iyi derecede dezenfeksiyonun sağlanabilmesi

için uygun materyal, konsantrasyon ve partikül büyüklüğü ile ilgili olarak fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu derlemede makalenin yazarlarından biri olan Güzin Tülü'nün "Gümüş Nanopartikülü İlave Edilmiş Kanal İçerik Medikamentlerin Çok Türü Biyofilm Üzerine Antibakteriyel Etkinliklerinin Karşılaştırılması- ex vivo Çalışma" isimli uzmanlık tezinden yararlanılmıştır.

Kaynaklar

1. Shrestha A, Kishen A. Antibacterial Nanoparticles in Endodontics: A Review. *J Endod* 2016; 42(10): 1417-26.
2. Lide DR. Physical Constant of Inorganic Compound. *Handbook of Chemistry and Physics* 2005;474.
3. Barillo DJ, Marx DE. Silver in medicine: a brief history BC 335 to present. *Burns* 2014; 40 Suppl 1:S3-8.
4. Chaloupka K, Malam Y, Seifalian AM. Nanosilver as a new generation of nanoparticle in biomedical applications. *Trends Biotechnol* 2010; 28(11): 580-8.
5. Morones JR, Elechiguerra JL, Camacho A, Holt K, Kouri JB, Ramirez JT, et al. The bactericidal effect of silver nanoparticles. *Nanotechnology* 2005; 16(10): 2346-53.
6. Correa JM, Mori M, Sanches HL, da Cruz AD, Poiate E, Jr., Poiate IA. Silver nanoparticles in dental biomaterials. *Int J Biomater* 2015; 2015: 485275.
7. Cheng L, Zhang K, Melo MA, Weir MD, Zhou X, Xu HH. Anti-biofilm dentin primer with quaternary ammonium and silver nanoparticles. *J Dent Res* 2012; 91(6): 598-604.
8. Palza H. Antimicrobial polymers with metal nanoparticles. *Int J Mol Sci* 2015; 16(1): 2099-116.
9. Hernandez-Sierra JF, Ruiz F, Pena DC, Martinez-Gutierrez F, Martinez AE, Guillen Ade J, et al. The antimicrobial sensitivity of *Streptococcus mutans* to nanoparticles of silver, zinc oxide, and gold. *Nanomedicine* 2008; 4(3): 237-40.
10. Acosta-Torres LS, Mendieta I, Nunez-Anita RE, Cajero-Juarez M, Castano VM. Cytocompatible antifungal acrylic resin containing silver nanoparticles for dentures. *Int J Nanomedicine* 2012; 7: 4777-86.
11. Flores CY, Diaz C, Rubert A, Benitez GA, Moreno MS, Fernandez Lorenzo de Mele MA, et al. Spontaneous adsorption of silver nanoparticles on Ti/TiO2 surfaces. Antibacterial effect on *Pseudomonas aeruginosa*. *J Colloid Interface Sci* 2010; 350(2): 402-8.
12. Lu X, Zhang B, Wang Y, Zhou X, Weng J, Qu S, et al. Nano-Ag-loaded hydroxyapatite coatings on titanium surfaces by electrochemical deposition. *J R Soc Interface* 2011; 8(57): 529-39.
13. Afkhami F, Akbari S, Chiniforush N. *Enterococcus faecalis* Elimination in Root Canals Using Silver Nanoparticles, Photodynamic Therapy, Diode Laser, or Laser-activated Nanoparticles: An In Vitro Study. *J Endod* 2017; 43(2): 279-82.
14. Lotfi M, Vosoughhosseini S, Ranjkesh B, Khani S, Saghiri M, Zand V. Antimicrobial efficacy of nanosilver,

sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate against *Enterococcus faecalis*. *Afr J Biotechnol* 2011; 10(35): 6799-803.

15. Rodrigues CT, de Andrade FB, de Vasconcelos L, Midena RZ, Pereira TC, Kuga MC, et al. Antibacterial properties of silver nanoparticles as a root canal irrigant against *Enterococcus faecalis* biofilm and infected dentinal tubules. *Int Endod J* 2018; 51(8): 901-11.

16. Shantiaee Y, Maziar F, Dianat O, Mahjour F. Comparing microleakage in root canals obturated with nanosilver coated gutta-percha to standard gutta-percha by two different methods. *Iran Endod J* 2011; 6(4): 140-5.

17. Kishen A, Shi Z, Shrestha A, Neoh KG. An investigation on the antibacterial and antibiofilm efficacy of cationic nanoparticulates for root canal disinfection. *J Endod* 2008; 34(12): 1515-20.

18. DaSilva L, Finer Y, Friedman S, Basrani B, Kishen A. Biofilm formation within the interface of bovine root dentin treated with conjugated chitosan and sealer containing chitosan nanoparticles. *J Endod* 2013; 39(2): 249-53.

19. Silva PV, Guedes DF, Nakadi FV, Pecora JD, Cruz-Filho AM. Chitosan: a new solution for removal of smear layer after root canal instrumentation. *Int Endod J* 2013; 46(4): 332-8.

20. Silva PV, Guedes DF, Pecora JD, da Cruz-Filho AM.

Time-dependent effects of chitosan on dentin structures. *Braz Dent J* 2012; 23(4): 357-61.

21. Del Carpio-Perochena A, Bramante CM, Duarte MA, de Moura MR, Aouada FA, Kishen A. Chelating and antibacterial properties of chitosan nanoparticles on dentin. *Restor Dent Endod* 2015; 40(3): 195-201.

22. Zehnder M, Soderling E, Salonen J, Waltimo T. Preliminary evaluation of bioactive glass S53P4 as an endodontic medication in vitro. *J Endod* 2004; 30(4): 220-4.

23. Zehnder M, Luder HU, Schatzle M, Kerosuo E, Waltimo T. A comparative study on the disinfection potentials of bioactive glass S53P4 and calcium hydroxide in contra-lateral human premolars ex vivo. *Int Endod J* 2006; 39(12): 952-8.

24. Waltimo T, Brunner TJ, Vollenweider M, Stark WJ, Zehnder M. Antimicrobial effect of nanometric bioactive glass 45S5. *J Dent Res* 2007; 86(8): 754-7.

25. Pagonis TC, Chen J, Fontana CR, Devalapally H, Ruggiero K, Song X, et al. Nanoparticle-based endodontic antimicrobial photodynamic therapy. *J Endod* 2010; 36(2): 322-8.

26. Priyadarshini BM, Selvan ST, Lu TB, Xie H, Neo J, Fawzy AS. Chlorhexidine Nanocapsule Drug Delivery Approach to the Resin-Dentin Interface. *J Dent Res* 2016; 95(9): 1065-72