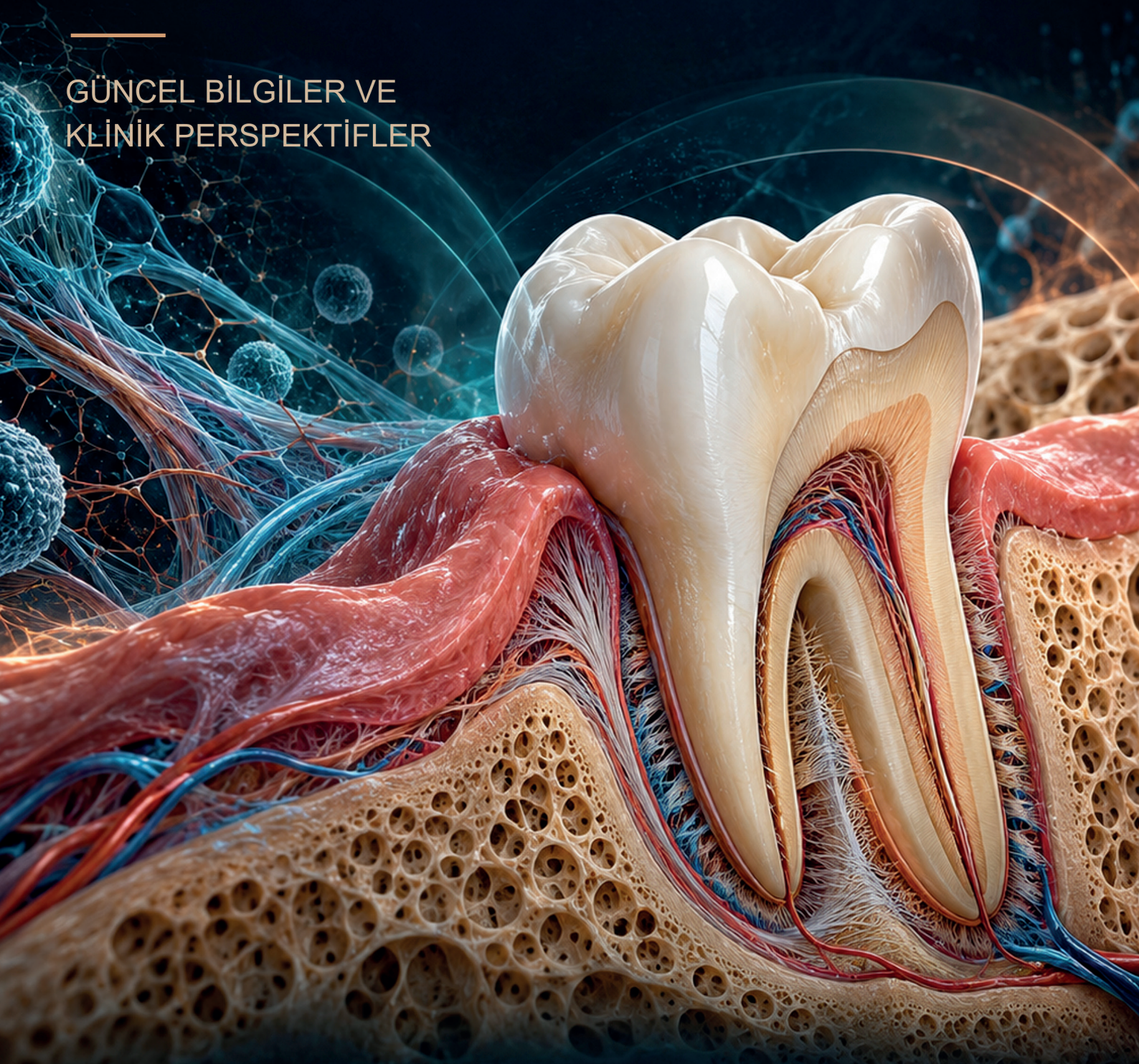


PERİODONTOLOJİYE ÇOK YÖNLÜ BAKIŞ

GÜNCEL BİLGİLER VE
KLİNİK PERSPEKTİFLER



EDİTÖR

Doç. Dr. Turan Emre KUZU

gece
kitaplığı

İmtiyaz Sahibi / Yaşar Hız
Yayına Hazırlayan / Gece Kitaplığı

Birinci Basım / Ekim 2026 - Ankara
ISBN / 978-625-321-287-2

© copyright

Bu kitabın tüm yayın hakları Gece Kitaplığı'na aittir.

Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Gece Kitaplığı

Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak

Ümit Apt No: 22/A Çankaya/ANKARA

0312 384 80 40

www.gecekitapligi.com / gecekitapligi@gmail.com

Baskı & Cilt

Bizim Büro

Sertifika No: 42488

**PERİODONTOLOJİYE
ÇOK YÖNLÜ BAKIŞ:
GÜNCEL BİLGİLER VE KLİNİK PERSPEKTİFLER**

EDİTÖR

Doç. Dr. Turan Emre KUZU

gece
kitaplığı

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1

DİYABET VE PERİODONTİTİS ARASINDAKİ İLİŞKİ: PATOGENEZ, KLİNİK BULGULAR VE TEDAVİ YAKLAŞIMLARI

Beyza Nur ESEN 7

BÖLÜM 2

PERİODONTOLOJİDE ENJEKTE EDİLEBİLİR TROMBOSİTTEN ZENGİN FİBRİN (İ-PRF): BİYOLOJİK ÖZELLİKLERİ, KLİNİK UYGULAMALARI VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Doğukan TANRIVERDİ 24

BÖLÜM 3

DİŞ ÇEKİMİ SONRASI ALVEOLAR KRETİN ÜÇ BOYUTLU KORUNMASINDA GÜNCEL YAKLAŞIMLAR

Fidan GULİYEVA 43

BÖLÜM 4

PERİODONTAL TEDAVİDE LAZER UYGULAMALARI VE FOTOBİYOMODÜLASYON

Hatice Kübra KÜPELİ 61

BÖLÜM 5

PERİODONTAL REJENERASYONDA DOKU MÜHENDİSLİĞİ: TEMEL İLKELER VE GÜNCEL YAKLAŞIMLAR

Hilal SERT 75

BÖLÜM 6

MUKOGİNGİVAL CERRAHİDE SERBEST DİŞETİ GREFTİ: GELENEKSEL TEKNİKLER, MODİFİKASYONLAR VE DİJİTAL DEĞERLENDİRME

Turan Emre KUZU, Mustafa ADA 96

BÖLÜM 7

PERİODONTAL HASTALIKLARDA KONAK MODÜLASYONU: GÜNCEL YAKLAŞIMLAR VE GELECEK PERSPEKTİFİ

Merve AK 111

BÖLÜM 8

DENTAL İMPLANT YÜZEYLERİNİN YAPISAL VE BİYOLOJİK ÖZELLİKLERİ: MODİFİKASYON YÖNTEMLERİ VE GÜNCEL YAKLAŞIMLAR

Rabia GENÇ 128

BÖLÜM 9

PERİODONTOLOJİDE YAPAY ZEKÂ: GÜNCEL UYGULAMALAR VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Sadife Gamze ÖNAL 143

BÖLÜM 10

DİJİTAL PERİODONTOLOJİ: TANIDAN TEDAVİYE GÜNCEL YAKLAŞIMLAR

Turan Emre KUZU , Sadife Gamze ÖNAL 161

BÖLÜM 11

PERİ-İMLANTİTİS: TANIDAN TEDAVİYE GÜNCEL YAKLAŞIMLAR

Venhar AYTEKELİ 182

BÖLÜM 12

KADINLARDA HORMONAL VE SİSTEMİK DEĞİŞİMLERİN PERİODONTAL İZİ

Zeynep KURTARAN 201

BÖLÜM 1

DİYABET VE PERİODONTİTİS ARASINDAKİ İLİŞKİ: PATOGENEZ, KLİNİK BULGULAR VE TEDAVİ YAKLAŞIMLARI

Beyza Nur ESEN¹

¹ Araştırma Görevlisi,Erciyes Üniversitesi, Diş Hekimliği ,Periodontoloji Anabilim Dalı,ORCID:0009-0008-7982-0074

Giriş

Periodontitis ve diyabetes mellitus, toplumda yaygın olarak görülen ve aralarında çift yönlü bir etkileşim bulunan iki kronik hastalıktır. Bu iki hastalık arasındaki ilişki, ortak biyolojik süreçlerin yanı sıra birbirlerinin gelişimi ve klinik şiddeti üzerindeki karşılıklı etkileri nedeniyle uzun süredir araştırılmaktadır (Yang et al., 2024).

Periodontitis, dişlerin destek dokularını etkileyen yüksek prevalanslı kronik inflamatuvar bir hastalık olup, sistemik etkileri nedeniyle giderek daha fazla önem kazanmaktadır (Nguyen et al., 2026). Hastalığın gelişimi, tek bir etkenle açıklanamayacak kadar karmaşık ve multifaktöriyel bir süreçtir. Mikrobiyal biyofilm ile konak immün yanıtı arasındaki etkileşimin yanı sıra çevresel ve sistemik faktörler de önemli rol oynamaktadır (Yang et al., 2024).

Diyabetes mellitus ise insülin sekresyonundaki yetersizlik, insülin direnci veya her iki mekanizmanın birlikte etkisi sonucunda gelişen kronik hiperglisemi ile karakterize, önemli bir halk sağlığı sorunudur. Uzun süreli hiperglisemi, çok sayıda sistemik komplikasyonun gelişimine zemin hazırlayabilmektedir (Reichert et al., 2026).

Diyabetli bireylerde periodontitis riskinin arttığı ilk olarak 1993 yılında Loe tarafından ortaya konmuş ve periodontitis, diyabetin “altıncı komplikasyonu” olarak tanımlanmıştır (Barutta et al., 2022). Bununla birlikte güncel periodontal sınıflandırmada diyabet, periodontitisten ayrı bir hastalık alt tipi olarak değil, periodontal hastalığın gelişimini ve klinik seyrini etkileyen önemli bir modifiye edici faktör olarak değerlendirilmektedir (Jepsen et al., 2018).

Diyabetli bireylerde immün yanıtın bozulması, yara iyileşme kapasitesindeki azalma ve diş eti oluşu sıvısında glukoz düzeylerinin artması, periodontal dokuların mikrobiyal ve inflamatuvar etkilere karşı duyarlılığını artırabilmektedir. Özellikle glisemik kontrolün yetersiz olduğu durumlarda periodontal inflamasyon ve doku yıkımının şiddetlenebildiği bildirilmektedir. Bu doğrultuda diyabetes mellitus, periodontitis gelişimi ve ilerlemesi açısından önemli bir risk faktörü olarak kabul edilmektedir (Yang et al., 2024). Öte yandan periodontitis kaynaklı kronik inflamasyon sistemik inflamatuvar yükü artırarak glisemik kontrolün bozulmasına katkıda bulunabilmektedir. Böylece iki hastalık birbirinin seyrini ve klinik sonuçlarını etkileyebilen çift yönlü bir etkileşim ortaya çıkmaktadır (Sha et al., 2026).

Bu bölümde diyabetes mellitus ve periodontitis arasındaki çift yönlü ilişki; periodontal dokular üzerindeki etkiler, sistemik inflamatuvar ve metabolik yansımalar, mikrobiyal ve hücresel süreçler ile klinik yönetim ve güncel tedavi yaklaşımları çerçevesinde ele alınacaktır.

1. DİYABET VE PERİODONTİTİS ARASINDAKİ ÇİFT YÖNLÜ İLİŞKİ

Diyabet, periodontitis gelişimi açısından önemli bir risk faktörü olarak kabul edilmektedir. Bu ilişkinin ortaya konulmasında, özellikle 1990'lı yıllarda Pima yerlisi popülasyonunda yürütülen kesitsel ve boylamsal çalışmalar önemli rol oynamıştır. Bu çalışmalarda, tip 2 diyabetli Pima yerlilerinde periodontitis prevalansı ve insidansının diyabeti olmayan bireylere kıyasla daha yüksek olduğu ve diyabetin periodontitis riskinde yaklaşık üç kat artışla ilişkili olabileceği bildirilmiştir (Preshaw et al., 2012).

Tip 2 diyabetli bireylerin büyük bir kısmı fazla kilolu veya obez olmakla birlikte, bu durum tüm hastalarda görülmemektedir (Association, 2015). Obezite, diyabetes mellitus gelişimi için bir risk faktörüdür; diyabetin yetersiz glisemik kontrolü ise periodontal hastalık riskini artırmaktadır (Corbet & Leung, 2011). Bu durum proinflamatuvar adipokinlerin üretimini artırırken inflamasyonu düzenleyen mediyatörlerin dengesini değiştirerek düşük düzeyli sistemik inflamasyonun gelişmesine katkıda bulunmaktadır. Obeziteye bağlı sistemik inflamatuvar yanıtın periodontal dokulara da yansıdığı; normal vücut ağırlığına sahip bireylerle karşılaştırıldığında, obez bireylerin diş eti oluğu sıvısında IL-1, IL-6 ve TNF- α gibi proinflamatuvar belirteçlerin daha yüksek düzeylerde bulunduğu bildirilmiştir. Pro- ve antiinflamatuvar mediyatörler arasındaki dengenin bozulması, periodontal patojenlere karşı gelişen konak immün yanıtını da etkileyerek periodontitise yatkınlığın artmasına katkıda bulunabilir. Ayrıca obezitenin, insülin direnci, gingival mikrosirkülasyondaki değişiklikler ve mikrobiyal dengenin bozulması yoluyla periodontitise yatkınlığı artırabileceği düşünülmektedir (Marruganti et al., 2023).

Obeziteye eşlik eden insülin direnci ve metabolik değişiklikler, diyabet gelişme olasılığını yükselterek diyabet ile periodontitis arasındaki etkileşimin daha karmaşık bir hâl almasına neden olabilir (Jiang et al., 2025).

Diyabet, periodontal hastalıkların yanı sıra kserostomi, oral fungal enfeksiyonlar, yara iyileşmesinde bozulma ve postoperatif enfeksiyon riskinde artış gibi çeşitli oral komplikasyonlarla da ilişkilendirilmektedir (Mohseni Homagarani et al., 2023).

2. DİYABETİN PERİODONTAL DOKULAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Oral mikrobiyom, çok sayıda bakteri türünden oluşan kompleks bir ekosistemdir(Shinjo & Nishimura, 2024)i Tip 2 diyabetli bireylerin subgingival mikrobiyotasında da çeşitli değişiklikler bildirilmiştir. Çalışmalarda, *Tannerella forsythia*, *Porphyromonas gingivalis*, *Capnocytophaga*, *Saccharibacteria* (TM7), *Aggregatibacter*, *Neisseria* ve *Gemella* türlerinin prevalansının diyabeti olmayan bireylere kıyasla daha yüksek olduğu; buna karşılık *Filifactor*, *Eubacterium*, *Synergistetes* ve *Treponema* cinslerinin daha düşük oranda bulunduğu gösterilmiştir. Bunun yanı sıra, diyabetin yalnızca subgingival mikrobiyotanın bileşimini değil, tükürük mikrobiyotasının alfa ve beta çeşitliliğini de belirgin şekilde değiştirebildiği bildirilmiştir (Wang et al., 2023).

Oral mikrobiyom üzerine yapılan çalışmalar obezite ve diyabetli kişilerin dental plağındaki oral mikrobiyom bileşiminin sağlıklı bireylerden farklı olduğunu ortaya koymuştur . Bu değişimin periodontal hastalık açısından önemi, mikrobiyal topluluğun daha patojenik ve periodontitis gelişimine daha yatkın bir profile dönüşebilme olasılığıdır. Nitekim deneysel bir çalışmada, diyabetik farelerin oral mikrobiyotasının yağsız farelere kıyasla periodontitis gelişimine daha yatkın bir kompozisyon sergilediği gösterilmiştir. Bu bulgular, diyabetin oral mikrobiyal ekosistemi etkileyerek periodontal hastalığa yatkınlığın artmasına katkıda bulunabileceğini düşündürmektedir(Shinjo & Nishimura, 2024).

Deneysel çalışmalar, diyabetin periodontal dokuların homeostazında görev alan çeşitli hücre gruplarını etkileyebildiğini göstermektedir. Lökositler, mezenkimal kök hücreler, vasküler hücreler, periodontal ligament fibroblastları, osteoblastlar ve osteositlerde meydana gelen değişikliklerden olumsuz etkilenen hücre gruplarıdır. Bunun yanı sıra, diyabetik ortamda bakteriyel uyarana karşı gelişen yeni kemik oluşumunun da bozulabildiği ve bu durumun periodontal doku yıkımının ilerlemesine katkıda bulunabileceği gösterilmiştir(Ibrahim et al., 2026).

Diyabetin periodontal dokular üzerindeki etkilerinde oksidatif stres de önemli bir yere sahiptir. Hiperglisemi, reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretimini artırırken antioksidan savunma mekanizmalarının etkinliğini azaltarak oksidatif dengenin bozulmasına neden olmaktadır. Bu süreçlerin periodontal inflamasyonu ve doku yıkımını şiddetlendirerek diyabetli bireylerde periodontitisin ilerlemesine katkıda bulunabileceği bildirilmektedir. Ohnishi ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği hayvan çalışmasında, deneysel diyabet oluşturulan farelerde plazma H₂O₂

düzeylerinin arttığı ve buna alveolar kemik rezorpsiyonunun eşlik ettiği gösterilmiştir. Buna karşılık, antioksidan N-asetilsistein uygulaması H_2O_2 düzeylerinde azalma ve alveolar kemik rezorpsiyonunda baskılanma ile sonuçlanmıştır. Bu bulgular, artmış oksidatif stresin diyabete bağlı periodontal kemik yıkımında rol oynayabileceğini düşündürmektedir (Mirnic et al., 2024).

Diyabetli bireylerde interlökin- 1β (IL- 1β) ve tümör nekroz faktörü- α (TNF- α) gibi proinflamatuvar sitokinlerin düzeylerinde artış görülebilmektedir. Bunun yanı sıra diyabete bağlı immün yanıt değişiklikleri, periodontal patojenlere karşı konak savunmasını zayıflatarak periodontal doku yıkımı ve alveolar kemik kaybının artmasına katkıda bulunabilmektedir (Yang et al., 2024). Demmer ve arkadaşlarının 2012 yılında gerçekleştirdiği çalışmada şiddetli hiperglisemisi bulunan bireylerde diş kaybı riskiyle ilişkili olduğu bildirilmiştir (Du et al., 2025).

Glukoz düzeylerindeki değişikliklerin periodontal dokularda hem kollajen sentezi hem de yıkımı üzerinde etkili olabileceği düşünülmektedir. İn vitro çalışmalarda, ileri glikasyon son ürünlerinin (AGE) reseptörleri (RAGE) ile etkileşiminin periodontal ligament fibroblastları ve osteoblastlarda hücresel hasarı artırarak periodontal doku yıkımına katkıda bulunabileceği gösterilmiştir. Deneysel diyabet modellerinde ise gingival dokularda özellikle kollajenaz olarak görev yapan MMP-1, MMP-8 ve MMP-13 başta olmak üzere matriks metalloproteinazların (MMP) aktivitelerinde artış bildirilmiştir. Bu süreçlerin, diyabetli bireylerin periodontal dokuların yeniden yapılanmasını ve tedavi sonrasındaki yara iyileşmesini olumsuz etkileyebileceği düşünülmektedir (Mirnic et al., 2024).

3. PERİODONTİTİSİN GLİSEMİK KONTROL ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Periodontal dokulardaki bakteriyel inflamasyon, inflamatuvar sitokinlerin üretimini ve salınımını artırarak bağ dokusu ve alveolar kemik yıkımına katkıda bulunmaktadır. Diyabetli periodontitis hastalarında diş eti oluğu sıvısındaki inflamatuvar sitokin düzeylerinin artmış olduğu ve bu durumun periodontal doku yıkımını hızlandırabileceği bildirilmiştir. Özellikle gram-negatif periodontal patojenler tarafından üretilen endotoksinler, inflamatuvar yanıtın artmasına katkıda bulunabilmektedir. Artan inflamatuvar yükün ise insülin duyarlılığını ve glisemik kontrolü olumsuz etkileyebileceği, dolayısıyla glukoz ve lipid metabolizmasındaki dengenin bozulmasına katkıda bulunabileceği düşünülmektedir (Shi et al., 2023).

Periodontal ceplerde özellikle tip II fimbria taşıyan *P. gingivalis* klonlarının bulunmasının, diyabetli bireylerde glisemik kontrolü olumsuz etkileyebileceği bildirilmektedir(Wang et al., 2023)*P. gingivalis* ile ilişkili periodontal inflamasyonda artan TNF- α düzeyleri, periodontal doku yıkımı ve alveoler kemik rezorpsiyonuna katkıda bulunabilmektedir. Bunun yanı sıra, periodontal inflamasyon sırasında TNF- α düzeylerindeki artışın insülin duyarlılığını azaltarak HbA1c düzeylerinin yükselmesine ve insülin direncinin artmasına katkıda bulunabileceği düşünülmektedir.(Shi et al., 2023)Ayrıca glisemik kontrolü yetersiz olan bireylerde periodontal ceplerde kırmızı kompleks bakterilerinden *P. gingivalis*, *T. forsythia* ve *T. denticola* türlerinin miktarında artışla ilişkili olduğu gösterilmiştir (Wang et al., 2023).

Glikozillenmiş hemoglobin (HbA1c), yaklaşık 2 aylık ortalama kan glukoz düzeyini yansıtarak uzun dönemli glisemik kontrolün değerlendirilmesini sağlar. Bu nedenle diyabet tanısında, diyabet gelişme riski taşıyan bireylerin belirlenmesinde ve tedavi sürecinde glisemik durumun izlenmesinde önemli bir biyobelirteç olarak kullanılmaktadır (Ide et al., 2026). Cerrahi olmayan periodontal tedavinin, diyabetli bireylerde glisemik kontrol üzerinde olumlu etkiler oluşturabileceği bildirilmiştir ve periodontal tedavi sonrasında HbA1c düzeylerinde %0,27 ile %1,03 arasında değişen azalmalara yol açabildiği raporlanmıştır .Tip 2 diyabetli bireylerde gerçekleştirilen randomize kontrollü bir çalışmada ise cerrahi olmayan periodontal tedavi sonrasında HbA1c düzeyinde %0,9 azalma sağladığı ve IL-6, IL-12 ile granülosit koloni uyarıcı faktör gibi inflamatuvar belirteçlerin serum düzeylerinde de düşüş meydana geldiği gösterilmiştir (Zhang et al., 2023).

Tip 2 diyabetli bireylerde yetersiz glisemik kontrolün periodontal dokuların prognozunu olumsuz etkilediği bilinmektedir. Bununla birlikte, periodontitis varlığında proinflamatuvar sitokin düzeyleri artmaktadır. Bu sitokinler, osteoklast öncül hücrelerinin çoğalmasını ve matriks metalloproteinazlar, kollajenazlar ve prostaglandinler gibi doku yıkımıyla ilişkili mediyatörlerin üretimini artırarak alveoler kemik kaybını destekleyebilmektedir. Ayrıca artmış sitokin seviyesinin insülin duyarlılığını olumsuz etkileyebileceği ve böylece diyabet ile periodontal doku hasarı arasında karşılıklı olarak birbirini güçlendiren bir döngü oluşabileceği düşünülmektedir. Bu doğrultuda, periodontal tedavinin inflamatuvar yükü azaltarak glisemik kontrol üzerinde olumlu etkiler oluşturabileceği bildirilmiştir (Li et al., 2023).

Bununla birlikte, periodontal tedavinin glisemik kontrol üzerindeki etkilerine ilişkin bulgular tutarlı değildir. Engebretson ve arkadaşlarının 514 tip 2 diyabet ve orta-ileri kronik periodontitis hastasını kapsayan randomize kontrollü çalışmasında, cerrahi olmayan periodontal tedavi

sonrasında periodontal klinik parametrelerde anlamlı iyileşme sağlanmasına rağmen, altı aylık takipte HbA1c değişimi açısından tedavi ve kontrol grupları arasında anlamlı fark saptanmamıştır. Bu sonuç, periodontal tedavinin klinik periodontal iyileşme sağlamasının her durumda glisemik kontrolün iyileşmesiyle sonuçlanmadığını göstermektedir (Engebretson et al., 2013).

4.DİYABET VE PERİODONTİTİS İLİŞKİSİNİN PATOBİYOLOJİK MEKANİZMALARI

Hiperglisemi, diyabete bağlı komplikasyonların patogeneğinde önemli rol oynayan temel faktörlerden biridir. Diyabetli bireylerin periodontal dokularında oksidatif stres belirteçleri açısından pozitif hücrelerin sayısında artış gösterilmesi, uzun süreli yüksek glukoz maruziyetinin oksidatif stres ile periodontal hastalığın şiddetlenmesi arasındaki ilişkiye katkıda bulunabileceğini düşündürmektedir. Hücre düzeyinde artmış glukoz girişinin protein kinaz C (PKC) aktivasyonu yoluyla reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretimini artırabileceği, glukotoksisitenin ise mitokondriyal ROS oluşumunu tetikleyebileceği gösterilmiştir. Ayrıca hiperglisemiye bağlı oksidatif stresin makrofajların M1 fenotipine yönelmesini destekleyerek proinflamatuvar sitokin üretimini artırabileceği ve nötrofil ile monositlerin kemokinlere yanıtını ve bakteriyel temizleme kapasitesini olumsuz etkileyebileceği bildirilmiştir (Shinjo & Nishimura, 2024).

Diyabette hiperglisemi, ileri glikasyon son ürünlerinin (AGE) geri dönüşümsüz biçimde oluşumunu artırabilmekte ve bu moleküller hücre düzeyde proinflamatuvar ve prooksidan etkiler oluşturabilmektedir. AGE'lerin özgül reseptörleri olan RAGE'ye bağlanması, hücre fonksiyonların değişmesine ve inflamatuvar yanıt ile oksidatif stresin artmasına yol açabilmektedir. Artan inflamasyon ve oksidatif stres ise AGE oluşumunu daha da destekleyerek doku onarım süreçlerinin bozulmasına katkıda bulunabilmektedir. Diyabette etkilenen periodontal dokularda mevcut periodontal enfeksiyonun bu süreçleri güçlendirmesi, periodontal yıkımın daha hızlı ve daha şiddetli seyretmesine katkıda bulunabilecek bir kısır döngü oluşturabilmektedir. Nitekim periodontal hastalığı bulunan bireylerin gingival dokularında AGE ve RAGE düzeylerinin arttığı bildirilmiş olup, bu bulgular diyabetli bireylerde periodontitisin daha şiddetli seyredebilmesine ilişkin biyolojik bir temel sağlayabileceğini düşündürmektedir (Taylor et al., 2013).

Diyabette periodontal patogeneze ilişkili önemli mekanizmalardan biri alveoler kemik homeostazındaki değişikliklerdir. Klinik ve deneysel çalışmalar, özellikle RANKL/OPG

eksenindeki değişikliklerin ve inflamatuvar yanıtın diyabette kemik homeostazının bozulmasına katkıda bulunabileceğini göstermektedir. Bu ilişkinin hem tip 1 hem de tip 2 diyabette önemli olabileceği ve hipergliseminin kemik homeostazını etkileyebileceği bildirilmiştir. AGE'lerin osteojenik farklılaşmayı baskılayabildiği, diyabette artan yağ asitlerinin ise TNF- α aracılığıyla osteoklastogenezi uyarabildiği gösterilmiştir (Polak & Shapira, 2018).

Bununla birlikte, insan çalışmalarındaki bulguların tam olarak tutarlı olmadığı da bildirilmiştir (Reyes-García et al., 2013) Genel olarak, diyabette değişen RANKL/OPG dengesi ve inflamatuvar durumun alveoler kemik homeostazındaki bozulmaya katkıda bulunabileceği düşünülmektedir (Polak & Shapira, 2018).

Periodontitis ve kontrolsüz diyabetin kronik inflamatuvar etkilerinin, genetik ve sistemik faktörlerin de katkısıyla, kronik düşük düzeyli inflamasyona ve *inflammaging* olarak adlandırılan yaşlanma sürecine katkıda bulunabileceği düşünülmektedir (Preshaw et al., 2026). Obezite, hücresel yaşlanma sürecini hızlandırabilen ve bu sürecin şiddetini artırabilen metabolik faktörlerden biri olarak değerlendirilmektedir. Yapılan çeşitli çalışmalarda, yağ dokusu, karaciğer ve pankreatik β -hücreleri gibi farklı organlarda obezite ile yaşanan hücre yükünün artışı arasında pozitif bir ilişki olduğu gösterilmiştir. Yaşlanan hücreler; proinflamatuvar ve profibrotik proteinler, büyüme faktörleri ve matriks metalloproteinazlar (MMP'ler) gibi çeşitli biyolojik olarak aktif moleküller salgılayarak hem bulundukları dokudaki hem de uzak dokulardaki hücreleri etkileyebilmektedir (Justice et al., 2024).

Benzer şekilde periodontitis sırasında ortaya çıkan kronik inflamatuvar yanıt ve artmış oksidatif stresin, periodontal dokularda hücresel yaşlanmayı tetikleyebileceği öne sürülmektedir. Periodontal hastalıkların ve bunlarla ilişkili sistemik komorbiditelerin patogeneğinde gözlenen bazı biyolojik süreçlerin, yaşlanma ile ortak özellikler taşıdığı bildirilmektedir. Nitekim, periodontitisli bireylerin gingival dokularının değerlendirildiği klinik bir çalışmada, sağlıklı periodontal dokulara kıyasla hücresel yaşlanma ile ilişkili p16, lipofuscin ve SA- β -galaktosidaz belirteçlerinde artış olduğu gösterilmiştir. Bu bulguların hem genç hem de ileri yaştaki periodontitisli bireylerde gözlenmesi, periodontal inflamatuvar mikroçevrenin yaşlanma ile ilişkili hücresel değişiklikleri hızlandırabileceğini düşündürmektedir (Rattanaprukskul et al., 2024).

5. DİYABETLİ HASTALARDA PERİODONTAL TEDAVİ VE KLİNİK YÖNETİM

Diyabetli hastaların anamnezinde diyabetin tipi ve süresi, mevcut komplikasyonlar, kullanılan antidiyabetik tedaviler ve eşlik eden ilaçlar ayrıntılı olarak değerlendirilmelidir. Özellikle antikoagülanlar, antiagreganlar ve antihipertansifler gibi ilaçların kullanımı göz önünde bulundurulmalıdır. Hastanın diyabet kontrol düzeyi sorgulanmalı ve güncel HbA1c değeri kaydedilmelidir. Diyabet tanısı bulunan tüm bireylerde kapsamlı periodontal değerlendirme yapılmalı; periodontitis saptanmayan hastalarda koruyucu periodontal bakım ve düzenli takip planlanmalıdır.

Akut oral veya periodontal enfeksiyon bulunan diyabetli hastalarda tedavi geciktirilmemeli, periodontitis tanısı konulan bireylerde periodontal tedavi mümkün olan en kısa sürede başlatılmalıdır. Cerrahi olmayan tedavi diyabetin kontrol düzeyinden bağımsız olarak önerilir. Buna karşılık, glisemik kontrolü yetersiz olan hastalarda periodontal cerrahi ve implant tedavisi planlanırken hastanın metabolik durumu dikkate alınmalı ve gerekli klinik değerlendirme yapılmalıdır. Diyabeti iyi kontrol edilen bireylerde cerrahi tedavilerin sonuçlarının diyabeti olmayan hastalarla benzer olabileceği bildirilmiştir. Bununla birlikte, kötü kontrollü diyabette postoperatif enfeksiyon riskinin artabileceği; insülin veya sülfonilüre kullanan hastalarda ise cerrahi girişimin zamanlaması ve olası ilaç düzenlemeleri açısından ilgili hekimle konsültasyon yapılması gerektiği belirtilmektedir (Sanz et al., 2018).

Diyabetli tüm bireylere, genel diyabet eğitim programının bir parçası olarak ağız ve diş sağlığı konusunda eğitim verilmelidir. Tüm diyabetes mellitus tiplerinde periodontal hastalık gelişme riskinin arttığı konusunda hastalar bilgilendirilmeli; tedavi edilmeyen periodontitisin metabolik kontrolü olumsuz yönde etkileyebileceği ve diyabetle ilişkili komplikasyonların riskini artırabileceği açıklanmalıdır (Nguyen et al., 2026).

Tip 2 diyabetes mellitus ve periodontitisli hastalarda periodontal tedavinin sistemik etkilerini değerlendiren sistematik derleme ve meta-analizde, dokuz randomize kontrollü çalışmanın sonuçları incelenmiştir. Bulgular, diş taşı temizliği ve kök yüzeyi düzleştirmesini (SRP) içeren konvansiyonel periodontal tedavinin HbA1c düzeylerinde ortalama %0,56 azalma sağladığını ve C-reaktif protein (CRP) düzeylerini düşürdüğünü göstermiştir. Bu sonuçlar, periodontal tedavinin diyabetli hastalarda glisemik kontrolün iyileştirilmesine ve sistemik inflamasyonun azaltılmasına katkıda bulunabileceğini düşündürmektedir (Baeza et al., 2020).

Cerrahi olmayan periodontal tedavinin, prediyabetli ve diyabetli bireylerde periodontal durum ve glisemik kontrol üzerinde olumlu etkiler oluşturabileceği; bunun prediyabetten diyabete

geçiş ve diyabetle ilişkili komplikasyonların ilerlemesi açısından potansiyel klinik yarar sağlayabileceği düşünülmektedir (Umeizudike et al., 2025). Düzenli ve uygun periodontal tedavi sonucunda glisemik kontroldeki iyileşmelerin diyabete bağlı komplikasyonlar ve diyabetli bireylerin yaşam kalitesi üzerinde önemli olumlu etkiler oluşturabileceği bildirilmektedir (Simpson et al., 2022).

6. GÜNCEL TEDAVİ YAKLAŞIMLARI VE GELECEK PERSPEKTİFİ

Diyabetli bireylerde periodontitis tedavisi, iki hastalık arasındaki çift yönlü etkileşim nedeniyle bazı klinik güçlükler içermektedir (Lin et al., 2024). Diyabetin hem sağlıklı oral biyofilmlerin hem de hastalıkla ilişkili biyofilm yapılarının bileşimini ve özelliklerini etkileyebildiği bilinmektedir. Hiperglisemi, daha disbiyotik ve proinflamatuvar özellik gösteren bir mikrobiyal topluluğa doğru değişimi destekleyebilmekte; bu süreçte *Porphyromonas gingivalis*, *Fusobacterium nucleatum* ve *Tannerella forsythia* gibi periodontal patojenlerin miktarında ve virülansında artış görülebilmektedir (Polak & Shapira, 2018). Ayrıca diyabetin biyofilm olgunlaşmasını hızlandırabildiği ve konağın immün yanıtını olumsuz yönde etkileyebildiği bildirilmektedir. Oral mikrobiyotada meydana gelen bu değişiklikler, periodontal hastalığın daha şiddetli seyretmesine katkıda bulunabilir ve diyabetli bireylerde periodontal tedaviye verilen yanıtı azaltabilir (Bujaldón et al., 2026).

Bununla birlikte diyabet mikrobiyal çeşitliliği değiştirmenin yanında hiperglisemi aracılığıyla immün yanıtı olumsuz etkileyerek periodontal dokulardaki proinflamatuvar yanıtı artırabilmektedir. Bu değişiklikler, periodontal inflamasyonun sürdürülmesine ve doku iyileşme süreçlerinin olumsuz etkilenmesine katkıda bulunabilmektedir. Dolayısıyla diyabet, periodontal inflamasyonun kontrolünü güçleştirebilir ve iyileşme kapasitesini azaltarak tedavi yanıtını olumsuz yönde etkileyebilir (Lin et al., 2024).

Cerrahi olmayan periodontal tedaviye ek olarak probiyotikler, antibiyotikler ve konak yanıtını düzenleyici ajanların lokal veya sistemik uygulanması, tedavi sonuçlarının iyileştirilmesine yönelik yardımcı yaklaşımlar arasında değerlendirilmektedir. Güncel bulgular, bu uygulamaların inflamatuvar yanıtın ve oksidatif stresin azaltılmasına, ayrıca periodontal dokulardaki yıkımın sınırlandırılmasına katkı sağlayabileceğini göstermektedir (Angelopoulou & Bobetsis, 2026).

Probiyotikler, periodontal tedavi sonrasında klinik sonuçların iyileştirilmesini hedefleyen yardımcı tedavi yaklaşımı olarak oral mikrobiyota ile konak immün yanıtını düzenleme potansiyelleri nedeniyle giderek daha fazla ilgi görmektedir. Probiyotiklerin etkileri; patojenik mikroorganizmalarla rekabet ederek çoğalmalarını sınırlandırma, biyofilmin yapısını ve olgunlaşmasını etkileyebilme, reuterin ve organik asitler gibi antimikrobiyal bileşikler üretme ve inflamatuvar mediyatörlerin düzenlenmesine katkıda bulunma gibi çeşitli mekanizmalar üzerinden ortaya çıkabilmektedir (Bujaldón et al., 2026).

Melatonin, immüno-regülatör , antidiyabetik ve antioksidan etkileri sebebiyle araştırılan bir diğer ajandır. Sarac Gul ve arkadaşlarının randomize kontrollü çalışmasında tip 2 diyabet ve periodontitisli hastalarda diş taşı temizliği ve kök yüzeyi düzleştirmesine (SRP) 30 gün boyunca günlük 6 mg sistemik melatonin eklenmesinin, yalnızca SRP uygulanması na kıyasla özellikle üçüncü ayda diş eti kanaması ve periodontal cep derinliğinde daha belirgin azalma sağladığı gösterilmiştir. Ayrıca, melatonin grubunda üçüncü ayda diş eti oluğu sıvısındaki RANKL ve MMP-8 düzeylerinde, altıncı ayda ise serum IL-1 β düzeylerinde daha belirgin azalma saptanmıştır (Sarac Gul et al., 2024).

Periodontal tedavinin klinik sonuçlarını desteklemek amacıyla çeşitli yardımcı tedavi seçenekleri arasında lazer tedavisi ve fotodinamik tedavi (PDT) öne çıkarken, Salvi ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen sistematik derlemede bu yöntemlerin etkinliği değerlendirilmiş ve elde edilen veriler Avrupa Periodontoloji Federasyonunun S3 düzeyindeki tedavi önerilerine de yansıtılmıştır. Lazer ve fotodinamik tedavinin sistemik olarak sağlıklı bireylerdeki periodontal tedaviye katkısı sınırlı bulunmuş olmakla birlikte, diyabet gibi periodontal hastalığa yatkınlığı artıran sistemik durumlarda bu yöntemlerin etkileri henüz yeterince açıklığa kavuşturulmamıştır. Özellikle periodontal iyileşme ile birlikte glisemik göstergeler üzerindeki olası etkilerinin değerlendirilmesi, bu yaklaşımların diyabetli periodontitis hastalarındaki klinik değerinin belirlenmesi açısından önem taşımaktadır. Lazer ve fotodinamik tedavinin inflamatuvar yanıtı modüle edebilme potansiyeli, bu yöntemlerin non-cerrahi periodontal tedaviye ek olarak kullanılabileceğini düşündürmektedir (Corbella et al., 2023).

Zhang ve arkadaşlarının çalışmasında, tip 2 diyabet ve periodontitis bulunan bireylerde diş taşı temizliği ve kök yüzeyi düzleştirmesine (SRP) ek olarak Nd : YAG lazer uygulanmasının, tek başına SRP uygulamasına kıyasla ek klinik yarar sağlayabileceği ve başlıca periodontal patojenlerin miktarını azaltabileceği bildirilmiştir (Zhang et al., 2024).

Diyabetli periodontitis hastalarında oksidatif stresin artması, oksidatif dengeyi hedefleyen yardımcı tedavilere olan ilgiyi artırmıştır. Bu kapsamda tıbbi ozon uygulaması da konvansiyonel periodontal tedaviye yardımcı bir yaklaşım olarak araştırılmıştır. Bir klinik çalışmada ozon uygulaması, kısa dönem periodontal parametrelerde, özellikle sondalamada kanama açısından olumlu sonuçlarla ilişkilendirilmiştir. Bununla birlikte bu etkinin uzun dönem devamlılığı konusunda daha fazla kanıt ihtiyacı bulunmaktadır (Marconcini et al., 2021).

Gelecekteki çalışmaların, diyabetli periodontitis hastalarında yardımcı tedavi yöntemlerinin klinik etkinliğini ve uzun dönem sonuçlarını ortaya koymaya odaklanması gerekmektedir. Probiyotikler, melatonin, ozon ve fotobiyomodülasyon gibi yaklaşımların periodontal iyileşme üzerindeki etkilerinin yanı sıra glisemik kontrolle ilişkilerinin de kapsamlı biçimde değerlendirilmesi önem taşımaktadır. Tedavi protokollerinin standartlaştırıldığı, yeterli örneklem büyüklüğüne sahip ve uzun süreli takip içeren randomize kontrollü çalışmaların yürütülmesi, mevcut kanıtların güçlendirilmesine katkı sağlayacaktır. Ayrıca periodontal hastalığın şiddeti, glisemik kontrol düzeyi ve inflamatuvar belirteçler gibi bireysel özelliklerin tedavi yanıtıyla ilişkisinin araştırılması, hastaya özgü tedavi yaklaşımlarının geliştirilmesi açısından önemlidir. Yardımcı tedavilerin rutin klinik uygulamadaki yerinin belirlenebilmesi için etkinlik, güvenlik ve uygulanabilirlik bakımından daha güçlü bilimsel kanıtlara ihtiyaç duyulmaktadır.

KAYNAKÇA

- Angelopoulou, T., & Bobetsis, Y. A. (2026). Effect of Melatonin as an Adjunct to NSPT on Periodontal and Systemic Outcomes in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus: A Systematic Review and Meta-Analysis of RCTs. *J Clin Med*, 15(11).
<https://doi.org/10.3390/jcm15114071>
- Association, A. D. (2015). 2. Classification and Diagnosis of Diabetes. *Diabetes Care*, 39(Supplement_1), S13-S22. <https://doi.org/10.2337/dc16-S005>
- Baeza, M., Morales, A., Cisterna, C., Cavalla, F., Jara, G., Isamitt, Y., Pino, P., & Gamonal, J. (2020). Effect of periodontal treatment in patients with periodontitis and diabetes: systematic review and meta-analysis. *J Appl Oral Sci*, 28, e20190248.
<https://doi.org/10.1590/1678-7757-2019-0248>
- Barutta, F., Bellini, S., Durazzo, M., & Gruden, G. (2022). Novel Insight into the Mechanisms of the Bidirectional Relationship between Diabetes and Periodontitis. *Biomedicines*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/biomedicines10010178>
- Bujaldón, R., Montero, E., Chamorro, C., Marín, M. J., Iniesta, M., Sanz, M., & Herrera, D. (2026). Subgingival microbiome and adjunctive use of probiotics in the treatment of periodontitis in patients with diabetes: a secondary analysis of a randomized clinical trial. *J Oral Microbiol*, 18(1), 2624894.
<https://doi.org/10.1080/20002297.2026.2624894>
- Corbella, S., Calciolari, E., Donos, N., Alberti, A., Ercal, P., & Francetti, L. (2023). Laser treatments as an adjunct to non-surgical periodontal therapy in subjects with periodontitis and type 2 diabetes mellitus: a systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Investig*, 27(4), 1311-1327. <https://doi.org/10.1007/s00784-023-04873-y>
- Corbet, E. F., & Leung, W. K. (2011). Epidemiology of periodontitis in the Asia and Oceania regions. *Periodontol 2000*, 56(1), 25-64. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0757.2010.00362.x>
- Du, Y., Xiao, H., Luo, R., Li, G., & Ren, Y. (2025). The role of HbA1c in the bidirectional relationship between periodontitis and diabetes and related interventions: a narrative review. *Front Nutr*, 12, 1606223. <https://doi.org/10.3389/fnut.2025.1606223>
- Engelbreton, S. P., Hyman, L. G., Michalowicz, B. S., Schoenfeld, E. R., Gelato, M. C., Hou, W., Seaquist, E. R., Reddy, M. S., Lewis, C. E., Oates, T. W., Tripathy, D., Katancik, J. A., Orlander, P. R., Paquette, D. W., Hanson, N. Q., & Tsai, M. Y. (2013). The effect of nonsurgical periodontal therapy on hemoglobin A1c levels in persons with type 2

- diabetes and chronic periodontitis: a randomized clinical trial. *Jama*, 310(23), 2523-2532. <https://doi.org/10.1001/jama.2013.282431>
- Ibrahim, H. A., Mohamad, W. M. W., Mohamad, N., Kassim, N. K., Ismail, T., Ab Rahman, W. S. W., Yudin, Z. M., Das, S., & Zin, S. R. M. (2026). Insight into Molecular Mechanisms and Pathways Related to the Association of Periodontal Disease and Type 2 Diabetes Mellitus. *Endocr Metab Immune Disord Drug Targets*, 26, e18715303415067. <https://doi.org/10.2174/0118715303415067251124044844>
- Ide, M., Mainas, G., Kansagra, N., Al-Zaeim, I., Ang, R. N., Owen, D. R., Ghuman, M., Cook, R. J., & Nibali, L. (2026). Association between HbA1c chairside values and periodontitis. *J Dent*, 167, 106563. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2026.106563>
- Jepsen, S., Caton, J. G., Albandar, J. M., Bissada, N. F., Bouchard, P., Cortellini, P., Demirel, K., de Sanctis, M., Ercoli, C., Fan, J., Geurs, N. C., Hughes, F. J., Jin, L., Kantarci, A., Lalla, E., Madianos, P. N., Matthews, D., McGuire, M. K., Mills, M. P.,... Yamazaki, K. (2018). Periodontal manifestations of systemic diseases and developmental and acquired conditions: Consensus report of workgroup 3 of the 2017 World Workshop on the Classification of Periodontal and Peri-Implant Diseases and Conditions. *J Periodontol*, 89 Suppl 1, S237-s248. <https://doi.org/10.1002/jper.17-0733>
- Jiang, S., Liang, C., Jing, J., Wang, M., Sun, H., & Zuo, B. (2025). Insulin resistance as a mediator between obesity and periodontitis risk. *BMC Oral Health*, 25(1), 1015. <https://doi.org/10.1186/s12903-025-06362-y>
- Justice, J. N., Leng, X. I., LeBrasseur, N. K., Tchkonja, T., Kirkland, J. L., Mitin, N., Liu, Y., Kritchevsky, S. B., Nicklas, B. J., & Ding, J. (2024). Caloric Restriction Intervention Alters Specific Circulating Biomarkers of the Senescence-Associated Secretome in Middle-Aged and Older Adults With Obesity and Prediabetes in an 18-Week Randomized Controlled Trial. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 79(1). <https://doi.org/10.1093/gerona/glad214>
- Li, S., Li, H., Kong, H., Wu, S. Y., Cheng, C. K., & Xu, J. (2023). Endogenous and microbial biomarkers for periodontitis and type 2 diabetes mellitus. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 14, 1292596. <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1292596>
- Lin, S.-Y., Sun, J.-S., Lin, I. P., Hung, M.-C., & Chang, J. Z.-C. (2024). Efficacy of adjunctive local periodontal treatment for type 2 diabetes mellitus patients with periodontitis: A systematic review and network meta-analysis. *Journal of Dentistry*, 148, 105212. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jdent.2024.105212>

- Marconcini, S., Giammarinaro, E., Cosola, S., Oldoini, G., Genovesi, A., & Covani, U. (2021). Effects of Non-Surgical Periodontal Treatment on Reactive Oxygen Metabolites and Glycemic Control in Diabetic Patients with Chronic Periodontitis. *Antioxidants (Basel)*, 10(7). <https://doi.org/10.3390/antiox10071056>
- Marruganti, C., Suvan, J. E., & D'Aiuto, F. (2023). Periodontitis and metabolic diseases (diabetes and obesity): Tackling multimorbidity. *Periodontol 2000*. <https://doi.org/10.1111/prd.12536>
- Mirnic, J., Djuric, M., Brkic, S., Gusic, I., Stojilkovic, M., Tadic, A., & Veljovic, T. (2024). Pathogenic Mechanisms That May Link Periodontal Disease and Type 2 Diabetes Mellitus-The Role of Oxidative Stress. *Int J Mol Sci*, 25(18). <https://doi.org/10.3390/ijms25189806>
- Mohseni Homagarani, Y., Adlparvar, K., Teimuri, S., Tarrahi, M. J., & Nilchian, F. (2023). The effect of diabetes mellitus on oral health-related quality of life: A systematic review and meta-analysis study. *Front Public Health*, 11, 1112008. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1112008>
- Nguyen, T. T., Bandeira, M., Giannopoulou, C., Zekeridou, A., Ryu, D., & Gariani, K. (2026). Periodontitis and diabetes: a bidirectional link. *Acta Diabetol*, 63(7), 1165-1177. <https://doi.org/10.1007/s00592-026-02642-3>
- Polak, D., & Shapira, L. (2018). An update on the evidence for pathogenic mechanisms that may link periodontitis and diabetes. *J Clin Periodontol*, 45(2), 150-166. <https://doi.org/10.1111/jcpe.12803>
- Preshaw, P. M., Alba, A. L., Herrera, D., Jepsen, S., Konstantinidis, A., Makrilakis, K., & Taylor, R. (2012). Periodontitis and diabetes: a two-way relationship. *Diabetologia*, 55(1), 21-31. <https://doi.org/10.1007/s00125-011-2342-y>
- Preshaw, P. M., Chew, R. J. J., Goh, C. E., Abdulkareem, A. A., & Graves, D. T. (2026). Periodontitis and Diabetes: Mechanistic Evidence of a Circular Relationship. *J Periodontal Res*. <https://doi.org/10.1111/jre.70131>
- Rattanaprakskul, K., Xia, X. J., Jiang, M., Albuquerque-Souza, E., Bandyopadhyay, D., & Sahingur, S. E. (2024). Molecular Signatures of Senescence in Periodontitis: Clinical Insights. *J Dent Res*, 103(8), 800-808. <https://doi.org/10.1177/00220345241255325>
- Reichert, S., Schlitt, A., Rehm, S., & Schulz, S. (2026). Impact of severe periodontitis and diabetes mellitus on recurrent cardiovascular outcomes. *J Periodontol*, 97(6), 1360-1371. <https://doi.org/10.1002/jper.70086>

- Reyes-García, R., Rozas-Moreno, P., López-Gallardo, G., García-Martín, A., Varsavsky, M., Avilés-Perez, M. D., & Muñoz-Torres, M. (2013). Serum levels of bone resorption markers are decreased in patients with type 2 diabetes. *Acta Diabetol*, 50(1), 47-52. <https://doi.org/10.1007/s00592-011-0347-0>
- Sanz, M., Ceriello, A., Buysschaert, M., Chapple, I., Demmer, R. T., Graziani, F., Herrera, D., Jepsen, S., Lione, L., Madianos, P., Mathur, M., Montanya, E., Shapira, L., Tonetti, M., & Vegh, D. (2018). Scientific evidence on the links between periodontal diseases and diabetes: Consensus report and guidelines of the joint workshop on periodontal diseases and diabetes by the International diabetes Federation and the European Federation of Periodontology. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 137, 231-241. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2017.12.001>
- Sarac Gul, Y., Kose, O., Altin, A., Yemenoglu, H., Arslan, H., Akyildiz, K., & Yilmaz, A. (2024). Melatonin supports nonsurgical periodontal treatment in patients with Type 2 diabetes mellitus and periodontitis: A randomized clinical trial. *J Periodontol*, 95(9), 832-841. <https://doi.org/10.1002/jper.23-0335>
- Sha, H., Xu, H., Zu, H., Fan, S., Shen, X., Wang, J., Yin, W., Bu, H., & Liu, Q. (2026). Summary of the best evidence for non-surgical intervention in periodontitis among patients with type 2 diabetes mellitus. *Front Public Health*, 14, 1792923. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2026.1792923>
- Shi, N., Kong, C., Yuan, L., Liu, L., Zhao, K., Lü, J., & Wang, X. (2023). The bidirectional relationship between periodontitis and diabetes: New prospects for stem cell-derived exosomes. *Biomed Pharmacother*, 165, 115219. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2023.115219>
- Shinjo, T., & Nishimura, F. (2024). The bidirectional association between diabetes and periodontitis, from basic to clinical. *Jpn Dent Sci Rev*, 60, 15-21. <https://doi.org/10.1016/j.jdsr.2023.12.002>
- Simpson, T. C., Clarkson, J. E., Worthington, H. V., MacDonald, L., Weldon, J. C., Needleman, I., Ihezor-Ejiofor, Z., Wild, S. H., Qureshi, A., Walker, A., Patel, V. A., Boyers, D., & Twigg, J. (2022). Treatment of periodontitis for glycaemic control in people with diabetes mellitus. *Cochrane Database Syst Rev*, 4(4), Cd004714. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD004714.pub4>
- Taylor, J. J., Preshaw, P. M., & Lalla, E. (2013). A review of the evidence for pathogenic mechanisms that may link periodontitis and diabetes. *J Clin Periodontol*, 40 Suppl 14, S113-134. <https://doi.org/10.1111/jcpe.12059>

- Umeizudike, K. A., Nwhator, S. O., Olaoye, O. I., Ogundana, A. C., Räisänen, I. T., Fasanmade, O. A., Ogundana, O., Ajie, O., & Sorsa, T. (2025). Effects of Non-Surgical Periodontal Therapy on Glycemic Control in Prediabetes and Diabetes Patients with Stage II-IV Periodontitis as Monitored by Active-Matrix Metalloproteinase-8 Levels. *Biomedicines*, 13(4).
<https://doi.org/10.3390/biomedicines13040969>
- Wang, L., Gao, Z., Zhao, Z., Shen, X., Feng, J., & Xiong, J. (2023). Oral microbiota in periodontitis patients with and without type 2 diabetes mellitus and their shifts after the nonsurgical periodontal therapy. *Heliyon*, 9(11), e22110.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22110>
- Yang, Y., Sun, X., Yang, Y., & Qie, Y. (2024). Insight of the interrelationship and association mechanism between periodontitis and diabetes mellitus. *Regen Ther*, 26, 1159-1167.
<https://doi.org/10.1016/j.reth.2024.11.001>
- Zhang, Y., Leveille, S. G., Camhi, S. M., & Shi, L. (2023). Association of oral care with periodontitis and glycemic control among US adults with diabetes. *BMC Oral Health*, 23(1), 903. <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03580-0>
- Zhang, Y., Tang, P., Yang, Q., Li, C., Li, L., & Han, M. (2024). Efficacy of scaling and root planing with and without adjunct Nd:YAG laser therapy on glucose control and periodontal microecological imbalance in periodontitis patients with type 2 diabetes mellitus: a randomized controlled trial. *Clin Oral Investig*, 28(2), 143.
<https://doi.org/10.1007/s00784-024-05510-y>

BÖLÜM 2

PERİODONTOLOJİDE ENJEKTE EDİLEBİLİR TROMBOSİTTEN ZENGİN FİBRİN (İ-PRF): BİYOLOJİK ÖZELLİKLERİ, KLİNİK UYGULAMALARI VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Doğukan TANRIVERDİ¹

¹ Araş.Gör., Erciyes Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Periodontoloji AD., dtanrivedi@erciyes.edu.tr, ORCID iD: 0009-0004-7806-8520

1. GİRİŞ

Periodontitis, konak–biyofilm homeostazının bozulması ve periodontal dokuların yıkımı ile karakterize inflamatuvar bir hastalıktır. Dünya genelindeki yetişkin nüfusun yaklaşık yarısını etkilediği kabul edilen periodontitis, hem bireylerin yaşam kalitesi ve genel iyilik hali üzerinde hem de sağlık sistemleri üzerinde önemli bir yük oluşturan ciddi bir halk sağlığı sorunudur. (Ogutcen et al., 2026) Mekanik debridman ve lokal ilaç uygulaması gibi konvansiyonel tedaviler; biyofilme penetrasyonun yetersiz olması, bölgeye özgü hedeflemenin sınırlı kalması ve konak immün mikroçevresinin modüle edilememesi nedeniyle, özellikle ileri evre hastalıkta sıklıkla yeterli sonuçlara ulaşamamaktadır. (Chakraborty et al., 2026)

Günümüzde periodontal tedavi yalnızca mikrobiyal biyofilmin kontrolüne odaklanmamakta, hastalık patogenezinde inflamasyonun ve konak yanıtının rolünün daha iyi anlaşılmasıyla birlikte biyolojik temelli yeni tedavi yaklaşımlarının geliştirilmesine yönelik çalışmalar önem kazanmaktadır. (Tonetti et al., 2017) Biyolojik temelli çalışmaların başında da trombosit ürünlerinden elde edilen materyallerin periodontal tedavilerde kullanımı gelmektedir. Trombositler, hem primer hem de sekonder hemostazın temel unsurlarından biridir ve bu nedenle hemostatik amaçlarla trombositler üzerine kapsamlı araştırmalar yürütülmüştür.

Trombositlerin hemostazda önemli bir rol oynadığı bilinmekle birlikte, işlevleri yara iyileşmesi ve rejeneratif tıp alanlarını da kapsamaktadır. Trombositler; trombosit kaynaklı büyüme faktörü (PDGF), transforme edici büyüme faktörü beta (TGF- β), vasküler endotelyal büyüme faktörü (VEGF) ve epidermal büyüme faktörü (EGF) gibi çeşitli büyüme faktörlerinin üretiminde rol alır. Bu faktörler; hücre migrasyonunu indükleyerek, hücreleri ekstrasellüler matriksi yeniden şekillendirmeye teşvik ederek ve iyileşmekte olan dokunun yeniden vaskülarizasyonunu sağlayarak yara iyileşmesinin tüm evrelerine katkıda bulunmaktadır. Bu biyolojik özelliklerden yararlanma amacıyla hastanın kendi kanından elde edilen otolog trombosit konsantreleri geliştirilmiş ve rejeneratif tıbbın yanı sıra periodontoloji ve implantoloji alanlarında kullanılmaya başlanmıştır. Trombosit konsantrelerinin gelişimiyle birlikte platelet-rich plasma (PRP) ve platelet-rich fibrin (PRF) başta olmak üzere farklı biyolojik preparatlar tanımlanmıştır. (Albert & Brown, 2026)

Trombositten zengin plazma (PRP) rejeneratif diş hekimliğinin yanı sıra, maksillofasiyal cerrahi, ortopedik cerrahi ve estetik tıp gibi yaygın çevrelerde kullanılmaktadır. Buna karşın, içerdiği sığır trombini ve çeşitli diğer antikoagülanların doku rejenerasyonunu baskıladığı

düşünülmektedir. Bu nedenle, trombositten zengin fibrin (PRF), antikoagülan kullanılmadan elde edilen ilk otolog kan kaynaklı büyüme faktörü preparatlarından biri olarak geliştirilmiştir. PRF böylece, doku rejenerasyonu için bir iskele görevi görebilen üç boyutlu bir fibrin matriksi oluşturur; ayrıca yönlendirilmiş kemik ve doku rejenerasyonu (GBR, GTR) işlemlerinde bariyer membran gibi davranabilir ve aynı zamanda yara iyileşmesinden sorumlu çok sayıda büyüme faktörünü içerir. Bu özellikler PRF'nin periodontal cerrahi, periodontal rejenerasyon ve periodontal plastik cerrahi gibi çeşitli klinik uygulamalarda araştırılmasına neden olmuştur. (Miron et al., 2017)

Ek olarak, düşük hızlı santrifüjasyon konseptinin (low-speed centrifugation concept, LSCC) daha iyi anlaşılması ve PRF'nin optimize edilmesi amacıyla santrifüj hızları azaltıldığında, pıhtılaşmamış, sıvı formda bir PRF elde edilebildiği gözlemlenmiştir. Bu sıvı PRF tabakası, henüz fibrine dönüşmemiş sıvı fibrinojen ve trombin içermekteydi ve bu yapı enjekte edilebilir PRF (injectable PRF, i-PRF) olarak adlandırıldı.

Doğru şekilde kullanıldığında klinisyen, bu sıvı PRF tabakasını hızlı bir şekilde elde ederek pıhtılaşmadan önce defekt bölgesine enjekte edebilmektedir. Bu uygulamanın, enjeksiyon sonrasında pıhtılaşabilmesi ve PRP'ye kıyasla büyüme faktörlerini daha yavaş ve daha kademeli şekilde serbest bırakabilmesi sayesinde yara iyileşmesini daha iyi desteklediği gösterilmiştir. Son yıllarda i-PRF'nin periodontal dokular üzerindeki potansiyel etkilerine yönelik deneysel ve klinik araştırmaların sayısı artmıştır. Özellikle gingival kalınlığın ve keratinize doku miktarının artırılması, periodontal plastik cerrahi uygulamaları, intrabony defektlerin rejenerasyonu ve yumuşak doku iyileşmesi gibi farklı klinik durumlarda i-PRF'nin kullanımı araştırılmıştır. Bununla birlikte, elde edilen sonuçların kullanılan santrifüj protokolü, relatif santrifüj kuvveti, santrifüj süresi, uygulama şekli ve eşlik eden biyomateriyaller gibi birçok faktörden etkilenebilmesi, i-PRF'nin standartlaştırılması ve klinik etkinliğinin daha iyi tanımlanması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Güncel literatür, i-PRF'nin umut verici bir biyolojik yardımcı materyal olduğunu gösterse de farklı klinik endikasyonlarda uzun dönemli ve standardize edilmiş randomize kontrollü çalışmaların gerekliliğine dikkat çekmektedir. (Miron et al., 2024)

Bu bölümde, trombosit konsantrasyonlarının temel biyolojik özelliklerinden başlanarak PRP ve PRF'nin gelişimi, PRF'nin farklı modifikasyonları ve özellikle i-PRF'nin hazırlanma prensipleri, biyolojik özellikleri ve etki mekanizmaları ele alınacaktır. Bunun devamında i-PRF'nin periodontolojideki güncel kullanım alanları ve mevcut klinik kanıtlar

değerlendirilerek, bu biyomateryalin periodontal tedavideki potansiyeli ve mevcut sınırlılıkları güncel literatür doğrultusunda ortaya konulacaktır.

2. TROMBOSİT KONSANTRELERİ

Periodontitis, disbiyotik subgingival biyofilm ve konak bağışıklık yanıtının yönlendirdiği; periodontal ligament, sement ve alveol kemiğinde geri dönüşü olmayan yıkıma neden olan kronik inflamatuvar bir hastalıktır. Periodontal rejenerasyonun sağlanabilmesi için son dönemde otolog trombosit konsantrelerine olan ilgi artmıştır. Çünkü aktive trombositlerden salınan büyüme faktörleri hücre göçünü ve matriks sentezini uyarırken, oluşan fibrin yerel bir iskele sağlayarak yarayı stabilize eder ve mediyatörleri bölgede tutar. Bu özellikleri trombosit konsantrelerinin periodontolojide kemik içi defektler, furkasyon defektleri, diş eti çekilmesi ve çekim soketlerinin tedavisi gibi birçok alanda kullanımını sağlamıştır.

Trombositler doku hasarına hızla yanıt vererek hemostatik tıkaçın oluşumuna katılır ve alfa granüllerinden trombosit kaynaklı büyüme faktörü (PDGF), dönüştürücü büyüme faktörü-beta (TGF- β), vasküler endotelyal büyüme faktörü (VEGF), insülin benzeri büyüme faktörü (IGF) ve epidermal büyüme faktörü (EGF) gibi biyolojik olarak aktif mediyatörler salgılar. Bu mediyatörler birlikte hücre göçünü, proliferasyonu, matriks sentezini ve anjiyogenezi destekler. Herhangi bir trombosit konsantresinin biyolojik etkinliği; trombosit yoğunluğu, fibrin mimarisi, büyüme faktörlerinin salınma kinetiği, lökosit içeriği ve yaranın yerel ortamına bağlıdır.

Büyüme faktörü	Temel biyolojik rol	Periodontal rejenerasyondaki önemi
PDGF	Fibroblast göçü ve proliferasyonu; kollajen sentezi	Bağ dokusu onarımı ve periodontal ligament iyileşmesi
TGF- β	Hücre dışı matriks üretimi; hücresel farklılaşma	Doku olgunlaşması ve inflamasyonun düzenlenmesi
VEGF	Anjiyogenez; endotelyal hücre göçü	Rejenerasyon bölgesinin kanlanması
IGF	Hücre proliferasyonu ve matriks sentezi	Yumuşak doku ve kemik iyileşmesine destek
EGF	Epitel hücresi göçü; yumuşak doku kapanması	Yara örtülmesi ve erken epitel onarımı

Tablo 1. Trombositlerden salınan başlıca büyüme faktörleri ve periodontal rejenerasyonla ilişkileri. (Miron et al., 2024)

2.1 Trombosit Konsantrelerinin Sınıflandırılması

Trombosit konsantreleri; hazırlama yöntemi, antikoagülan kullanımı, fibrin mimarisi ve hücresel bileşim temelinde sınıflandırılır. Her preparatın kendine özgü biyolojik ve mekanik özellikleri klinik davranışını etkileyebilir.

2.1.1 Trombositten Zengin Plazma (PRP)

PRP, antikoagülan eklenmiş venöz kandan hazırlanan birinci nesil konsantredir ve trombin veya kalsiyum klorürle dışarıdan aktivasyon gerektirir. Kemik greftleri ve bariyer membranlarla birlikte sıvı veya jel formunda uygulanabilir.

2.1.2 Trombositten Zengin Fibrin (PRF)

PRF, yeni alınmış venöz kanın antikoagülan kullanılmadan hemen santrifüj edilmesiyle, çoğunlukla tek santrifüj aşaması kullanılarak hazırlanır. Santrifüj hızı, bağıl santrifüj kuvveti, süre, rotor tasarımı ve tüp materyali sistemler arasında değişir ve son pıhtının biyolojik özelliklerini etkiler. PRF membran haline getirilebilir, defekt içine yerleştirilebilir veya greft partikülleriyle karıştırılabilir. Periodontal rejenerasyonda en yaygın uygulanan trombosit konsantrelerinden biridir. (Verma et al., 2026)

Trombositten zengin fibrin (PRF) olarak adlandırılan bu ikinci nesil konsantre, PRP'ye kıyasla daha hızlı ve daha iyi iyileşme sağlamış; birçok çalışma PRP'ye göre daha optimize yara iyileşmesi bildirmiştir. PRP'nin avantajlarından biri sıvı yapıda olmasıdır. Bu özellik, PRP'nin çeşitli kemik biyomateriyalleriyle, özellikle kemik grefti materyalleriyle kolayca kombine edilmesine veya osteoartritik eklem tedavileri gibi işlemlerde enjekte edilebilir rejeneratif ajan olarak kullanılmasına olanak tanır. Bununla birlikte antikoagülan kullanımı nedeniyle PRP'nin rejeneratif potansiyeli tam olarak optimize edilememektedir. Pıhtılaşma iyileşmenin önemli bir basamağıdır ve PRP hazırlanırken antikoagülanların kullanılması rejeneratif potansiyelin en üst düzeye çıkarılmasını engeller. (Miron et al., 2024)

2.1.3 Enjekte Edilebilir Trombositten Zengin Fibrin (i-PRF)

i-PRF, fibrin polimerizasyonu başlamadan önce sıvı form elde etmek amacıyla çok düşük hızda ve kısa süreli santrifüj uygulanarak hazırlanır. Elde edilen ürün, greft materyaliyle karıştırıldığında “yapışkan kemik” (sticky bone) olarak adlandırılan, bütünlüğü olan ve şekillendirilebilen bir kütle oluşturabilir. Bu özellik, greftin kullanımını kolaylaştırabilir ve düzensiz defektlerde partiküllerin yer değiştirmesini azaltabilir. (Verma et al., 2026)

PRF varyantlarının çoğu yoğun matriksler oluşturur ve enjekte edilemez; bunun istisnası sıvı formda elde edilen i-PRF'dir. i-PRF, 10 mL tam kanın antikoagülan eklenmeden 700 rpm (60 g RCF) hızında 3 dakika santrifüj edilmesiyle hazırlanabilir. Bu amaçla sade cam yerine plastik tüpler kullanılır; çünkü plastik, sade cam kadar trombosit aktivasyonuna neden olmaz. Böylece antikoagülan kullanmadan sıvı formdaki PRF elde edilebilir.

2.1.4 İleri Trombositten Zengin Fibrin (A-PRF)

A-PRF, geleneksel PRF'ye kıyasla daha düşük bağıl santrifüj kuvveti ve daha uzun santrifüj süresiyle hazırlanır. Bu yaklaşım, fibrin matriksi içinde lökositlerin ve büyüme faktörlerinin tutulmasını artırmayı amaçlar. Bununla birlikte, yeterli örneklem büyüklüğüne sahip karşılaştırmalı çalışmalarla geleneksel PRF'ye klinik üstünlüğü henüz doğrulanmamıştır.

2.1.5 Titanyumla Hazırlanmış Trombositten Zengin Fibrin (T-PRF)

T-PRF geleneksel PRF'ye benzer bir hazırlama protokolünü izler ancak cam tüpler yerine titanyum tüpler kullanılır. Bu farklılık fibrin mimarisini ve biyouyumluluğu etkileyebilir. Periodontal rejenerasyonda T-PRF'ye ilişkin klinik kanıtlar sınırlıdır, standart PRF'ye üstünlüğü gösterilmeden önce randomize çalışmalara ihtiyaç vardır.

2.1.6 i-PRF'nin Biyolojik Özellikleri

Klinik uygulamalardaki yararlı etkileri temelinde, i-PRF'nin PRP'ye kıyasla rejeneratif potansiyelini değerlendirmek üzere çok sayıda prelinik ve klinik çalışma yürütülmüştür. Bu çalışmalarda PRP'deki büyüme faktörü salınımının genellikle ilk saat içinde tamamlandığını, buna karşılık enjekte edilebilir PRF'de, PRF'ye benzer şekilde zaman içerisinde çok daha kademeli bir büyüme faktörü salınımı olduğunu göstermiştir. Ayrıca i-PRF, birçok çalışmada ayrıntılı biçimde incelenmiş olan PRF'ye benzer rejeneratif özelliklere sahiptir. Yakın tarihli çalışmalar i-PRF'nin makrofaj polarizasyonunu proinflamatuvar M1 fenotipinden inflamasyonun çözülmesini destekleyen M2 fenotipine yönlendirebildiğini de göstermiştir. Makrofajlar iyileşme sürecinde son derece önemli hücrelerdir ve proinflamatuvar M1 veya çözülme destekleyen M2 belirteçlerinin salgılanmasına katılabilirler. Bu durum PRF'nin güçlü antiinflamatuvar aktiviteye sahip olduğu sonucunu ortaya koymaktadır.

Osteojenik farklılaşma açısından i-PRF, PRP ve kontrollere kıyasla anlamlı derecede daha yüksek ALP aktivitesi ve daha fazla mineralize nodül oluşumu sağlamıştır. LPS inflamasyon oluşturduğunda p65 ekspresyonu artmış, i-PRF eklenmesi ise bu ekspresyonu azaltmıştır. IL-1 β ve TNF- α gibi diğer inflamasyon belirteçleri de anlamlı biçimde baskılanmıştır. i-PRF, inflamatuvar ortamda kültüre edilen hPDLC'lerin osteojenik farklılaşmasını da desteklemiştir. Bu bulgular, i-PRF'nin antiinflamatuvar etkisinin ve rejeneratif potansiyelinin LPS'nin oluşturduğu negatif inflamatuvar etkiyi dengeleyebileceğini göstermektedir.

i-PRF'nin anjiyogenez ve yara iyileşmesine katkısı değerlendirilmiştir. i-PRF'nin yara iyileşmesiyle ilişkili PDGF-BB, ICAM-1 ve E-selektin gibi faktörleri artırdığı; proanjiyogenik ve büyüme faktörleri VEGF, BMP2 ve ALP'yi yukarı regüle ettiği gösterilmiştir. Ağız

boşluğundaki yara iyileşmesinde i-PRF kullanımını inceleyen klinik çalışmalarda damak yarasının epitelyalizasyonunun daha yüksek, kanama ve ağrı skorlarının daha düşük olduğu bildirilmiştir. Ayrıca semptomatik oral liken planusta i-PRF enjeksiyonlarının klinik iyileşme sağladığı gösterilmiştir. Internal inflamatuvar kök rezorpsiyonu olan hastalarda da klinik ve radyografik iyileşmeler bildirilmiştir. Ek olarak çeşitli çalışmalar i-PRF'nin periodontal ve karyojenik patojenlere karşı antimikrobiyal etkinlik gösterebildiğini ortaya koymuştur. (Barakat, 2026)

3. TROMBOSİTTEN ZENGİN FİBRİNİN OPTİMİZASYONU

Trombositten zengin plazma (PRP) ve trombositten zengin fibrin (PRF) dâhil olmak üzere trombosit konsantreleri, otolog büyüme faktörlerini hızla salabilmeleri ve böylece yara iyileşmesini hızlandırabilmeleri nedeniyle yaklaşık otuz yıldır rejeneratif tıpta kullanılmaktadır. Yıllar içinde PRF üretimini optimize etmeye yönelik birçok gelişme yaşanmıştır. Bununla birlikte, çok sayıda klinisyen temel ilkeleri yeterince bilmeden farklı laboratuvar santrifüjleri ve tüpler kullanarak PRF hazırlamaktadır. Bu bölüm, klinik sonuçları iyileştirmek için yaygın hataları ve hazırlama sürecinin optimizasyonunu ele almaktadır.

3.1 RPM Ve RCF Bildirimleri Arasındaki Sorunlar

Klinik uygulamada yapılan yaygın hatalardan biri, RPM ile RCF arasındaki farkın yeterince anlaşılmamasıdır. RPM (Revolutions Per Minute), rotorun dakikadaki dönüş sayısını belirtir. RCF (Relative Centrifugal Force) örneğin maruz kaldığı bağıl santrifüj kuvvetini ifade eder. İkisini dönüştürmek için gerekli hesaplamaların bilinmesi önemlidir. Ticari ürünler çevresinde oluşan tartışmalar ve belirsizlikler, uygun santrifüj protokollerinin kullanılmasını güçleştirmiştir. Bir üreticinin belirli bir PRF protokolünü bildirmesi, bu değer yalnızca aynı rotor çapı ve tüp açısına sahip sistemde geçerli olabileceği anlamına gelir. Rotor boyutundaki veya geometrisindeki değişiklikler örneğe uygulanan RCF'yi değiştirir. Bu durum trombositlerin ve büyüme faktörlerinin düzensiz dağılmasına yol açabilir. Bu nedenle, yalnızca RPM bilgisiyle farklı santrifüj cihazlarında aynı ürünün elde edileceği varsayılmamalıdır.

3.2 RCF

Santrifüjün amacı, yoğunluklarına göre tabakaları birbirinden ayırmak için örneğe dairesel hareket sırasında kuvvet uygulamaktır. Temel laboratuvar bilimlerinde bilimsel çalışmalar, RPM yerine RCF değerlerini bildirmeyi tercih eder. RCF kullanılması, laboratuvarın, ülkenin

veya rotor boyutunun farklı olmasına rağmen santrifüj koşullarının yeniden oluşturulabilmesini sağlar. Dönme ekseninden daha uzakta bulunan örnek bölgesi daha yüksek g-kuvvetine maruz kalır.

RCF hesaplaması şu şekilde verilmektedir: $RCF = 11,18 \times r \times (N/1000)^2$

Burada r santimetre cinsinden rotor yarıçapını, N ise dakikadaki devir sayısını (RPM) ifade eder. R yarıçapı arttıkça RCF de artar. Uluslararası bildirimlerde RCF çoğunlukla RCF-max olarak, yani rotor merkezinden tüpün tabanındaki en dış noktaya kadar olan yarıçap üzerinden ifade edilir.

3.3 Düşük Hızlı Santrifüj Yaklaşımı (LSCC)

2000’li yılların başında, iyileşmenin ilk ve önemli aşamalarından biri olan pıhtılaşma sürecini korumak amacıyla PRP hazırlama sürecinde antikoagülan kullanımını ortadan kaldıran PRF ürünleri geliştirilmiştir. İlk PRF biçimlerinden L-PRF’de amaç, pıhtılaşma gerçekleşmeden önce trombosit ve lökositleri eritrositlerden ayırmaktır. Bu protokolda genellikle 10–12 dakikalık santrifüj sonrasında bir PRF pıhtısı oluşur. İlk L-PRF protokolüyle yapılan uzun süreli klinik ve laboratuvar araştırmalarının ardından, yaklaşık 700 g gibi görece yüksek santrifüj kuvvetlerinin lökositlerin büyük bölümünü buffy coat bölgesine (kan santrifüj edildikten sonra üstteki plazma ile alttaki kırmızı kan hücreleri arasında oluşan, trombosit ve lökositlerden zengin ince tabaka) veya tüpün alt kısımlarına yönelttiği gösterilmiştir. Santrifüj hızı ve süresi arttıkça daha fazla hücrenin tüpün altına itilmesi, PRF’nin çoğunlukla üst kısımdan toplanması nedeniyle dezavantaj oluşturabilir. Daha düşük kuvvette (yaklaşık 200 g) hazırlanan A-PRF protokolleri, trombosit ve lökositlerin üst PRF tabakalarında daha dengeli dağılmasını sağlamayı amaçlamıştır. Bu protokollerde büyüme faktörlerinin salınımının ve konsantrasyonunun yaklaşık 10 günlük dönemde PRP veya L-PRF’ye kıyasla daha elverişli olabildiği bildirilmiştir. Başlangıçta 200 g’de 14 dakika olarak tarif edilen A-PRF protokolü daha sonra 8 dakikaya uyarlanmıştır. Kuvvet ve sürenin daha da azaltılmasıyla, henüz fibrine dönüşmemiş sıvı fibrinojen içeren bir plazma tabakası elde edilebildiği fark edilmiş ve bu ürün enjekte edilebilir PRF (i-PRF) olarak adlandırılmıştır. Pıhtılaşma sonrasında fibrin matriksi oluşması nedeniyle, büyüme faktörlerinin PRP’ye kıyasla daha kademeli salınabileceği bilinmektedir. Bu özellik, kemik greftiyle karıştırıldığında “yapışkan kemik” (sticky bone) hazırlanmasına da olanak verir.

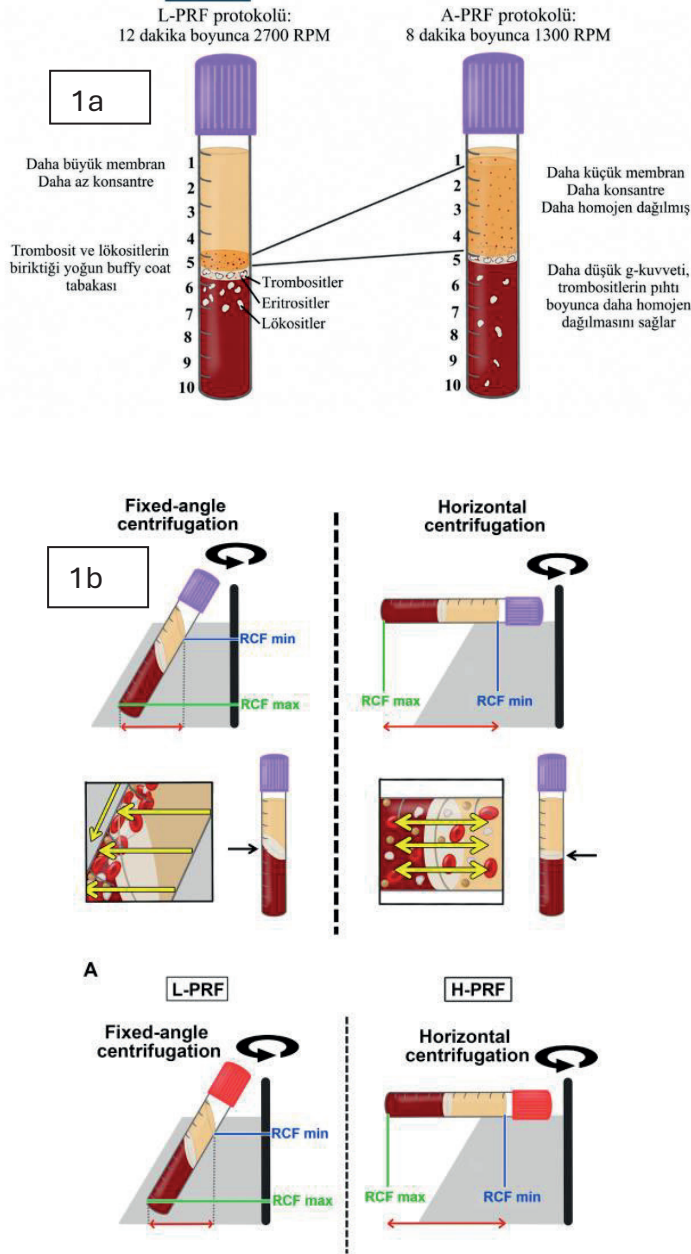
3.4 Sabit Açılı ve Yatay Santrifüjün Karşılaştırılması

PRF hazırlama sürecindeki bir başka önemli gelişme yatay santrifüjün incelenmesidir. Yatay santrifüj, kan tabakalarını yoğunluklarına göre ayırmayı kolaylaştırabilir. Araştırmacıların bildirdiğine göre bu sistem, yaygın sabit açılı cihazlarla karşılaştırıldığında bazı protokollerde hücre konsantrasyonunu, özellikle lökositleri dört kata kadar artırabilmiştir.

Yatay santrifüjleme sırasında, minimum ve maksimum bağıl santrifüj kuvvetleri (RCF-min ve RCF-max) arasındaki farkın daha belirgin olması sayesinde kan tabakaları yoğunluklarına göre daha iyi ayrılır. Sabit açılı sistemlerde tüpler genellikle yaklaşık 45° açıyla yerleştirilir. Kan tabakaları eşit ve düzenli biçimde ayrılmaz bunun sonucunda eğimli bir tabakalaşma meydana gelir. Buna karşılık yatay santrifüjleme, tabakaların daha homojen ayrılmasını sağlar. Yaklaşık $200-700 \times g$ düzeyindeki santrifüj kuvvetleri nedeniyle hücreler dışa ve aşağıya doğru hareket eder. Sabit açılı santrifüjlerde hücreler önce tüplerin arka duvarına doğru itilir, ardından hücre yoğunluklarına bağlı olarak yukarı veya aşağı yönde hareket eder. Hücrelerin tüpün arka duvarı boyunca yoğunluklarına göre ayrılması sırasında oluşan bu kuvvetler, ek kayma gerilimine neden olabilir. Yatay santrifüjleme ise hücrelerin yoğunluklarına uygun tabakalara serbestçe hareket etmesine olanak tanıyarak daha iyi hücresel ayrışma ve daha az mekanik zorlanma sağlar.

3.5 Yatay Santrifüjle Protokollerin Optimizasyonu

Yapılan çalışmalar sonucunda, üst plazma katmanındaki hücreleri dengeli dağıtmak için 700 g'de 8 dakika santrifüjün PRF membranı/pıhtısı açısından uygun bir protokol olduğu bildirilmiştir. Standart i-PRF protokolünün optimize edilmiş bir biçimi olarak 200–300 g'de 5 dakika santrifüj önerilmiştir. Sıvı PRF'de hücre yoğunluğunu daha fazla artırmak için ise 2000 g'de 8 dakika santrifüjle hazırlanan yoğunlaştırılmış PRF (C-PRF) protokolü bildirilmektedir.



Şekil 1a: L-PRF Ve A-PRF Hazırlama Protokollerinin Ve Hücresel Dağılım Özelliklerinin Karşılaştırılması 1b: Sabit Açılı Ve Yatay Santrifüjleme Sistemlerinin PRF Pıhtısının Oluşumu Ve Hücresel Dağılımı Üzerindeki Etkilerinin Şematik Karşılaştırılması (Miron et al., 2024).

3.6 C-PRF Protokolüyle Buffy Coat Tabakasındaki Trombositlerin Artırılması

Hücresel konsantrasyonu artırmak amacıyla her zaman daha düşük santrifüj hızlarının tercih edilmesi gerektiği düşüncesi doğru değildir. Çalışmalarda, hücrelerin buffy coat bölgesinde yoğunlaştırılmasını hedefleyen daha yüksek bağıl santrifüj kuvvetleri (RCF) kullanılarak daha yüksek hücresel konsantrasyonlara ulaşılabildiği bildirilmiştir. Eritrosit tabakasının hemen üzerinde bulunan yaklaşık 0,3–0,5 mL hacmindeki buffy coat fraksiyonunda, standart i-PRF

protokollerinde elde edilen yaklaşık 2–4 katlık artışla karşılaştırıldığında, trombosit ve lökosit konsantrasyonlarında başlangıç değerlerine göre yaklaşık 10 kat artış gözlenmiştir. Bu yöntemle elde edilen preparat, yoğunlaştırılmış trombositten zengin fibrin (C-PRF) olarak adlandırılmıştır. C-PRF'nin daha yüksek büyüme faktörü salınımı ve hücrel aktivite ile ilişkili olduğu bildirilmiştir. Preparatın toplanmasını kolaylaştırmak için öncelikle üstte bulunan trombositten fakir plazma (PPP) tabakasından yaklaşık 4–5 mL'nin uzaklaştırılması, ardından eritrosit tabakasının hemen üzerinde yer alan yaklaşık 0,5–1 mL'lik C-PRF fraksiyonunun alınması önerilmektedir.

3.7 Kimyasal Katkı Eklenmeden Modifiye Edilen Kırmızı Kapaklı Tüpler

PRF üretiminde tüplerin özellikleri son ürünün oluşturulmasında ve kalitesinde önemli etkiye sahiptir. Kırmızı kapaklı tüm tüplerin aynı olduğu düşüncesi doğru değildir. Daha hidrofilik yüzeye sahip tüpler (örneğin düz cam tüpler veya silika kaplı plastik tüpler) katı PRF üretimini destekleyebilirken, daha hidrofobik tüpler (çoğunlukla beyaz veya mavi kapaklı PET plastik tüpler) sıvı PRF hazırlamak için kullanılmaktadır. Hidrofilik yüzeyler kanın tüp yüzeyine temasını, trombosit aktivasyonunu ve pıhtılaşmayı kolaylaştırabilir; hidrofobik yüzeyler ise sıvı formun daha uzun korunmasına yardımcı olabilir. Bununla birlikte bazı ticari tüplerde silika veya silikon gibi katkı maddeleri bulunabilir ve bunların PRF matriksine karışması istenmeyen sonuçlar doğurabilir. Doğal yara iyileşmesinde olduğu gibi PRF pıhtısının oluşumu da kanın tüp yüzeyine temasıyla başlayan endojen pıhtılaşma süreçleriyle ilişkilidir. Bu süreçte Faktör XII'nin aktive olması ve trombositlerin yüzeye tutunup aktive olması bağışıklık hücreleri ve büyüme faktörlerini içeren pıhtının oluşumuna katkı sağlar. Bu nedenle tüp tasarımı, hücrelerin korunması ve son ürünün biyolojik özellikleri açısından önemlidir.

3.8 Trombositten Zengin Fibrinde Isıtma Ve Soğutma: Pıhtılaşma Süresine Etkileri

Fibrin pıhtısı, fibrinojen ve trombinin etkileşimiyle oluşur. Bu enzimatik süreç düşük sıcaklıklarda yavaşlayabilir. Bu nedenle, sıvı PRF tüplerinin Bio-Cool gibi bir soğutma cihazında tutulmasının ürünün sıvı kalma süresini uzatabildiği bildirilmiştir. Albüminin denatürasyon sıcaklığının üzerinde ısıtma gibi farklı yaklaşımlarla PRF'nin rezorpsiyon özelliklerini haftalardan aylara uzatmanın araştırıldığı da belirtilmektedir. (Miron et al., 2024)

4. PRF VE İ-PRF'NİN HAZIRLAMA PROTOKOLLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Trombositten zengin fibrin (PRF) ve enjekte edilebilir trombositten zengin fibrin (i-PRF), antikoagülan eklenmeden hastanın kendi kanından elde edilen trombosit konsantreleridir. Bu

iki preparat arasındaki temel fark, santrifüj koşulları ve işlem sonunda elde edilen ürünün fiziksel formudur. Geleneksel katı PRF hazırlanırken kan, fibrin pıhtısının oluşumunu sağlayan uygun bir tüpte santrifüj edilir; elde edilen pıhtı doğrudan kullanılabilir veya preslenerek membran hâline getirilebilir. i-PRF hazırlanmasında ise santrifüj kuvveti ve süresi, fibrin polimerizasyonu tamamlanmadan sıvı fraksiyonun elde edilmesini sağlayacak şekilde belirlenir. Santrifüj sonrasında sıvı fraksiyon hızla toplanarak pıhtılaşmadan önce enjekte edilir veya kemik grefti materyalleriyle karıştırılır. Preparasyon yöntemlerinin optimizasyonunu inceleyen Miron ve arkadaşları, katı PRF için $700 \times g$ kuvvetinde 8 dakika, i-PRF için ise $200-300 \times g$ kuvvetinde 5 dakika santrifüj uygulanmasını bildirmiştir. (Miron et al., 2024)

Buna karşılık, i-PRF'yi ilk kez deneysel olarak değerlendiren çalışmada 700 rpm (yaklaşık $60 \times g$) kuvvetinde 3 dakikalık bir protokol kullanılmıştır. Bu farklılıklar, i-PRF hazırlama yöntemlerinin zaman içinde geliştirildiğini ve kullanılan santrifüj sistemine göre değişebildiğini göstermektedir. Bu nedenle protokoller karşılaştırılırken yalnızca devir sayısı değil, bağlı santrifüj kuvveti (RCF), santrifüj süresi, rotor özellikleri ve tüp materyali de dikkate alınmalıdır. (Miron et al., 2017)

5. İ-PRF'NİN PERİODONTOL TEDAVİLERDE KULLANIMI

Enjekte edilebilir trombosit zengin fibrin (i-PRF), otolog yapısı ve büyüme faktörlerini kontrollü biçimde salabilme potansiyeli nedeniyle periodontolojide hem cerrahi hem de cerrahi olmayan tedavilere yardımcı biyolojik materyal olarak kullanılmaktadır.

5.1 Cerrahi Olmayan Periodontal Tedavilerde i-PRF Kullanımı

Periodontitisin cerrahi olmayan tedavisinde ideal tedavi yöntemi, diş taşı temizliği ve kök yüzeyi düzleştirmesidir (SRP). Bu mekanik tedavilerin başarı şansını artırmak amacıyla birçok materyal periodontal hastalıkların tedavisinde mekanik tedavilere ek olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda kan konsantrelerinin diş hekimliğinde kullanımı artmıştır. Bu otolog tedavilerin doğal iyileşmeyi desteklediği, doku rejenerasyonunu hızlandırdığı ve tedavi sonrası dönemin hasta açısından daha konforlu geçmesine katkıda bulunduğu bildirilmektedir. Bundan dolayı periodontal hastalıkların tedavisinde i-PRF'nin kullanımı diğer materyallere oranla güncelliğini korumakta ve gelişimini sürdürmektedir.

i-PRF ve PRP'nin periodontal dokular üzerindeki etkisinin karşılaştırıldığı çalışmalarda; her iki materyal yüksek fibroblast canlılığı ve biyouyumluluk göstermiş, ancak i-PRF grubunda TGF- β , PDGF, fibronektin ve tip I kollajen düzeyleri PRP'ye göre anlamlı derecede daha yüksek

bulunmuştur. Ayrıca yüksek santrifüj protokolleriyle buffy coat tabakasından elde edilen sıvı C-PRF'nin i-PRF'ye kıyasla büyüme faktörü salınımını artırdığı ve dişeti fibroblastlarının migrasyonunu, proliferasyonunu, gen ekspresyonunu ve tip I kollajen sentezini belirgin biçimde artırdığı gösterilmiştir. Başka çalışmalar da i-PRF'nin dişeti hücre proliferasyonunu ve osteojenik genleri artırdığını; periodontal ligament hücrelerinin proliferasyon, migrasyon, biyolojik farklılaşma ve mineralizasyonunu desteklediğini göstermiştir. Ayrıca kronik periodontitis hastalarında SRP'ye ek olarak mikroneedling ile i-PRF kombinasyonunun yalnızca mikroneedling uygulamasına kıyasla gingival kalınlığı artırdığı bildirilmiştir. i-PRF kullanılarak “sticky bone” oluşturulan olgularda gingival kalınlık ve keratinize doku genişliğinde artış, periodontal cep ve resesyonlarda azalma bildirilmiştir. (Miron et al., 2024)

Niemczyk ve arkadaşlarının (2024) sistematik derlemesinde yer alan klinik çalışmalarda, SRP işleminin ardından hastanın kendi kanından elde edilen sıvı formdaki i-PRF, periodontal ceplere subgingival enjeksiyon yoluyla uygulanmıştır. Uygulama genellikle periodontal cebin tabanından başlanarak koronale doğru ilerletilmiş ve cep materyalle dolana ya da hafif taşıma meydana gelene kadar sürdürülmüştür. Bazı çalışmalarda i-PRF, interdental bölgeden periodontal cep içerisine uygulanırken, bir çalışmada materyalin bir kısmı cep epitelinin iç yüzeyine, geri kalanı ise gingival sulkusa enjekte edilmiştir. Uygulama protokolleri çalışmalar arasında farklılık göstermiş; tek seanslık uygulamaların yanı sıra tekrarlanan enjeksiyonlar da kullanılmış ve takip süreleri altı hafta ile altı ay arasında değişmiştir. Derlemede değerlendirilen çalışmaların çoğunda, SRP'ye i-PRF eklenmesinin sondalama cep derinliğinde azalma ve klinik ataşman düzeyinde iyileşme ile ilişkili olduğu; bazı çalışmalarda plak indeksi, gingival indeks ve sondalamada kanama gibi klinik parametrelerde de olumlu değişiklikler görüldüğü bildirilmiştir. Ayrıca bir çalışmada, i-PRF uygulaması sonrasında *Porphyromonas gingivalis* miktarında azalma gözlenmiştir. Bununla birlikte, bazı çalışmalarda i-PRF'nin serum fizyolojik uygulamasına kıyasla ek klinik yarar sağlamadığı ve mevcut çalışmaların uygulama yöntemleri bakımından heterojen olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle i-PRF, cerrahi olmayan periodontal tedaviyi destekleyebilecek umut verici bir yaklaşım olarak değerlendirilmekle birlikte, klinik etkinliğinin kesinleştirilmesi ve standart uygulama protokollerinin belirlenmesi için daha fazla kontrollü çalışmaya ihtiyaç vardır. (Niemczyk et al., 2024)

5.2 Cerrahi Periodontal Tedavilerde i-PRF Kullanımı

Enjekte edilebilir trombosit zengin fibrin (i-PRF), otolog yapısı ve içerdiği trombositler, lökositler ve büyüme faktörleri sayesinde periodontal cerrahide doku iyileşmesini ve rejeneratif

süreçleri desteklemek amacıyla kullanılan biyolojik bir materyaldir. Cerrahi periodontal tedavilerde i-PRF'nin başlıca kullanım alanları; diş eti çekilmelerinin tedavisinde koronal ilerletilmiş flep (CAF) ve bağ dokusu grefti (BDG) ile birlikte uygulanması, intrabony periodontal defektlerin rejeneratif tedavisinde kemik greftleriyle birlikte kullanılması, periodontal plastik cerrahide yumuşak doku iyileşmesinin ve greft adaptasyonunun desteklenmesi, keratinize diş eti ve yumuşak doku augmentasyonuna yönelik girişimler ve cerrahi bölgedeki yara iyileşmesi ile anjiyogenezin desteklenmesidir.

5.2.1 Diş Eti Çekilmelerinin Tedavisinde i-PRF Kullanımı

Diş eti çekilmelerinin tedavisinde uygulanan periodontal plastik cerrahinin temel hedefleri, kök yüzeyinin tamamen örtülmesi ve en iyi estetik sonucun elde edilmesidir. Kök örtülmesi işlemlerinde altın standart, koronal ilerletilen flebin (CAF) bağ dokusu grefti (CTG) ile birlikte kullanılmasıdır. CAF öngörülebilir bir kök örtülmesi yöntemi olsa ve CTG tam kök örtülmesi olasılığını artırabilse de CAF + CTG sonrasında tam kök örtülmesi oranlarının %18,1 ile %86 arasında değiştiği ve kaybedilmiş ataşman aparatının rejenerasyonunun sınırlı kaldığı bildirilmiştir. Bu nedenle iyileşme sonuçlarını geliştirmek amacıyla doku rejenerasyonunu uyaran çeşitli materyaller kullanılmaktadır. Periodontal plastik cerrahide doku rejenerasyonunu desteklemek amacıyla büyüme faktörlerinden zengin plazma kullanımı önerilmiştir.

CTG prosedürlerinde PRF iki şekilde uygulanabilir: yumuşak doku iyileşmesini desteklemek amacıyla greftin yüzeyini kaplayabilir veya periost ya da alveoler kemikle yakın teması sağlamak amacıyla greftin altına yerleştirilebilir. Serbest diş eti greftinin iyileşmesine ilişkin histolojik araştırmalar, greftin başlangıçtaki yaşamsallığının komşu fleplerden gelen avasküler plazmatik dolaşıma, ardından kapillerlerin büyümesine ve alıcı yatak ile nakledilen doku arasındaki damar anastomozlarının oluşmasına bağlı olduğunu göstermektedir. Bu nedenle kalın bir fibrin matriksi biçimindeki PRF membranı, CTG'nin yeniden damarlanması ve iyileşmesi için gerekli yan dolaşımı kısıtlama potansiyeline sahiptir. Sıvı protein konsantresi içeren i-PRF, endotel hücrelerinin dokuya katılımını ve iyi organize olmuş kapiller ağın hızlı oluşumunu destekleyerek yeniden damarlanmayı hızlandırabilir; böylece fibrin matriksi biçimindeki PRF uygulamasının olası dezavantajlarını azaltabilir. i-PRF jeli CTG için üç boyutlu bir iskele veya kılıf olarak kullanıldığında, greft ile flebin iç yüzeyi arasında damar oluşumunu ve büyüme faktörü aktarımını hızlandırabilir. Büyüme faktörleri fibroblastların ve epitel hücrelerinin mitozunu artırarak bağ dokusu ataşmanın ve uzun birleşim epitelinin oluşumunu destekleyebilir. Bu süreçlerin greftin erken iyileşme dönemindeki stabilitesine katkı sağlaması olasıdır ancak bu mekanizmaların histolojik çalışmalarla doğrulanması gerekir.

Çalışmalar CAF + CTG + i-PRF tekniğinin CAF + CTG ile karşılaştırıldığında derin Miller Sınıf I/II kesici diş çekilmelerinde keratinize doku yüksekliğini artırma ve çekilme derinliğini azaltma bakımından ek yarar sağladığını göstermiştir. Ayrıca PRF'nin erken yara iyileşmesi sırasında proinflamatuvar sitokinleri, matriks metalloproteinazları (MMP) ve MMP inhibitörlerini düzenleyerek olumlu bir iyileşme sürecine katkıda bulunabileceği bildirilmiştir. (Ucak Turer et al., 2020)

5.2.2 Kemik Rejenerasyonunda i-PRF Kullanımı

Periodontitis, dental plak biyofilmleriyle ilişkili kronik inflamatuvar bir hastalıktır. Tedavi edilmediğinde dişleri destekleyen dokuların ilerleyici yıkımına ve kemik içi periodontal defektlerin oluşmasına yol açar. Bu defektler hastalığın ilerlemesi açısından risk oluşturur, tedavileri dişlerin prognozunu iyileştirebilir. Bu amaçla bariyer membranlar, mine matriks türevleri, kemik greftleri ve büyüme faktörü konsantreleri gibi farklı periodontal yaklaşımlar önerilmiştir.

i-PRF'nin kemik greftleriyle karıştırılması sonucunda, büyüme ve farklılaşma faktörleri açısından zengin, jel kıvamında fibrin-greft karışımı elde edilebilir. “Yapışkan kemik” (sticky bone) olarak adlandırılan bu karışımın greftin biyolojik özelliklerini, kullanım kolaylığını ve stabilitesini artırabileceği ileri sürülmüştür. i-PRF'nin büyüme faktörleri ve fibrin ağı sayesinde periodontal hücre adezyonunu, osteoprogenitör hücrelerin seçilimini, osteoblast canlılığını, tutunmasını, çoğalmasını ve farklılaşmasını destekleyebileceği; kemik rejenerasyonunu teşvik ederken epitel kaynaklı yumuşak doku girişini azaltabileceği düşünülmektedir. Ayrıca gelişmiş şekillendirilebilirlik, defekte uyum ve stabilizasyon özelliklerinin greftin mikro ve makro hareketliliğini azaltarak yara iyileşmesi ve rejenerasyona katkı sağlayabileceği öne sürülmüştür. i-PRF'nin fibrin içeriği hücre adezyonu ve göçünü destekleyebilir, cerrahi flebin stabilizasyonuna katkıda bulunabilir ve büyüme/farklılaşma faktörlerini cerrahi bölgeye taşıyarak anjiyogenez, epitelizasyon ve yumuşak doku iyileşmesini destekleyebilir. (Alshoiby et al., 2023)

İn vitro çalışmalar i-PRF'nin osteoblast proliferasyonu, farklılaşması ve mineralize nodül üretimi açısından PRP, A-PRF, L-PRP ve liyofilize homolog PRP'ye göre daha iyi biyolojik özellikler gösterebildiğini ortaya koymuştur. i-PRF kemik grefti materyallerine eklendiğinde insan osteoblastlarının özellikleri de iyileşmiştir. Katı PRF parçaları + sıvı PRF + sığır kaynaklı kemik grefti kombinasyonunun, PRF parçaları veya yalnızca i-PRF içeren greftlere göre daha hızlı katılaşma ve daha yüksek degradasyon direnci gösterdiği bildirilmiştir. Elektron mikroskopisi ve gerilme dayanımı testleri, kombinasyonun mekanik özelliklerinin daha üstün

olduğunu; ayrıca en yüksek osteoblast migrasyonu ve osteojenik farklılaşmayı sağladığını göstermiştir. Hayvan çalışmalarında i-PRF'nin sinüs augmentasyonunda maksiller kemik rejenerasyonunu artırabildiği ve çekim soketlerinde biyomateryal ile kombinasyonunun anjiyogenezi ve woven bone oluşumunu artırırken osteoklast aktivitesini azalttığı bildirilmiştir. Klinik çalışmalar sinüs greftleme, horizontal kret augmentasyonu, implant yerleştirilmesi, alveoler yarık tedavisi ve GBR gibi uygulamalarda olumlu sonuçlar bildirmiştir. i-PRF'nin kemik greftlerinde raporlanan önemli avantajlarından biri greft materyalinin manipülasyonunu kolaylaştırmasıdır. (Miron et al., 2024)

6. i-PRF'NİN PERİODONTOLOJİDE KULLANIMINDA SINIRLILIKLAR

Periodontolojide enjekte edilebilir trombosit zengin fibrinin (i-PRF) kullanımına ilişkin başlıca sınırlılıklar, mevcut klinik kanıtların kısıtlılığı ve uygulama protokollerindeki heterojenlik ile ilişkilidir. Çalışmalar arasında santrifüj kuvveti, santrifüj süresi, hazırlama yöntemleri, uygulama seanslarının sayısı ve değerlendirme ölçütleri bakımından farklılıklar bulunması, sonuçların karşılaştırılmasını ve standart bir klinik protokol oluşturulmasını güçleştirmektedir. (Choukroun & Ghanaati, 2018)

Ayrıca, mevcut klinik çalışmaların bir bölümünde örneklem büyüklüklerinin sınırlı ve takip sürelerinin kısa olması, i-PRF'nin uzun dönem etkinliği ve klinik sonuçların öngörülebilirliği hakkında kesin yargılara ulaşılmasını engellemektedir. Periodontal rejenerasyon alanındaki sistematik derlemelerde, i-PRF'nin bazı klinik parametrelerde iyileşme sağlayabildiği bildirilmekle birlikte, bu etkinin tüm parametreler açısından tutarlı ve istatistiksel olarak anlamlı olmadığı gösterilmiştir (Pullishery ve ark., 2024).

Benzer şekilde, dişeti fenotipinin modifikasyonuna ilişkin kanıtların düşük ile orta düzey arasında değişen kesinliği, elde edilen olumlu sonuçların dikkatli yorumlanması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle i-PRF'nin periodontal tedavideki etkinliğini daha net ortaya koyabilmek için daha geniş örneklemli, iyi tasarlanmış randomize kontrollü klinik çalışmalara, standartlaştırılmış hazırlama ve uygulama protokollerine ve uzun dönem takip verilerine ihtiyaç vardır. (Idris ve ark., 2024).

7. i-PRF'NİN PERİODONTOLOJİDE KULLANIMINDA GELECEĞE BAKIŞ

Periodontolojide enjekte edilebilir trombosit zengin fibrinin (i-PRF) gelecekteki kullanımının, biyolojik özelliklerinin daha iyi anlaşılması ve klinik uygulama protokollerinin standardize edilmesiyle birlikte gelişmesi beklenmektedir. Özellikle santrifüj parametrelerinin, hazırlama koşullarının ve uygulama yöntemlerinin optimize edilmesi, elde edilen ürünün

biyolojik içeriğinin ve klinik sonuçların daha öngörülebilir hâle getirilmesine katkı sağlayabilir (Miron ve ark., 2024).

Dişeti fenotipinin modifikasyonu, dişeti çekilmelerinin tedavisi ve periodontal intrabony defektlerin rejenerasyonu gibi alanlarda i-PRF'nin farklı greft materyalleri ve cerrahi tekniklerle birlikte kullanımının araştırılması, hangi klinik endikasyonlarda daha fazla yarar sağlayabileceğinin belirlenmesi açısından önem taşımaktadır. (Idris ve ark., 2024) Bunun yanı sıra, i-PRF'nin büyüme faktörleri, antibakteriyel ajanlar, eksozomlar ve diğer biyolojik moleküllerin kontrollü salımını sağlayabilecek bir taşıyıcı sistem olarak geliştirilmesi, rejeneratif periodontal tedaviler açısından yeni araştırma olanakları sunmaktadır. (Miron ve ark., 2024)

Bununla birlikte, bu yaklaşımların önemli bir bölümü ileri araştırma gerektiren potansiyel uygulamalardır ve rutin klinik kullanımdaki etkinlikleri henüz kesinleşmemiştir. Dolayısıyla gelecekte yürütülecek araştırmaların yalnızca klinik iyileşmeyi değil, uzun dönem doku stabilitesini, hasta odaklı sonuçları ve i-PRF'nin mevcut tedavi seçeneklerine sağladığı ek katkıyı da değerlendirmesi gerekmektedir. Daha geniş örneklemli randomize kontrollü çalışmalar ve uzun takip süreleri, i-PRF'nin periodontal tedavideki gerçek klinik değerinin belirlenmesinde temel rol oynayacaktır.

Kaynakça

1. Albert, J., & Brown, A. (2026). Platelet Products And Artificial Platelets For Regenerative Medicine. *Transfusion Medicine And Hemotherapy*. <https://doi.org/10.1159/000553404>
2. Alshoiby, M. M., Fawzy El-Sayed, K. M., Elbattawy, W., & Hosny, M. M. (2023). Injectable platelet-rich fibrin with demineralized freeze-dried bone allograft compared to demineralized freeze-dried bone allograft in intrabony defects of patients with stage-III periodontitis: a randomized controlled clinical trial. *Clinical Oral Investigations*, 27(7), 3457–3467. <https://doi.org/10.1007/s00784-023-04954-y>
3. Barakat, S. O., Alhawamdeh, N. I., & Marar, R. (2026). Preparation Protocols And Periodontal Applications Of Platelet Rich Fibrin, A Review [Mini Review]. *Frontiers In Dental Medicine, Volume 7 - 2026*. <https://doi.org/10.3389/Fdmed.2026.1810175>
4. Chakraborty, R., Shenoy, N., & Bhandary, R. (2026). Quantum Dots In Periodontology: Emerging Promise And Translational Challenges [Mini Review]. *Frontiers In Dental Medicine, Volume 7 - 2026*. <https://doi.org/10.3389/Fdmed.2026.1871912>
5. Choukroun, J., & Ghanaati, S. (2018). Reduction of relative centrifugation force within injectable platelet-rich-fibrin (PRF) concentrates advances patients' own inflammatory cells, platelets and growth factors: the first introduction to the low speed centrifugation concept. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*, 44(1), 87–95. <https://doi.org/10.1007/s00068-017-0767-9>
6. Idris, M. I., Burhan, A. S., Hajeer, M. Y., Sultan, K., & Nawaya, F. R. (2024). Efficacy of the injectable platelet-rich fibrin (i-PRF) in gingival phenotype modification: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *BMC Oral Health*, 24(1), 1331. <https://doi.org/10.1186/s12903-024-05109-5>
7. Miron, R. J., Fujioka-Kobayashi, M., Sculean, A., & Zhang, Y. (2024). Optimization of platelet-rich fibrin. *Periodontol 2000*, 94(1), 79–91. <https://doi.org/10.1111/prd.12521>
8. Miron, R. J., Fujioka-Kobayashi, M., Hernandez, M., Kandalam, U., Zhang, Y., Ghanaati, S., & Choukroun, J. (2017). Injectable Platelet Rich Fibrin (I-PRF): Opportunities In Regenerative Dentistry? *Clin Oral Investig*, 21(8), 2619–2627. <https://doi.org/10.1007/S00784-017-2063-9>
9. Miron, R. J., Gruber, R., Farshidfar, N., Sculean, A., & Zhang, Y. (2024). Ten Years Of Injectable Platelet-Rich Fibrin. *Periodontology 2000*, 94(1), 92–113. <https://doi.org/10.1111/Prd.12538>

10. Niemczyk, W., Janik, K., Żurek, J., Skaba, D., & Wiench, R. (2024). Platelet-Rich Plasma (PRP) and Injectable Platelet-Rich Fibrin (i-PRF) in the Non-Surgical Treatment of Periodontitis—A Systematic Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(12), 6319.
11. Ogutcen, O., Demir, N., & Sen, D. (2026). Association Between Smoking And Periodontitis Severity In Patients Attending A Periodontology Clinic: A Cross-Sectional Study. *BMC Oral Health*, 26(1), Article 1695. <https://doi.org/10.1186/S12903-026-08967-3>
12. Pullishery, F., Hussein Alattas, M., Roshdy Abdelrasoul, M., Fouad Hassan, A., Abdelhamid Ahmed Derbala, D., & Hashir, S. (2024). Effectiveness of i-PRF in periodontal regeneration - A systematic review and meta-analysis. *Saudi Dent J*, 36(2), 214–221. <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2023.10.017>
13. Tonetti, M. S., Bottenberg, P., Conrads, G., Eickholz, P., Heasman, P., Huysmans, M.-C., López, R., Madianos, P., Müller, F., Needleman, I., Nyvad, B., Preshaw, P. M., Pretty, I., Renvert, S., Schwendicke, F., Trombelli, L., Van Der Putten, G.-J., Vanobbergen, J., West, N.,...Paris, S. (2017). Dental Caries And Periodontal Diseases In The Ageing Population: Call To Action To Protect And Enhance Oral Health And Well-Being As An Essential Component Of Healthy Ageing – Consensus Report Of Group 4 Of The Joint EFP/ORCA Workshop On The Boundaries Between Caries And Periodontal Diseases. *Journal Of Clinical Periodontology*, 44(S18), S135–S144. <https://doi.org/10.1111/Jcpe.12681>
14. Ucak Turer, O., Ozcan, M., Alkaya, B., Surmeli, S., Seydaoglu, G., & Haytac, M. C. (2020). Clinical evaluation of injectable platelet-rich fibrin with connective tissue graft for the treatment of deep gingival recession defects: A controlled randomized clinical trial. *J Clin Periodontol*, 47(1), 72–80. <https://doi.org/10.1111/jcpe.13193>
15. Verma, V., Kunnaiah, R., Ahmed, M. K., Shamas, A., Pujara, M., Dany, S. S., Naaz, R., & Bhatti, N. (2026). Platelet Concentrates In Periodontal Regeneration: A Review Of Current Evidence And Clinical Perspectives. *Cureus*, 18(7), E113341. <https://doi.org/10.7759/Cureus.113341>

BÖLÜM 3

DİŞ ÇEKİMİ SONRASI ALVEOLAR KRETİN ÜÇ BOYUTLU KORUNMASINDA GÜNCEL YAKLAŞIMLAR

Fidan GULİYEVA¹

¹ Araştırma görevlisi, Erciyes Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Periodontoloji Ana Bilim Dalı, ORCID: 0009-0000-5607-1383

1. Giriş

Diş çekimi sonrasında alveolar kemikte başlayan fizyolojik iyileşme ve yeniden şekillenme süreci, çekim bölgesinin morfolojisinde zamanla belirgin değişikliklere yol açmaktadır. Bu süreçte özellikle vestibüler kemik duvarının etkilenmesiyle birlikte alveolar kretin hem genişliğinde hem de yüksekliğinde azalma meydana gelmektedir. Çekim sonrası bu değişikliklerin erken iyileşme döneminde daha belirgin olduğu ve horizontal boyuttaki kaybın çoğu zaman vertikal kayıptan daha fazla olduğu bildirilmektedir (Couso-Queiruga et al., 2021; Tan et al., 2012). Dolayısıyla, çekim socketinin spontan iyileşmeye bırakılması, kretin başlangıçtaki morfolojisinin tamamen korunmasını her zaman sağlayamamaktadır.

Alveolar kretin çekim sonrasında geçirdiği bu yapısal değişiklikler, özellikle ileride implant cerrahisi uygulanması planlanan bölgelerde önemli klinik sonuçlar doğurabilmektedir. Kret genişliği veya yüksekliğindeki yetersizlik, implantın ideal üç boyutlu konumlandırılmasını güçleştirebilmekte ve bazı olgularda implant cerrahisi öncesinde ek kemik artırma işlemlerine ihtiyaç duyulmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle, çekim ile implantasyon arasındaki iyileşme döneminde mevcut kemik hacminin korunması, günümüzde implant öncesi tedavi planlamasının önemli bileşenlerinden biri olarak değerlendirilmektedir (Avila-Ortiz et al., 2019).

Alveolar kret değişikliklerini sınırlandırmak amacıyla klinik uygulamada farklı cerrahi yöntemler ve biyomateriyallerden yararlanılmaktadır. Atravmatik çekim yaklaşımının yanı sıra kemik greftleri, bariyer membranları, platelet konsantreleri ve biyolojik olarak aktif ajanların tek başına veya çeşitli kombinasyonlarda kullanımı incelenmiştir. Mevcut literatür, alveolar kret koruma uygulamalarının spontan iyileşmeye kıyasla çekim sonrası meydana gelen boyutsal kaybı azaltabildiğini göstermektedir. Bununla birlikte, elde edilen klinik sonuçların kullanılan materyalin özellikleri, uygulama tekniği ve değerlendirme yöntemine göre farklılık gösterebildiği bildirilmektedir (Avila-Ortiz et al., 2019; MacBeth et al., 2017).

2. Diş Çekimi Sonrası Alveolar Krette Meydana Gelen Değişiklikler

Diş çekimi en sık yapılan dental işlemlerinden biridir. Çekimi takiben alveolar kemik ve yumuşak doku yeniden şekillenmesi normal fizyolojik bir yanıttır. Bununla birlikte, iyileşme sırasında gerçekleşen rezorpsiyonun yeniden kemik oluşumundan daha hızlı gerçekleşmesi, kret boyutlarında belirgin değişikliklere neden olabilmektedir (MacBeth et al., 2017). İlk üç

aylık erken iyileşme döneminde alveolar kretin bukkal-lingual boyutunda yaklaşık %50 oranında azalma meydana geldiği bildirilmiştir. Bu boyutsal kaybın, premolar bölgelere göre molar bölgelerde ve maksillaya kıyasla mandibulada daha yüksek düzeyde olduğu gözlenmiştir (Schropp et al., 2003).

Çekim sonrasında alveolar kretin bukkal duvarında meydana gelen rezorpsiyonun, lingual ve palatal duvarlara kıyasla daha yüksek düzeyde olduğu bildirilmektedir. Bukkal bölgedeki bu baskın kemik kaybı, alveolar kretin zaman içerisinde lingual veya palatal yöne doğru yer değiştirmesine neden olabilmektedir. Bunun sonucunda kretin hem horizontal hem de vertikal boyutunda azalma meydana gelerek daha dar ve daha düşük bir morfoloji ortaya çıkmaktadır.(Van der Weijden et al., 2009)

Diş çekiminin ardından, yalnızca kemik yapısı değil, aynı zamanda yumuşak dokular da yeniden şekillenmektedir. Soket girişi başlangıçta açık olduğundan doku onarımı sekonder iyileşme mekanizması ile gerçekleşir. İlerleyen haftalarda hücresel proliferasyonun artmasıyla yumuşak doku hacmi artar ve soket girişi epitelizeasyonla kapanır. Bu dönemde mukozal konturlarda gözlenen değişikliklerin , altındaki alveoler kemiğin morfolojisinde meydana gelen değişimlerle yakından ilişkili olduğu bildirilmektedir(TARNOW et al., 1996).

Çekim sonrası alveolar kemik rezorpsiyonunun miktarı; bireysel, anatomik ve biyolojik özelliklere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bukkal kemik duvarının kalınlığı, soketin morfolojisi, çekim bölgesi, dişin tipi ve konumu, periodontal durum ve travmatik çekim başlıca lokal faktörler arasında yer almaktadır. Özellikle ince bukkal kemik duvarlarının daha fazla rezorpsiyonla ilişkili olduğu, ayrıca rezorpsiyonun molar bölgelerde ve mandibulada daha ileri düzeyde olduğu bildirilmektedir. Sistemik metabolik hastalıklar ve sigara kullanımı gibi faktörlerin de iyileşme ve kemik yeniden şekillenmesini olumsuz etkileyebileceği belirtilmektedir(Yotsova et al., 2024).

3. Alveolar Kretin Üç Boyutlu Korunmasının Biyolojik Temelleri

Diş çekimi sonrasında soket içerisinde başlayan iyileşme, inflamatuvar yanıtın ardından granülasyon dokusunun gelişimi, geçici matris oluşumu ve yeni kemik dokusunun meydana gelmesiyle ilerleyen dinamik bir süreçtir. Bu süreçte osteoblastlar yeni kemik oluşumunda görev alırken, osteoklastların gerçekleştirdiği rezorptif aktivite kemiğin yeniden şekillenmesine katkıda bulunmaktadır. Bununla birlikte, çekim sonrasında yalnızca soket içerisindeki kemik

oluşumu değil, soketi çevreleyen alveolar kemiğin yeniden modellenmesi de gerçekleşmekte ve bu durum kretin başlangıç boyutlarının tam olarak korunamamasına yol açabilmektedir (Araújo & Lindhe, 2005; Pagni et al., 2012).

Bu süreçte periodontal ligament ve bundle bone gibi yapıların ortadan kalkması, alveolar kemiğin fizyolojik yeniden yapılanmasını tetikleyen önemli olaylar arasında yer almaktadır. Özellikle bukkal kemik duvarında gerçekleşen osteoklastik aktivitenin, çekim sonrasında kretin horizontal ve vertikal boyutlarındaki kayba katkıda bulunduğu bildirilmektedir (Kondo et al., 2023).

Kemik oluşumu ve rezorpsiyonu arasındaki dengenin sağlanmasında hücrel ve moleküler mekanizmalar birlikte rol almaktadır. Özellikle osteoklastogenezde görev alan RANKL–RANK sistemi ile bunu düzenleyen osteoprotegerin (OPG), kemik yeniden şekillenmesinin önemli düzenleyicileri arasındadır. Bu nedenle çekim sonrası iyileşmenin yalnızca yeni kemik oluşumu açısından değil, osteoklastik aktivitenin kontrolü ve remodeling sürecinin dengelenmesi açısından da değerlendirilmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak, alveolar kretin çekim sonrasındaki üç boyutlu bütünlüğünün korunması, soket içerisinde yeterli miktarda yeni kemik oluşmasının yanı sıra çevre kemik dokusundaki rezorptif ve yeniden şekillenme süreçlerinin de kontrol edilmesini gerektirmektedir. Bu biyolojik temel, çekim sonrasında kret hacmini ve morfolojisini korumaya yönelik greft materyalleri, membranlar, platelet konsantreleri ve biyolojik olarak aktif ajanların kullanımına yönelik yaklaşımların geliştirilmesinin temelini oluşturmaktadır (Fok & Jin, 2024; Pagni et al., 2012).

4. Alveolar Kretin Üç Boyutlu Korunmasında Güncel Yaklaşımlar

Diş çekimi sonrasında oluşan alveolar kret kaybını sınırlandırmak amacıyla günümüzde farklı cerrahi ve rejeneratif yöntemler kullanılmaktadır. Klinik yaklaşım; soket duvarlarının tamlığının korunması, çekim soketinin çeşitli materyallerle desteklenmesi ve gerektiğinde farklı rejeneratif prosedürlerin uygulanmasına kadar geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır. Atravmatik çekim, alveolar kret koruma uygulamaları, kemik grefti ve bariyer membranlarla yönlendirilmiş kemik rejenerasyonu teknikleri (GBR), bu amaçla kullanılan başlıca yöntemler arasında yer almaktadır (A. S. Kalsi et al., 2019).

Bunlara ek olarak, platelet konsantreleri ve biyomateriyallerin kullanımı son yıllarda giderek daha fazla ilgi görmektedir; PRF, enjekte edilebilir kemik rejenerasyon materyalleri ve hidrojel

temelli sistemler gibi yeni yaklaşımlar araştırılmaktadır (Kim & Kim, 2024). Uygun anatomik ve klinik koşullarda immediat implantasyon da çekim sonrası tedavi seçeneklerinden biri olarak değerlendirilebilmekle birlikte, yöntemin uygulanabilirliği mevcut kemik miktarı, soket morfolojisi ve yumuşak doku özellikleri gibi bireysel faktörlere bağlıdır. Genel olarak güncel literatür, tek bir yöntemin tüm olgular için üstün olmadığını ve tedavi seçiminin çekim bölgesinin anatomik özellikleri ile hastanın implant tedavisine yönelik gereksinimleri doğrultusunda belirlenmesi gerektiğini göstermektedir (A. S. Kalsi et al., 2019; Kim & Kim, 2024).

5. Atravmatik diş çekimi

Atravmatik diş çekimi, çekim sırasında alveolar kemik duvarları ve çevre yumuşak dokularda oluşabilecek mekanik hasarı en aza indirmeyi amaçlayan bir yaklaşımdır. Özellikle ince bukkal kemik duvarına sahip bölgelerde, çekim sırasında uygulanan aşırı kuvvet veya kemik duvarlarının kırılması, iyileşme sonrasında meydana gelebilecek kret genişliğindeki kaybı artırabileceğinden dokuların mümkün olduğunca korunması önem taşımaktadır. Bu nedenle periotom, lüksatör ve benzeri ince aletlerin kontrollü kullanımı ile dişin çevre dokulardan dikkatli ve kademeli olarak ayrılması ve gereksiz kuvvet uygulanmasından kaçınılması önerilmektedir.

Atravmatik çekimin temel amacı mevcut alveolar mimariyi koruyarak sonraki implantasyon veya rejeneratif işlemler için daha uygun bir anatomik ortam sağlamaktır. Bununla birlikte, atravmatik çekimin tek başına çekim sonrası fizyolojik kret rezorpsiyonunu tamamen önleyemeyeceği ve daha çok başlangıçtaki kemik ve yumuşak doku yapısının korunmasına katkıda bulunduğu unutulmamalıdır (Amardip S. Kalsi et al., 2019).

6. Alveolar Soket Koruma Prosedürü

Alveolar soket koruma, 1980'li yılların ortalarında, kökün alveol içerisinde bırakılmasına dayanan *kök gömme tekniği* yaklaşımına alternatif bir tedavi yöntemi olarak ortaya çıkmıştır. Bu yaklaşımda, çekim sonrası oluşan soket boşluğunun biyomateryallerle doldurulmasının, kökün alveol içerisinde tutulmasına benzer bir kemik koruyucu etki sağlayabileceği düşünülmüştür. Böylece alveolar krette çekim sonrası meydana gelen morfolojik değişimlerin sınırlandırılması ve ilerleyen dönemde implant yerleştirilmesi sırasında ek kemik ogmentasyonu gereksiniminin azaltılması amaçlanmıştır (Avila-Ortiz et al., 2014). Günümüzde

alveolar soket koruma, diş çekimini takiben alveolar krette meydana gelen morfolojik değişimleri en aza indirmeyi hedefleyen cerrahi bir yaklaşım olarak tanımlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, farklı biyomateriyallerin, biyolojik ajanların ve cerrahi tekniklerin kullanımı önerilmektedir (Majzoub et al., 2019).

Soket koruma uygulamalarında farklı greft materyalleri ve biyomateriyallerden yararlanılmaktadır. Bu materyallerin kullanımına ilişkin temel yaklaşım, erken iyileşme döneminde kan pıhtısının stabilitesine katkıda bulunmaları ve kemik oluşumunu destekleyen biyolojik süreçlere uygun bir ortam sağlamalarıdır. Özellikle osteokondüktif özellik taşıyan materyallerin, yeni kemik oluşumu için hücresel tutunmaya ve gelişime elverişli bir iskele görevi gördüğü düşünülmektedir. Bunun yanı sıra, osteoindüktif özellikteki faktörler mezenkimal kök hücrelerin osteoblastik farklılaşmasını uyararak kemik oluşumuna katkı sağlayabilir. İdeal bir greft materyalinin zaman içerisinde kontrollü biçimde rezorbe olması ve yerini yeni oluşan kemik dokusuna bırakması beklenmektedir. Bununla birlikte, rezorpsiyonu daha yavaş gerçekleşen materyaller, soket içerisinde daha uzun süre varlıklarını koruyarak alveolar kret hacminin sürdürülmesine katkı sağlayabilir. Bu etkinin, materyalin yeni oluşan kemik veya bağ dokusuyla temas hâlinde yapısal bütünlüğünü koruma süresiyle ilişkili olabileceği düşünülmektedir (Mardas et al., 2023).

Alveolar soket koruma işlemlerinde greft materyalinin yanı sıra, soket girişinde kullanılan örtücü materyaller de iyileşme sürecinin yönetiminde önemli bir yere sahiptir. Bariyer membranlar, greft alanının korunmasına ve yumuşak dokuların iyileşme bölgesine ilerlemesinin sınırlandırılmasına yardımcı olabilir. Literatürde, çekim soketinin membran veya farklı örtü materyalleriyle kapatılmasının alveolar kretin sert doku boyutlarının korunmasına katkı sağlayabileceği bildirilmiştir. Bununla birlikte, klinik sonuçlar kullanılan materyale ve uygulama tekniğine göre değişebildiğinden, tek bir membran ya da kapatma yönteminin tüm durumlarda üstün olduğu söylenemez (Del Fabbro et al., 2022; Faria-Almeida et al., 2019).

7. Yönlendirilmiş Kemik Rejenerasyonu

Yönlendirilmiş kemik rejenerasyonu (GBR), implant yerleştirilmesi için yetersiz kemik hacmine sahip bölgelerde alveolar kretin yeniden yapılandırılmasını amaçlayan cerrahi bir yaklaşımdır. Tekniğin temel prensibi, kemik oluşumunu destekleyen hücrelerin defekt alanına göçü ve çoğalması için uygun bir ortam oluştururken, hızlı çoğalan yumuşak doku hücrelerinin bu alana girişini bariyer membran aracılığıyla sınırlandırmaktır. Bu amaçla rezorbe olan ve

olmayan membranlar, kemik greftiyle birlikte veya bazı klinik durumlarda tek başına, rejenerasyon alanını koruyacak şekilde konumlandırılır. GBR, özellikle yatay ve dikey kemik yetersizliklerinin giderilmesinde uygulanmakta ve implantın protetik açıdan uygun konumda yerleştirilmesine olanak sağlamayı hedeflemektedir. Bununla birlikte, elde edilen kemik kazanımı defektin özelliklerine, cerrahi tekniğe ve kullanılan materyallere bağlı olarak değişebilir; membran ekspozisyonu, yara açılması ve enfeksiyon gibi komplikasyonlar da tedavi sonucunu olumsuz etkileyebilir (Mizraji et al., 2023; Vorovenci et al., 2024).

Yönlendirilmiş kemik rejenerasyonu uygulamalarında kullanılan membranlar, stabilizasyon açısından önemli bir işleve sahiptir. Bu amaçla, farklı materyallerden üretilen ve çeşitli özellikler kazandırmak üzere modifiye edilen membranlar geliştirilmiştir. İdeal bir membranın biyouyumlu olması, yumşak dokunun defekt bölgesine geçişini engellemesi, çevre dokularla bütünleşebilmesi ve cerrahi uygulama sırasında kolaylıkla şekillendirilebilmesi beklenmektedir. Bunun yanı sıra, yeni kemik oluşumu için gerekli boşluğu koruyabilecek mekanik dayanıklılığa ve uygun fiziksel özelliklere sahip olması gerekmektedir.

8. Khoury Shell tekniği

Khoury tekniği, alveolar kretin yetersizliklerinin giderilmesi amacıyla kullanılan otojen kemik ogmentasyonu yöntemlerinden biridir. Tekniğin temel prensibi, hastanın kendi kemiğinden elde edilen ince kortikal plakların, ogmentasyon yapılacak bölgeye vida yardımıyla sabitlenerek yeni kemik oluşumu için sınırları belirlenmiş bir alan oluşturulmasıdır. Kortikal plaklar arasında kalan boşluk, genellikle partiküler otojen/ksenogreft kemik ile doldurularak kemik rejenerasyonunun desteklenmesi hedeflenir. Bu yaklaşım, kortikal plakların oluşturduğu yapısal desteğin yanı sıra otojen greftin biyolojik özelliklerinden yararlanılmasını sağlar (Sánchez-Sánchez et al., 2021).

Bu teknik, özellikle ileri derecede yatay kemik kaybının bulunduğu ve implantın uygun üç boyutlu konumda yerleştirilmesi için ek kemik hacmine ihtiyaç duyulan vakalarda uygulanabilmektedir. Klinik çalışmalarda, bu yöntemle anlamlı yatay kemik kazanımı elde edilebildiği bildirilmiştir. Bununla birlikte, sonuçlar defektin anatomik özelliklerine, cerrahi uygulamaya ve iyileşme sürecine bağlı olarak değişebilir. Otojen kemik alınması için ek bir cerrahi saha gerektirmesi, teknik hassasiyet ve greft bölgesinde ortaya çıkabilecek komplikasyonlar yöntemin başlıca sınırlılıkları arasında yer almaktadır (Kämmerer et al., 2022; Sánchez-Sánchez et al., 2021).

Otojen kemik blokları, osteoindüktif, osteojenik ve osteokondüktif özellikleri bir arada barındırmaları nedeniyle en çok tercih edilen greft materyali olarak kabul edilir ve intraoral ve ekstraoral bölgelerden edilmektedir. Ekstraoral alım çoğunlukla genel anestezi ve hastaneye yatış gerektirir. İliak krest, kafatası, kaburgalar, tibia, fibula bu amaçla kullanılabilen başlıca bölgeler arasındadır. İntraoral alanlar donör ve alıcı bölgelerin yakınlığı, lokal anestezi altında yapılabilirliği, deri skarlaşmasının olmaması, cerrahi erişilebilirlik gibi avantajlar sunmaktadır. Mandibular simfiz ve eksternal oblik sırt özellikle blok greft alımı için tercih edilen alanlardır. Mandibular eksternal oblik sırttan alınan greftler, kortikal kemik dokusunun yoğun olduğu ve bir yapıya sahiptir. Buna karşılık, mandibular simfiz bölgesinden elde edilen greftlerde süngerimsi kemik bileşeni daha yüksek oranda bulunabilmektedir. Bununla birlikte, simfiz bölgesinden kemik alımı zamanı, eksternal oblik sırta kıyasla daha yüksek komplikasyon oranı görülmektedir (Starch-Jensen et al., 2020).

9. Soket Kalkanı tekniği

Soket kalkanı (socket shield) tekniği, diş kökünün bukkal bölümünün bir kısmının alveol içerisinde bırakılarak bukkal kemik duvarının ve çevre dokuların korunmasının amaçlandığı, implantın ise korunan kök parçasının palatinal veya lingual tarafına yerleştirildiği bir cerrahi yaklaşımdır (Oliva et al., 2023). Bu teknikte, kökün bukkal kısmının soket içerisinde bırakılmasıyla bu bölgedeki periodontal ligamentin bir kısmının korunması hedeflenmektedir. Cerrahi işlem sırasında kök, bukkal ve palatinal segmentlere ayrılır; implant yuvası hazırlandıktan sonra palatinal kök parçası uzaklaştırılır ve implant korunan bukkal kök segmentinin palatinal tarafına yerleştirilir(Gurbuz & Ceylan, 2025).

Deneyisel ve histolojik çalışmalarda, implant ile temas hâlindeki kök yüzeyinde sement oluşumu ve osseointegrasyonla uyumlu bulgular bildirilmiştir. Bu yaklaşım, uygun vakalarda çekim sonrası sert ve yumuşak dokuların konturunun korunmasına yardımcı olabilecek bir seçenek olarak değerlendirilmektedir. Tekniğin başlıca kullanım alanı, özellikle estetik bölgedeki maksiller ön dişlerde immediat implant uygulamalarıdır; uygun anatomik ve klinik koşullarda posterior bölgelerde de uygulanabilir. Bununla birlikte, periodontal ligament aralığında genişleme, aktif periodontal hastalık, diş mobilitesi ve yatay ya da dikey kök kırıkları bulunan vakalarda uygulanması önerilmemektedir(Oliva et al., 2023).

10. Greft materyalleri ve Biyomateryaller

Diş çekimi sonrası değişen kret morfolojisinin tamiri için kullanılan materyallerde ilk sırada kemik greftleri gelmektedir. Kemik rejenerasyonunda kullanılacak greft materyalinin başarısı, yeni kemik dokusunun gelişimini destekleyen biyolojik ve yapısal özelliklerine bağlıdır. Bu doğrultuda ideal bir materyalin, kemik oluşumuna doğrudan katkıda bulunabilecek hücreleri içermesi, çevredeki mezenşimal hücrelerin kemik oluşturan hücelere dönüşümünü teşvik etmesi ve yeni dokunun gelişip ilerleyebileceği üç boyutlu bir yapı - iskele sunması beklenmektedir (Miron, 2024).

Kemik greftlerinin uygulama sonrasında yeni kemik dokusunun oluşumuna katkısı, birbiriyle ilişkili üç temel biyolojik mekanizma üzerinden açıklanmaktadır: osteogenez, osteoindüksiyon ve osteokondüksiyon.

Osteogenez, greft materyalinde bulunan osteoprogenitör hücrelerin osteoblastlara farklılaşarak yeni kemik matriksinin oluşumuna doğrudan katkı sağladığı biyolojik süreçtir. Osteoprogenitör hücreler başlıca kemik iliği, periost ve kemik dokusunda bulunur. Canlı osteojenik hücreleri bünyesinde barındırması nedeniyle otojen kemik greftleri, osteogenez kapasitesine sahip greftler arasında öne çıkmaktadır(Miron, 2024).

Osteokondüksiyon özellik, greft materyalinin damarların ve kemik oluşumunda rol alan hücrelerin ilerlemesini destekleyen bir iskele görevi görmesidir. Yeni kemik dokusu, mevcut kemik yüzeyinden greft içerisine doğru gelişir ve zamanla greft materyalinin yerini alabilir. Bu süreçte materyalin porozitesi, gözenek bağlantıları, yüzey özellikleri ve mekanik dayanıklılığı önem taşır. Özellikle allogreftler, ksenogreftler ve hidroksiapatit ile trikalsiyum fosfat gibi sentetik materyaller, yeni kemik oluşumunu destekleyen yapısal bir ortam sağlar (Miron et al., 2024).

Osteoindüksiyon özellik ise, mezenkimal kök hücrelerin osteoblast veya kondroblast yönünde farklılaşmasını uyaran biyokimyasal sinyaller aracılığıyla kemik oluşumunun teşvik edilmesidir. Bu süreçte özellikle kemik morfogenetik proteinleri (BMP), TGF- β , FGF, PDGF ve VEGF gibi büyüme faktörleri rol oynar. Osteoindüktif etkinlik otojen kemikte bulunabilir; demineralize kemik matriksinin (DBM) bu özelliği ise kullanılan ürünün hazırlanma yöntemine bağlıdır. Ayrıca rekombinant BMP'ler aracılığıyla osteoindüktif etki biyoteknolojik olarak da sağlanabilir.

Greft materyalleri tüm özellikleri temel alınarak dört farklı kategoriye ayrılmaktadır: Otojen greftler, allogreftler, ksenogreftler ve alloplastik greftler.

Otogreftler, aynı bireyden alınarak uygulanan materyaller olarak tanımlanmaktadır. Biyouyumlu olmaları, osteojenik, osteoindüktif ve osteokondüktif özellik taşımaları nedeniyle tıp ve diş hekimliği alanında kemik greftleri için altın standart malzemelerdir. Yaklaşık %30'u organik, %70'i ise inorganik yapıdaki bileşenlerden meydana gelmektedir(Burchardt, 1983). Donör bölgeler intraoral (mandibular ramus, eksternal oblik çıkıntı, maksiller tüberkül, çekim bölgesi, ekzostozlar, mandibular simfiz) ve ekstraoral (iliak krest, kalvaryum, tibia) olarak ikiye ayrılmaktadır.

Otojen kemik greftleri, hızlı vaskülarizasyonları ve canlı osteojenik hücreler içermeleri sayesinde kemik rejenerasyonunu destekleyen önemli materyallerdir. Özellikle 5 mm'den büyük kritik boyutlu defektlerde, defektin merkezindeki damarlaşmanın sınırlı olması nedeniyle greftin vaskülarizasyon kapasitesi önem kazanmaktadır. Kortikal ve trabeküller kemiğin birlikte kullanılması, kortikal kemiğin mekanik dayanıklılığı ile trabeküller kemiğin osteojenik potansiyelini bir araya getirerek rejenerasyona katkı sağlayabilir.

Bununla birlikte, otojen greft uygulamalarının bazı dezavantajları bulunmaktadır. Postoperatif dönemde donör bölgede ağrı, enfeksiyon, skar oluşumu ve diğer cerrahi komplikasyonlar gelişebilir. Ayrıca elde edilebilecek kemiğin miktarı ve kalitesi sınırlı olabilir; ileri yaş ve diyabet, osteoporoz gibi sistemik hastalıklar da bu durumu etkileyebilir. Özellikle çene rekonstrüksiyonu, konjenital kemik defektleri, tümör rezeksiyonu sonrası oluşan kayıplar ve 5 mm'den büyük kemik defektleri gibi kapsamlı vakalarda otojen greftlere başvurulabilmektedir. İntraoral donör bölgelerden elde edilen kemiğin yetersiz kalması durumunda ekstraoral kaynaklara ihtiyaç duyulması, ek cerrahi işlem ve bazı durumlarda hastaneye yatış gerektirebilir. Bu durum tedavi maliyetini, cerrahi süresini ve hasta morbiditesini artırabilir. Dolayısıyla, otojen kemik greftleri biyolojik avantajlarına rağmen, bu sınırlılıkları azaltmak amacıyla zaman içerisinde farklı greft materyalleriyle birlikte veya alternatif olarak kullanılmaya başlanmıştır(Ferraz, 2023).

Allogreftler aynı türün farklı bireylerinden veya kadavralardan elde edilen biyomateryasllerdir. Esasen osteoindüktif etki sergilerler. Başlıca avantajları, ek cerrahi işlemin olmaması, istenen şekil ve boyutlarda kullanılabilinmesi ve donör bölge morbiditesi sorunlarının olmamasıdır. Lakin, klinik kullanımında HIV, hepatit B ve C gibi viral hastalık bulaşma olasılığı ve konakçıda

immünolojik yanıt gelişmesi gibi riskler dikkate alınmalıdır. Bu riskleri azaltmak ve materyallerin saklanma süresini uzatmak amacıyla farklı işleme ve muhafaza yöntemleri geliştirilmiştir. Bununla birlikte, greftlerin biyolojik özellikleri kullanılan sterilizasyon ve hazırlama tekniklerinin yanı sıra kemik dokusunun yapısına göre de değişiklik gösterebilir. Allogreftler; taze, dondurulmuş veya liyofilize formlarda hazırlanmaktadır. Klinik kullanımda blok, parça, kama, çubuk ve partikül formları tercih edilebilir. Ayrıca özel işlem süreçleri sonucunda demineralize kemik matriksi (DBM), antijenleri uzaklaştırılmış allojenik kemik (AAA) ve kemik kaynaklı deselülerize hücre dışı matriks (dECM) gibi farklı türevler elde edilebilmektedir (Ciszyński et al., 2023; Oryan et al., 2014).

Ksenogreftler farklı türde canlı organizmalardan elde edilen malzemelerdir. Çoğunlukla sığır kemiğinden elde edilmekle birlikte, at ve domuz kemikleri ile mercan ve yumurta kabuğu gibi farklı biyolojik kaynaklardan üretilen materyaller de bulunmaktadır. Bu greftler temel olarak osteokondüktif özellikleriyle öne çıkar ve yavaş rezorbe olmaları nedeniyle yeni kemik oluşumunu destekleyen bir iskele görevi görür. Klinik gereksinime bağlı olarak büyüme faktörleri veya farklı greft materyalleriyle birlikte kullanılabilirler.

Ksenogreftler, dental kemik rejenerasyonu uygulamalarında yaygın olarak tercih edilen greft materyalleri arasında yer almaktadır. Klinik etkinlikleri, otojen kemik de dâhil olmak üzere farklı greft türleriyle karşılaştırıldıkları çok sayıda çalışmada değerlendirilmiştir (Ferraz, 2023).

Farklı türlerden elde edilmeleri nedeniyle ksenogreftler, olası immünolojik reaksiyonları azaltmak amacıyla kapsamlı süreçler (Sun et al., 2019) den geçirilir. Bu işlemler materyalin biyolojik özelliklerini etkileyebilir. Ksenogreftlerin geniş miktarlarda temin edilebilmesi, kimyasal bileşenlerinin insan kemiğine benzer olması ve bazı ürünlerin allogreftlere kıyasla daha düşük maliyetli olması önemli avantajlarıdır. Kalsiyum/fosfat oranı insan kemiğindeki gibi 1,67'dir (Ferraz, 2023). Bununla birlikte, osteoindüktif etkileri materyalin kaynağına ve üretim sürecine göre değişebilir; temel biyolojik işlevleri genellikle osteokondüksiyondur. Bu nedenle, immünolojik güvenilirlik ve biyolojik performans değerlendirilirken kullanılan ürünün özellikleri dikkate alınmalıdır (Sun et al., 2019).

Alloplastlar, biyomalzeme alanındaki gelişmelerle birlikte, hastalık bulaşma riskini ve donör saha morbiditesini azaltmak amacıyla geliştirilmiş sentetik kemik ikameleridir. Hidroksiapatit, kalsiyum fosfat ve kalsiyum sülfat bileşikler, biyoaktif camlar ve polimerler bu grupta yer alır.

Hastadan kemik alınmasını gerektirmemeleri, seri üretime uygun olmaları, biyouyumlulukları ve osteokondüktif özellikleri başlıca avantajlarıdır (Ferraz, 2023).

Hidroksiapatit (HA) ve trikalsiyum fosfat (TCP), kemik mineraline benzer bileşime sahip olup yeni kemik oluşumunu destekleyen bir iskele görevi görür. Gözenekli yapıları damarların ve kemik dokusunun materyal içerisine ilerlemesini kolaylaştırabilir. TCP, hidroksiapatite kıyasla genellikle daha hızlı rezorbe olur ve daha düşük mekanik dayanıklılık gösterebilir (Yu ve ark., 2015). Kalsiyum sülfat ise biyouyumluluğu, kolay uygulanabilirliği ve düşük maliyetiyle öne çıkar. Ancak bazı formlarının yeni kemik oluşumundan daha hızlı rezorbe olması, uzun süreli yapısal destek gereken bölgelerde kullanımını sınırlayabilir (Pförringer et al., 2018).

Kemik rejenerasyonunun etkinliğini artırmak amacıyla farklı greft materyallerinin birbirleriyle veya farklı biyomateriyallerle kombinasyon hâlinde kullanımı araştırılmıştır. Bu kapsamda, güncel çalışmalarda öne çıkan biyomateriyallerden biri de hyalüronik asittir. Hyalüronik asit (HA) veya hyalüronan, omurgalı dokularının hücre dışı matriksinde bulunan ve glikozaminoglikan ailesine ait doğal bir polisakkarittir. Diğer glikozaminoglikanlardan farklı olarak bir çekirdek proteine bağlanmadan, plazma membranında bulunan hyalüronan sentaz enzimleri aracılığıyla sentezlenir. Kimyasal yapısı, D-glukuronik asit ve N-asetil-D-glukozamin birimlerinin dönüşümlü olarak tekrarlanmasıyla oluşur. Fizyolojik pH'da negatif yük taşıması, HA'nın suyu yüksek oranda bağlamasını ve viskoelastik bir yapı kazanmasını sağlar. Bu özellikleri, dokuların hidrasyonunun korunmasına ve hücre dışı matriksin yapısal bütünlüğüne katkıda bulunur (Iaconisi et al., 2023).

Hyalüronik asit (HA), antibakteriyel etkisi, inflamatuvar yanıtı düzenleme potansiyeli ve immünomodülatör özellikleri nedeniyle yara iyileşmesini destekleyen biyomateriyaller arasında değerlendirilmektedir. Ağız dokularında yapılan deneysel çalışmalar, HA'nın oral fibroblastların ve periodontal ligament hücrelerinin çoğalmasını ve göçünü destekleyebildiğini göstermektedir. Ayrıca mezenkimal hücre aktivitesi, anjiyogenez ve büyüme faktörlerinin bölgeye taşınması gibi süreçlerde de rol oynayabilmektedir.

Çekim sonrası alveolar kretin korunmasında HA'nın kemik greftleriyle birlikte kullanılması da araştırılmıştır. Özellikle ksenogreftlerle kombinasyonunun radyografik kemik kazanımı, yeni kemik oluşumu ve kemik olgunlaşması üzerinde olumlu etkiler gösterebildiği bildirilmiştir. HA'nın hücre tutunmasını ve çoğalmasını desteklemesi, greft çevresinde yeni doku gelişimine elverişli bir hücre dışı matriksin oluşumuna katkı sağlayabilir. CD44 reseptörleriyle

etkileşimler yoluyla sağlanır ve osteogenez için kritik olan mezenkimal kök hücre yapışmasını, proliferasyonunu ve farklılaşmasını artırır. Bunun yanı sıra inflamasyonun düzenlenmesi, hücrel aktivite ve kollajen sentezi üzerindeki etkileri, rejeneratif süreçteki olası rolünü açıklamaktadır. Bununla birlikte, bu sonuçların klinik uygulamalara ne ölçüde yansıdığı kullanılan HA formuna ve uygulama protokolüne göre değişebilir(Abaza et al., 2024; Ronsivalle et al., 2025).

Trombositten zengin fibrin (PRF), hastanın kendi kanından elde edilen ikinci nesil trombosit konsantresi olup yara iyileşmesi ve doku rejenerasyonunu desteklemek amacıyla ağız, diş ve çene cerrahisinde kullanılmaktadır. Fibrin yapısı içerisinde bulunan büyüme faktörleri ve diğer biyoaktif bileşenler, hücrel aktivitenin düzenlenmesine, anjiyogeneze ve yeni kemik oluşumuna katkı sağlayabilmektedir.

PRF'nin çekim sonrası alveolar kretin korunmasındaki etkileri çeşitli klinik çalışmalarda değerlendirilmiştir. Çalışmalar konsantre PRF'nin (C-PRF) çekim soketlerine tekrarlayan uygulamalarının üç aylık takip sonunda sert doku kaybını azalttığını bildirmiştir. Bununla birlikte, lökosit ve trombositten zengin fibrin (L-PRF) ile saf trombositten zengin plazmanın (P-PRP) karşılaştırıldığı çalışmalarda, alveolar kretin korunması açısından belirgin bir farklılık saptanmamıştır. PRF uygulamasının yeni kemik oluşumunu destekleyebildiği ve alveolar kretin konturunun korunmasına katkıda bulunabildiği belirtilmiştir. Bu bulgular, PRF'nin çekim soketlerinin iyileşmesinde tek başına veya greft materyalleriyle birlikte kullanılabilecek biyolojik bir destekleyici olduğunu düşündürmektedir. Bununla birlikte, klinik etkinliği kullanılan PRF protokolüne ve değerlendirilen iyileşme parametrelerine göre değişebilmektedir(Kim & Kim, 2024).

11. Bariyer membranlar

Yumuşak doku hücrelerinin kemik defekti alanına göçünü engelleyerek yeni kemik oluşumu için gerekli alanı koruyan ve kemik rejenerasyonunu destekleyen biyomateryaller, bariyer membranlar olarak tanımlanmaktadır. İdeal bir bariyer membranın temel işlevi olan bariyer etkisinin yanı sıra biyouyumluluk, biyolojik aktivite, uygun porozite ve hücre geçirgenliği, yeterli mekanik dayanıklılık, membran ekspozisyonuna karşı tolerans ve rezorbe olabilme gibi özelliklere sahip olması beklenmektedir(Sanz et al., 2019). Rejenerasyon uygulamalarında kullanılan ideal bir membranın, iyileşme süresince çevre dokuların oluşturduğu basınca karşı koyabilecek mekanik dayanıklılığa sahip olması gerekir. Bunun yanı sıra, cerrahi sırasında

kolayca yerleştirilebilmesi, uygun biçimde şekillendirilebilmesi ve hedeflenen kemik hacmini koruyacak şekilde formunu sürdürebilmesi beklenmektedir.

Farklı nesil bariyer membranlar geliştirilmiştir. Birinci nesil bariyer membranlar, çoğunlukla politetrafloroetilen (PTFE) gibi sentetik materyallerden üretilmiştir. Bu membranlar, yüksek mekanik dayanıklılıkları ve yer değiştirmeye karşı dirençleri sayesinde rejenerasyon alanının uzun süre korunmasını sağlayabilir. Ancak rezorbe olmadıkları için çıkarılmaları amacıyla ikinci bir cerrahi işlem gerekir; bu durum tedavi maliyetini ve hasta üzerindeki cerrahi yükü artırır. Ayrıca membranın sertliği, üzerini örten yumuşak dokularda gerilime ve membranın açığa çıkmasına neden olarak komplikasyon riskini yükseltebilir. İkinci nesil bariyer membranlar, rezorbe olmayan membranların dezavantajlarını ortadan kaldırmak amacıyla geliştirilmiştir. Kolajen, jelatin, kitosan ve ipek gibi biyolojik olarak parçalanabilen materyallerden üretilen bu membranların, iyileşme sürecinde zamanla parçalanarak yerlerini doğal dokulara bırakması hedeflenir. Rezorbe olabilmeleri, ikinci bir cerrahi müdahaleye duyulan ihtiyacı azaltarak hasta konforuna ve tedavi maliyetlerinin düşürülmesine katkı sağlar. Bununla birlikte, sınırlı mekanik dayanıklılıkları ve zamanla bozunmaları nedeniyle bariyer işlevlerini yeterince uzun süre koruyamamaları önemli dezavantajlarındandır. Bu nedenle membranın mekanik özellikleri ve rezorpsiyon süresi, hedeflenen doku tipine ve iyileşme gereksinimlerine uygun olmalıdır. Üçüncü nesil bariyer membranlar, doku mühendisliği yaklaşımlarıyla geliştirilmiş ve geleneksel bariyer işlevinin ötesinde biyolojik aktiviteler gösterebilen çok işlevli materyallerdir. Bu membranlara antibiyotikler, büyüme faktörleri ve hücre tutunmasını destekleyen moleküller eklenerek yara iyileşmesinin ve doku rejenerasyonunun desteklenmesi amaçlanır. İçerdikleri biyoaktif bileşenler, hücrelerin göçünü, çoğalmasını ve farklılaşmasını teşvik etmenin yanı sıra hücre dışı matriks oluşumuna da katkı sağlayabilir. Bu ajanlar membran üretimi sırasında yapıya dahil edilebildiği gibi, üretim sonrasında yüzeye de yüklenebilir. Kontrollü salınım sistemleri, etkin maddelerin hedef bölgede belirli bir süre boyunca salınmasına olanak tanıyabilir. Bununla birlikte, üretim süreçlerinin karmaşıklığı ve yüksek maliyet, bu membranların klinik kullanımını sınırlayan başlıca faktörler arasındadır(Abtahi et al., 2023).

12. Sonuçlar

Diş çekimi sonrası alveolar kretin korunmasında farklı cerrahi yöntemler ve biyomateryaller kullanılmaktadır. Bununla birlikte, uygun yaklaşımın belirlenmesinde hastanın klinik durumu, defektin özellikleri ve tedavi hedefleri dikkate alınmalıdır. Gelişen biyomateryal teknolojileriyle birlikte, yeni materyallerin ve farklı kombinasyonların etkinliğini değerlendiren klinik ve deneysel çalışmaların sürdürülmesi, tedavi protokollerinin geliştirilmesi açısından önem taşımaktadır.

Kaynakça

- Abaza, G., Abdel Gaber, H. K., Afifi, N. S., & Adel-Khattab, D. (2024). Injectable platelet rich fibrin versus hyaluronic acid with bovine derived xenograft for alveolar ridge preservation. A randomized controlled clinical trial with histomorphometric analysis. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 26(1), 88-102. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/cid.13289>
- Abtahi, S., Chen, X., Shahabi, S., & Nasiri, N. (2023). Resorbable Membranes for Guided Bone Regeneration: Critical Features, Potentials, and Limitations. *ACS Mater Au*, 3(5), 394-417. <https://doi.org/10.1021/acsmaterialsau.3c00013>
- Araújo, M. G., & Lindhe, J. (2005). Dimensional ridge alterations following tooth extraction. An experimental study in the dog. *J Clin Periodontol*, 32(2), 212-218. <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2005.00642.x>
- Avila-Ortiz, G., Chambrone, L., & Vignoletti, F. (2019). Effect of alveolar ridge preservation interventions following tooth extraction: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Clinical Periodontology*, 46(S21), 195-223. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jcpe.13057>
- Avila-Ortiz, G., Elangovan, S., Kramer, K. W., Blanchette, D., & Dawson, D. V. (2014). Effect of alveolar ridge preservation after tooth extraction: a systematic review and meta-analysis. *J Dent Res*, 93(10), 950-958. <https://doi.org/10.1177/0022034514541127>
- Burchardt, H. (1983). The biology of bone graft repair. *Clin Orthop Relat Res*(174), 28-42.
- Ciszyński, M., Dominiak, S., Dominiak, M., Gedrange, T., & Hadzik, J. (2023). Allogenic Bone Graft in Dentistry: A Review of Current Trends and Developments. *Int J Mol Sci*, 24(23). <https://doi.org/10.3390/ijms242316598>
- Couso-Queiruga, E., Stuhr, S., Tattan, M., Chambrone, L., & Avila-Ortiz, G. (2021). Post-extraction dimensional changes: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Clinical Periodontology*, 48(1), 127-145. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jcpe.13390>
- Del Fabbro, M., Tommasato, G., Pesce, P., Ravidà, A., Khijmatgar, S., Sculean, A., Galli, M., Antonacci, D., & Canullo, L. (2022). Sealing materials for post-extraction site: a systematic review and network meta-analysis. *Clin Oral Investig*, 26(2), 1137-1154. <https://doi.org/10.1007/s00784-021-04262-3>
- Faria-Almeida, R., Astramskaite-Januseviciene, I., Puisys, A., & Correia, F. (2019). Extraction Socket Preservation with or without Membranes, Soft Tissue Influence on Post Extraction Alveolar Ridge Preservation: a Systematic Review. *J Oral Maxillofac Res*, 10(3), e5. <https://doi.org/10.5037/jomr.2019.10305>
- Ferraz, M. P. (2023). Bone Grafts in Dental Medicine: An Overview of Autografts, Allografts and Synthetic Materials. *Materials (Basel)*, 16(11). <https://doi.org/10.3390/ma16114117>
- Fok, M. R., & Jin, L. (2024). Learn, unlearn, and relearn post-extraction alveolar socket healing: Evolving knowledge and practices. *J Dent*, 145, 104986. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2024.104986>
- Gurbuz, E., & Ceylan, E. (2025). Comparison of a non-grafted socket shield technique with guided bone regeneration in immediate implant placement: a randomized clinical trial. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 54(4), 356-364. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijom.2024.11.009>
- Iaconisi, G. N., Lunetti, P., Gallo, N., Cappello, A. R., Fiermonte, G., Dolce, V., & Capobianco, L. (2023). Hyaluronic Acid: A Powerful Biomolecule with Wide-Ranging Applications-A Comprehensive Review. *Int J Mol Sci*, 24(12). <https://doi.org/10.3390/ijms241210296>
- Kalsi, A. S., Kalsi, J. S., & Bassi, S. (2019). Alveolar ridge preservation: why, when and how. *Br Dent J*, 227(4), 264-274. <https://doi.org/10.1038/s41415-019-0647-2>
- Kalsi, A. S., Kalsi, J. S., & Bassi, S. (2019). Alveolar ridge preservation: why, when and how. *British Dental Journal*, 227(4), 264-274. <https://doi.org/10.1038/s41415-019-0647-2>
- Kämmerer, P. W., Tunkel, J., Götz, W., Würdinger, R., Kloss, F., & Pabst, A. (2022). The allogeneic shell technique for alveolar ridge augmentation: a multicenter case series and experiences of more than 300 cases. *Int J Implant Dent*, 8(1), 48. <https://doi.org/10.1186/s40729-022-00446-y>

- Kim, S., & Kim, S. G. (2024). Advancements in alveolar bone grafting and ridge preservation: a narrative review on materials, techniques, and clinical outcomes. *Maxillofac Plast Reconstr Surg*, 46(1), 14. <https://doi.org/10.1186/s40902-024-00425-w>
- Kondo, T., Kanayama, K., Egusa, H., & Nishimura, I. (2023). Current perspectives of residual ridge resorption: Pathological activation of oral barrier osteoclasts. *J Prosthodont Res*, 67(1), 12-22. https://doi.org/10.2186/jpr.JPR_D_21_00333
- MacBeth, N., Trullenque-Eriksson, A., Donos, N., & Mardas, N. (2017). Hard and soft tissue changes following alveolar ridge preservation: a systematic review. *Clin Oral Implants Res*, 28(8), 982-1004. <https://doi.org/10.1111/clr.12911>
- Majzoub, J., Ravida, A., Starch-Jensen, T., Tattan, M., & Suárez-López Del Amo, F. (2019). The Influence of Different Grafting Materials on Alveolar Ridge Preservation: a Systematic Review. *J Oral Maxillofac Res*, 10(3), e6. <https://doi.org/10.5037/jomr.2019.10306>
- Mardas, N., Macbeth, N., Donos, N., Jung, R. E., & Zuercher, A. N. (2023). Is alveolar ridge preservation an overtreatment? *Periodontology 2000*, 93(1), 289-308. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/prd.12508>
- Miron, R. J. (2024). Optimized bone grafting. *Periodontology 2000*, 94(1), 143-160. <https://doi.org/10.1111/prd.12517>
- Miron, R. J., Böhner, M., Zhang, Y., & Bosshardt, D. D. (2024). Osteoinduction and osteoimmunology: Emerging concepts. *Periodontol 2000*, 94(1), 9-26. <https://doi.org/10.1111/prd.12519>
- Mizraji, G., Davidzohn, A., Gursoy, M., Gursoy, U., Shapira, L., & Wilensky, A. (2023). Membrane barriers for guided bone regeneration: An overview of available biomaterials. *Periodontol 2000*, 93(1), 56-76. <https://doi.org/10.1111/prd.12502>
- Oliva, S., Capogreco, M., Murmura, G., Lupi, E., Mariachiara, D. C., & D'Amario, M. (2023). The socket shield technique and its complications, implant survival rate, and clinical outcomes: a systematic review. *J Periodontal Implant Sci*, 53(2), 99-109. <https://doi.org/10.5051/jpis.2201780089>
- Oryan, A., Alidadi, S., Moshiri, A., & Maffulli, N. (2014). Bone regenerative medicine: classic options, novel strategies, and future directions. *J Orthop Surg Res*, 9(1), 18. <https://doi.org/10.1186/1749-799x-9-18>
- Pagni, G., Pellegrini, G., Giannobile, W. V., & Rasperini, G. (2012). Postextraction alveolar ridge preservation: biological basis and treatments. *Int J Dent*, 2012, 151030. <https://doi.org/10.1155/2012/151030>
- Pförringer, D., Harrasser, N., Mühlhofer, H., Kioekli, M., Stemberger, A., van Griensven, M., Lucke, M., Burgkart, R., & Obermeier, A. (2018). Osteoinduction and -conduction through absorbable bone substitute materials based on calcium sulfate: in vivo biological behavior in a rabbit model. *J Mater Sci Mater Med*, 29(2), 17. <https://doi.org/10.1007/s10856-017-6017-1>
- Ronsivalle, V., Santonocito, S., Giudice, R., Bocchieri, S., Didomenico, S., & Cicciù, M. (2025). The Role of Hyaluronic Acid in Alveolar Ridge Preservation: A Systematic Review of Its Biological and Regenerative Potential According to PRISMA Guidelines and the Cochrane Handbook. *Biomedicines*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/biomedicines13020451>
- Sánchez-Sánchez, J., Pickert, F. N., Sánchez-Labrador, L., Gf Tresguerres, F., Martínez-González, J. M., & Meniz-García, C. (2021). Horizontal Ridge Augmentation: A Comparison between Khoury and Urban Technique. *Biology (Basel)*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/biology10080749>
- Sanz, M., Dahlin, C., Apatzidou, D., Artzi, Z., Bozic, D., Calciolari, E., De Bruyn, H., Dommisch, H., Donos, N., Eickholz, P., Ellingsen, J. E., Haugen, H. J., Herrera, D., Lambert, F., Layrolle, P., Montero, E., Mustafa, K., Omar, O., & Schliephake, H. (2019). Biomaterials and regenerative technologies used in bone regeneration in the craniomaxillofacial region: Consensus report of group 2 of the 15th European Workshop on Periodontology on Bone Regeneration. *J Clin Periodontol*, 46 Suppl 21, 82-91. <https://doi.org/10.1111/jcpe.13123>
- Schropp, L., Wenzel, A., Kostopoulos, L., & Karring, T. (2003). Bone healing and soft tissue contour changes following single-tooth extraction: a clinical and radiographic 12-month prospective study. *Int J Periodontics Restorative Dent*, 23(4), 313-323.

- Starch-Jensen, T., Deluiz, D., Deb, S., Bruun, N. H., & Tinoco, E. M. B. (2020). Harvesting of Autogenous Bone Graft from the Ascending Mandibular Ramus Compared with the Chin Region: a Systematic Review and Meta-Analysis Focusing on Complications and Donor Site Morbidity. *J Oral Maxillofac Res*, 11(3), e1. <https://doi.org/10.5037/jomr.2020.11301>
- Sun, X., Liu, C., Shi, Y., Li, C., Sun, L., Hou, L., & Wang, X. (2019). The assessment of xenogeneic bone immunotoxicity and risk management study. *Biomed Eng Online*, 18(1), 108. <https://doi.org/10.1186/s12938-019-0729-z>
- Tan, W. L., Wong, T. L., Wong, M. C., & Lang, N. P. (2012). A systematic review of post-extraction alveolar hard and soft tissue dimensional changes in humans. *Clin Oral Implants Res*, 23 Suppl 5, 1-21. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2011.02375.x>
- TARNOW, D. P., ESKOW, R. N., & ZAMZOK, J. (1996). Aesthetics and implant dentistry. *Periodontology 2000*, 11(1), 85-94. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1600-0757.1996.tb00186.x>
- Van der Weijden, F., Dell'Acqua, F., & Slot, D. E. (2009). Alveolar bone dimensional changes of post-extraction sockets in humans: a systematic review. *J Clin Periodontol*, 36(12), 1048-1058. <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2009.01482.x>
- Vorovenci, A., Drafta, S., & Petre, A. (2024). Horizontal ridge augmentation through ridge expansion via osseodensification, guided bone regeneration and ridge-split: Systematic review and meta-analysis of clinical trials. *Biomed Rep*, 21(4), 139. <https://doi.org/10.3892/br.2024.1827>
- Yotsova, R., Gerova-Vatsova, T., Ali, M., & Yankov, Y. (2024). Factors influencing postextraction alveolar ridge resorption [alveolar ridge resorption, postextraction resorption, systemic factors, local factors]. 2024, 10(2). <https://doi.org/10.14748/ssmd.v10i2.9802>

BÖLÜM 4

PERİODONTAL TEDAVİDE LAZER UYGULAMALARI VE FOTOBİYOMODÜLASYON

Hatice Kübra KÜPELİ¹

¹ Araştırma Görevlisi, Erciyes Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Periodontoloji AD., hkubraarsal1999@gmail.com, ORCID ID: 0009-0003-3894-3813

1. GİRİŞ

Periodontal hastalıkların tedavisinde temel hedef, hastalığın oluşumunda ve ilerlemesinde rol oynayan mikrobiyal dental biyofilmin uzaklaştırılması ve buna bağlı gelişen inflamatuvar yanıtın kontrol altına alınmasıdır. Bu amaçla mekanik periodontal tedavi, subgingival biyofilmin ve diş yüzeyindeki birikintilerin uzaklaştırılmasında temel tedavi yaklaşımı olarak kabul edilmektedir. Ancak periodontal ceplerin derinliği ve biyofilmin karmaşık yapısı, mekanik tedavinin etkinliğini destekleyebilecek yardımcı yöntemlere olan ilgiyi artırmıştır. Lazerlerin diş hekimliğinde kullanılmaya başlanması, periodontal tedavide ışık enerjisinden yararlanılmasına yönelik yeni uygulamaların ortaya çıkmasını sağlamıştır. Farklı dalga boylarında çalışan lazer sistemleri, periodontal tedavide hem cerrahi hem de cerrahi olmayan uygulamalar kapsamında kullanılmaktadır. Lazerin dokular üzerindeki etkisi; kullanılan dalga boyu, enerji ve güç düzeyi, uygulama süresi ve hedef dokunun özellikleri gibi çeşitli faktörlerin bir araya gelmesiyle belirlenmektedir (El Mobadder et al., 2023; Theodoro et al., 2021). Bu nedenle lazer uygulamalarının klinik sonuçları, kullanılan sistem ve uygulama protokolüne bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Periodontal tedavide lazer kullanımının temel amacı, konvansiyonel mekanik tedavinin tamamen yerine geçmekten ziyade, uygun durumlarda tedavi sonuçlarını desteklemektir. Lazerlerin periodontal dokular, mikrobiyal biyofilm ve inflamatuvar süreçler üzerindeki olası etkileri farklı çalışmalarda araştırılmıştır. Bununla birlikte mevcut klinik kanıtların lazer tipi, uygulama parametreleri ve tedavi protokollerindeki farklılıklardan etkilenmesi, sonuçların birlikte değerlendirilmesini güçlendirmektedir (Salvi et al., 2020; Theodoro et al., 2021). Lazer ve diğer ışık kaynaklarının kullanım alanlarından biri de fotobiyomodülasyondur (PBM). PBM, düşük düzeyde ışık enerjisinin hücresel süreçleri etkilemesinden yararlanan noninvaziv bir tedavi yaklaşımıdır. Uygun parametrelerde verilen ışık enerjisinin hücresel metabolizma, inflamasyon ve doku onarımı ile ilişkili biyolojik süreçleri modüle edebildiği düşünülmektedir (Eltahir et al., 2025; Liebert et al., 2023). Günümüzde PBM yalnızca lazer kaynaklı uygulamalarla sınırlı olmayıp LED gibi farklı ışık kaynaklarının kullanıldığı yöntemleri de kapsamaktadır (da Silva et al., 2024). Bu bölümde öncelikle lazerlerin temel özellikleri ve lazer-doku etkileşimi ele alınacak, ardından periodontolojide kullanılan başlıca lazer sistemleri ve klinik uygulama alanları değerlendirilecektir. Bölümün devamında fotobiyomodülasyonun temel mekanizmaları ve biyolojik etkileri ile periodontal tedavideki kullanımına ilişkin güncel kanıtlar üzerinde durulacaktır.

2. LAZERLERİN TEMEL ÖZELLİKLERİ VE LAZER-DOKU ETKİLEŞİMİ

Lazer sistemleri, belirli dalga boylarında ışık enerjisi oluşturarak bu enerjinin hedeflenen bölgeye kontrollü şekilde iletilmesini sağlayan cihazlardır. Lazer uygulamalarında ortaya çıkan doku yanıtının anlaşılabilmesi için hem ışığın fiziksel özelliklerinin hem de uygulama yapılan dokunun optik özelliklerinin dikkate alınması gerekir. Özellikle dalga boyu ve uygulanan güç, ışık enerjisinin dokudaki dağılımını ve meydana gelen biyolojik etkiyi belirleyen başlıca unsurlar arasındadır (Parker et al., 2020).

Lazer ışığı dokuyla karşılaştığında enerjinin tamamı dokuda tutulmaz. Işığın bir bölümü yansırken bir bölümü saçılabilir veya dokudan geçebilir; kalan enerji ise doku tarafından absorbe edilebilir. Bu süreçler içerisinde absorpsiyon, lazer enerjisinin dokuyla etkileşerek biyolojik bir yanıt oluşturmada temel role sahiptir. Dokuda bulunan su ve farklı kromoforların ışığı absorbe etme özellikleri dalga boyuna göre değiştiğinden, farklı lazer sistemleri aynı dokuda dahi farklı etkiler meydana getirebilir (Parker et al., 2020).

Dokunun absorbe ettiği lazer enerjisinin miktarı, ortaya çıkacak etkinin niteliğini ve şiddetini etkileyen önemli faktörlerden biridir. Kullanılan güç ve ışının dokuda kalma süresi değiştikçe hedef bölgeye aktarılan enerji miktarı da değişmektedir. Bu nedenle klinik uygulamada yalnızca istenen etkiyi oluşturacak enerji düzeyine ulaşmak değil, çevre dokularda oluşabilecek istenmeyen etkilerin de sınırlandırılması gerekir (Parker et al., 2020).

Klinik lazer uygulamalarında dikkate alınması gereken başlıca parametreler arasında dalga boyu, güç, enerji, enerji yoğunluğu, uygulama süresi ve emisyon biçimi bulunmaktadır. Bu parametrelerin her biri dokunun maruz kaldığı enerji miktarını ve buna bağlı gelişen yanıtı etkileyebilir. Periodontal uygulamalarda kullanılan lazer sistemleri ve ışınlama protokollerinin çalışmalar arasında farklılık göstermesi de klinik sonuçların değerlendirilmesinde önemli bir değişken oluşturmaktadır (Theodoro et al., 2021).

Periodontal lazer uygulamalarına ilişkin literatürde farklı sonuçların bildirilmesinin nedenlerinden biri, çalışmaların kullandığı lazer ve uygulama protokollerinin birbirinden farklı olmasıdır (Theodoro et al., 2021). Periodontal lazer çalışmalarında uygulama parametrelerinin yeterince standartlaştırılmamış olmasının elde edilen sonuçların karşılaştırılmasını güçleştirebileceğine dikkat çekmektedir. Non-cerrahi periodontal tedaviye lazerin yardımcı olarak eklenmesini değerlendiren güncel bir derlemede de kısa dönem sonuçlarda bazı olumlu etkiler bildirilmesine rağmen, uzun dönem klinik yararı destekleyen kanıtların sınırlı olduğu belirtilmiştir (El Mobadder et al., 2023).

Bu nedenle periodontal lazer uygulamalarının değerlendirilmesinde yalnızca kullanılan lazerin adı veya dalga boyu yeterli değildir. Uygulanan enerji ve güç değerleri, ışınlama süresi, uygulama tekniği ve tedavi seanslarının özellikleri de birlikte değerlendirilmelidir. Bu bilgilerin açık şekilde raporlanması, farklı çalışmaların sonuçlarının karşılaştırılmasını ve lazer uygulamalarının klinik etkinliğinin daha sağlıklı biçimde değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır (El Mobadder et al., 2023; Theodoro et al., 2021).

3. PERİODONTOLOJİDE KULLANILAN LAZER SİSTEMLERİ

Periodontolojide kullanılan lazerler, sahip oldukları dalga boyları ve bu enerjinin periodontal dokulardaki hedef yapılar tarafından absorbe edilme özellikleri bakımından birbirinden ayrılır. Bu farklılıklar, lazerlerin hangi dokularda ve hangi klinik amaçlarla kullanılabileceğini de belirlemektedir (Parker et al., 2020). Periodontal uygulamalarda özellikle diyet lazerler, Nd:YAG (neodimyum: itriyum-alüminyum-granat), Er:YAG (erbiyum: itriyum-alüminyum-granat), Er,Cr:YSGG (erbiyum, kromiyum: itriyum-skandiyum-galyum-granat) ve CO₂ (karbondioksit) lazerler üzerinde durulmaktadır (Theodoro et al., 2021). Bununla birlikte, lazerin klinik etkisini yalnızca cihazın türü üzerinden değerlendirmek yeterli değildir; uygulanan güç, enerji, süre, emisyon şekli ve kullanılan teknik de tedavi yanıtını etkileyebilmektedir (Parker et al., 2020).

3.1. Diyet Lazerler

Diyet lazerler, periodontal tedavide özellikle yumuşak doku uygulamaları ve non-cerrahi periodontal tedaviye yardımcı yöntemler kapsamında kullanılan lazer sistemlerindendir. Periodontal literatürde farklı dalga boylarına sahip diyet lazerler değerlendirilmiş olmakla birlikte, 800–980 nm aralığındaki sistemler periodontal tedavi açısından en sık araştırılan gruplar arasında yer almaktadır (Tetè et al., 2021). Diyet lazerlerin mekanik periodontal tedaviye eklenmesiyle klinik parametrelerin yanı sıra mikrobiyolojik ve immünolojik sonuçlar üzerindeki olası etkileri de araştırılmıştır (Patel et al., 2023).

Non-cerrahi periodontal tedavide diyet lazerler, çoğunlukla subgingival mekanik enstrümantasyona yardımcı olarak uygulanmaktadır. Diode lazerin mekanik tedaviye eklenmesini değerlendiren çalışmalarda cep derinliği, klinik ataşman düzeyi ve sondalamada kanama gibi klinik parametrelerde bazı olumlu sonuçlar bildirilmiştir (Yu et al., 2022). Bununla birlikte elde edilen sonuçlar çalışmalar arasında tamamen tutarlı değildir. Özellikle kullanılan dalga boyu, güç, uygulama süresi, fiberin kullanım şekli ve seans sayısındaki farklılıklar, klinik sonuçların doğrudan karşılaştırılmasını güçlendirmektedir (Patel et al., 2023).

Diyot lazerlerin periodontal tedaviye katkısının değerlendirilmesinde takip süresi de önem taşımaktadır. Kısa dönem takiplerde mekanik tedaviye ek bazı klinik yararlar bildirilebilmesine rağmen, uzun dönem sonuçlarda mekanik tedaviye belirgin bir üstünlük sağladığını gösteren kanıtlar daha sınırlıdır (Tetè et al., 2021). Bu nedenle diyet lazerlerin periodontal tedavideki yeri, mekanik tedavinin yerine geçen bağımsız bir yaklaşım olarak değil, uygun klinik durumlarda mekanik tedaviyi destekleyebilecek yardımcı bir yöntem olarak değerlendirilmelidir (Theodoro et al., 2021).

3.2. Nd:YAG Lazer

Nd:YAG lazer, 1064 nm dalga boyunda çalışan bir lazer sistemidir. Bu dalga boyunda suyun ışığı absorbe etme düzeyi düşük olduğundan, enerji yumuşak dokular içerisinde daha derin bölgelere ulaşabilir. Nd lazerin doku içerisindeki kromoforlarla etkileşimi sonucunda termal ve koagülatif etkiler ortaya çıkabilmektedir (Parker et al., 2020).

Periodontolojide Nd:YAG lazer daha çok periodontal yumuşak dokulara yönelik uygulamalar ve periodontal tedavinin desteklenmesi amacıyla değerlendirilmiştir (Theodoro et al., 2021). Periodontal cep içerisindeki dokuların uzaklaştırılması ve yumuşak doku işlemleri, araştırılan kullanım alanları arasında bulunmaktadır. Ancak klinik sonuçların kullanılan enerji düzeyi ve uygulama protokolünden etkilenmesi nedeniyle, farklı çalışmalardan elde edilen sonuçların doğrudan genellenmesi mümkün değildir (Theodoro et al., 2021). Bu durum, Nd:YAG lazer uygulamalarında uygun parametre seçiminin önemini ortaya koymaktadır.

3.3. Er:YAG Lazer

Er:YAG lazer 2940 nm dalga boyunda çalışmaktadır ve bu dalga boyunda lazer enerjisinin su tarafından absorpsiyonu yüksektir. Er lazerin su ve mineralize dokulardaki hidroksiapatit ile etkileşimi, hem yumuşak hem de sert dokularda kullanılabilmesini sağlayan temel özelliklerinden biridir (Parker et al., 2020). Er:YAG lazerin periodontal tedavideki kullanım alanları arasında periodontal ceplerin tedavisi, kök yüzeyi işlemleri ve periodontal cerrahi uygulamalar bulunmaktadır. Periodontal cerrahide Er:YAG lazerin periodontal dokuların uzaklaştırılması ve şekillendirilmesi ile kök yüzeyi ve kemik dokusuna yönelik çeşitli işlemlerde kullanımı değerlendirilmiştir. Bu nedenle Er:YAG lazer, periodontal alanda hem yumuşak hem de mineralize dokulara yönelik uygulamalarda kullanılabilen sistemlerden biridir (Aoki et al., 2023).

Er:YAG lazerin non-cerrahi periodontal tedavide mekanik enstrümantasyona ek olarak kullanımına ilişkin klinik çalışmalar da bulunmaktadır (Theodoro et al., 2021). Er:YAG ve Er,Cr:YSGG lazerleri inceleyen uzun dönemli bir sistematik derlemede, erbiyum lazerlerin özellikle derin periodontal ceplerde cep derinliği ve klinik ataşman düzeyi açısından olumlu sonuçlar sağlayabileceğine ilişkin bulgular bildirilmiştir (Vagdouti et al., 2023). Bununla birlikte aynı derlemede çalışmalar arasındaki heterojenite ve sınırlı kanıt nedeniyle sonuçların dikkatli yorumlanması gerektiği vurgulanmıştır (Vagdouti et al., 2023).

Bu lazer sisteminin klinik açıdan önemli özelliklerinden biri, uygun parametreler kullanıldığında hem yumuşak hem de sert dokular üzerinde çalışmaya olanak sağlamasıdır (Aoki et al., 2023). Bununla birlikte, lazerin klinik başarısının yalnızca dalga boyuyla açıklanamayacağı ve uygulama parametrelerinin sonuçların önemli bir belirleyicisi olduğu göz önünde bulundurulmalıdır (Theodoro et al., 2021).

3.4. Er,Cr:YSGG Lazer

Er,Cr:YSGG lazer 2780 nm dalga boyunda çalışan bir erbiyum lazeridir. Dalga boyunun su tarafından yüksek oranda absorbe edilmesi, bu lazerin hem yumuşak hem de sert dokular üzerinde kullanılmasına olanak sağlamaktadır (Parker et al., 2020).

Periodontal tedavide Er,Cr lazerin debridman, kök yüzeyi uygulamaları ve cerrahi işlemlere yardımcı olarak kullanımı araştırılmıştır (Theodoro et al., 2021). Er:YAG ve Er,Cr:YSGG lazerlerin periodontal tedavideki uzun dönem sonuçlarını değerlendiren çalışmaların birlikte incelendiği bir sistematik derlemede, lazerlerin tek başına veya mekanik tedaviye ek olarak kullanıldığı farklı protokoller arasında klinik sonuçların değişkenlik gösterdiği bildirilmiştir (Vagdouti et al., 2023). Bu nedenle Er,Cr:YSGG lazerin periodontal tedavideki etkinliği değerlendirilirken yalnızca lazer türünün değil, kullanılan enerji parametrelerinin ve tedavi protokolünün de dikkate alınması gerekmektedir (Vagdouti et al., 2023).

3.5. CO₂ Lazer

CO₂ lazerler, dental uygulamalarda uzun dalga boylu lazer sistemleri arasında yer almaktadır. Kullanılan CO₂ lazer sistemine bağlı olarak dalga boyu yaklaşık 9300–10.600 nm aralığında değişebilmektedir (Parker et al., 2020). Bu dalga boylarında ışık enerjisinin su tarafından yüksek düzeyde absorbe edilmesi, lazer etkisinin özellikle yüzeysel dokularda yoğunlaşmasına neden olmaktadır (Parker et al., 2020).

CO₂ lazerler bu özellikleri nedeniyle özellikle yumuşak doku uygulamalarında kullanılmaktadır (Parker et al., 2020). Periodontal cerrahi kapsamında gingival veya mukozal dokuların uzaklaştırılması ve şekillendirilmesi gibi işlemlerde CO₂ lazerlerden yararlanılabilmektedir. CO₂ lazerin periodontal cerrahideki kullanım alanı, bu nedenle büyük ölçüde yumuşak dokulara yönelik uygulamalarla ilişkilidir (Theodoro et al., 2021).

Genel olarak değerlendirildiğinde, periodontal lazerlerin kullanım alanları ile doku üzerindeki etkileri arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Lazerin dalga boyu, hedef dokunun özellikleri ve uygulama parametreleri birlikte değerlendirilerek uygun klinik kullanım alanı belirlenmektedir (Parker et al., 2020). Bu nedenle periodontal lazer uygulamalarının değerlendirilmesinde yalnızca lazerin adı veya dalga boyu değil, kullanılan uygulama protokolünün tamamı dikkate alınmalıdır (Theodoro et al., 2021).

4. PERİODONTOLOJİDE LAZERLERİN KLİNİK KULLANIM ALANLARI

Periodontolojide lazerler, farklı dalga boyları ve uygulama parametreleri doğrultusunda çeşitli klinik amaçlarla kullanılabilmektedir. Klinik uygulamaların önemli bir bölümünü, lazerlerin mekanik periodontal tedaviye yardımcı olarak kullanıldığı cerrahi olmayan periodontal tedavi oluşturmaktadır. Bu yaklaşımda lazer uygulamasının temel amacı, mekanik debridmana ek olarak periodontal tedavi sonuçlarının iyileştirilmesidir. Lazerlerin başlangıç periodontal tedaviye yardımcı olarak kullanımını değerlendiren sistematik derlemelerde, bazı klinik parametrelerde ek iyileşmeler bildirilmesine rağmen sonuçların tüm çalışmalar ve klinik ölçütler açısından tutarlı olmadığı görülmektedir (Coluzzi et al., 2020; Theodoro et al., 2021).

Lazerlerin cerrahi olmayan periodontal tedavideki etkinliği lazer sisteminin özelliklerine göre değişebilmektedir. Özellikle erbiyum lazerlerle ilgili kanıtların değerlendirildiği bir çalışmada bu lazerlerin kısa dönem takiplerde cep derinliğinde azalma ve klinik ataşman düzeyinde kazanım sağlayabildiği bildirilmiştir. Bununla birlikte altı ay ve daha uzun takiplerde mekanik tedaviye ek belirgin bir klinik yarar gösterilememiştir (Lavu et al., 2022). Bu durum, lazer tedavisinin periodontal sonuçlar üzerindeki etkisinin değerlendirilmesinde takip süresinin ve kullanılan tedavi protokolünün dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

Periodontal cerrahi, lazerlerin değerlendirildiği diğer önemli klinik alanlardan biridir. Cerrahi uygulamalarda lazerlerden yumuşak dokuların uzaklaştırılması ve şekillendirilmesi gibi işlemlerde yararlanılabilmektedir (Theodoro et al., 2021). Bunun yanında düşük düzeyli lazer uygulamaları, periodontal cerrahi sonrasında ağrı ve yara iyileşmesi gibi sonuçlar açısından da araştırılmıştır (Zhao et al., 2021). Sistematik derleme ve meta-analiz sonuçları, düşük düzeyli

lazer tedavisinin özellikle erken postoperatif dönemde ağrı ve analjezik kullanımını azaltabileceğini ve bazı periodontal cerrahi uygulamalarında erken yara iyileşmesine katkı sağlayabileceğini göstermektedir (Zhao et al., 2021).

Lazerlerin kullanım alanlarından biri de peri-implant hastalıkların tedavisidir. Özellikle peri-implantitisin cerrahi olmayan tedavisinde lazerlerin mekanik debridmana yardımcı olarak kullanımı araştırılmıştır. Mevcut sistematik derlemelerde bazı klinik parametrelerde olumlu değişiklikler bildirilmesine rağmen, lazer uygulamalarının konvansiyonel tedavilere karşı belirgin bir üstünlüğü henüz ortaya konulamamıştır (Dominique et al., 2024). Bu nedenle peri-implant hastalıkların tedavisinde lazerlerin klinik rolü, mevcut kanıtlar doğrultusunda yardımcı tedavi yaklaşımı çerçevesinde değerlendirilmektedir.

Genel olarak lazerlerin periodontolojideki kullanım alanları geniş olmakla birlikte, elde edilen klinik sonuçlar lazerin türü, dalga boyu, enerji ve güç düzeyi, uygulama süresi, seans sayısı ve eşlik eden mekanik tedavi gibi birçok faktörden etkilenmektedir (Theodoro et al., 2021). Literatürdeki çalışmaların bu açılardan birbirinden farklı protokoller kullanması, sonuçların doğrudan karşılaştırılmasını güçlendirmektedir. Bu nedenle lazerlerin periodontal tedavideki yeri, belirli bir lazer sisteminin tüm periodontal hastalar için standart olarak uygulanmasından ziyade, hastanın klinik özellikleri ve tedavi hedefi doğrultusunda uygun endikasyonlarda yardımcı bir yöntem olarak ele alınmalıdır.

5. FOTOBİYOMODÜLASYON

5.1. Tanım ve Terminoloji

Fotobiyomodülasyon (PBM), düşük düzeyde ışık enerjisinin biyolojik dokular üzerindeki yanıtı değiştirmek amacıyla kullanıldığı non-invaziv bir yaklaşımdır. Uygulamalarda çoğunlukla kırmızı ve yakın kızılötesi (NIR) spektrumdaki ışık kaynaklarından yararlanılmaktadır (Felician et al., 2023; Hamblin, 2018). Bu yaklaşım geçmişte düşük düzeyli lazer tedavisi (low-level laser therapy, LLLT) ve düşük düzeyli ışık tedavisi (low-level light therapy) gibi farklı terimlerle tanımlanmıştır. Günümüzde ise kullanılan ışık kaynağının yalnızca lazerle sınırlı olmaması nedeniyle fotobiyomodülasyon terimi daha geniş bir kullanım alanına sahiptir (Felician et al., 2023; Hamblin, 2018). Bu kapsamda lazerlerin yanı sıra LED gibi farklı ışık kaynakları da PBM uygulamalarında kullanılabilmektedir (Felician et al., 2023).

PBM'nin temel özelliği, dokuda belirgin bir termal hasar oluşturmada ışık enerjisi aracılığıyla biyolojik yanıt oluşturmaya amaçlamasıdır (Hamblin, 2018). Bu özelliği nedeniyle PBM, farklı

tıbbi ve dental uygulamalarda destekleyici bir tedavi yaklaşımı olarak araştırılmıştır. Periodontolojide ise özellikle mekanik periodontal tedaviye ek olarak kullanımı ve periodontal dokuların iyileşme sürecine olası katkıları üzerinde durulmaktadır (da Silva et al., 2024).

5.2. Fotobiyomodülasyonun Etki Mekanizması

Fotobiyomodülasyonun biyolojik etkisinin, ışık enerjisinin hücre içerisindeki belirli fotoalıcı yapılar tarafından absorbe edilmesiyle başladığı kabul edilmektedir. Kırmızı ve yakın kızılötesi ışık için mitokondride bulunan sitokrom c oksidaz (CCO), PBM'nin etkisinde rol oynayan başlıca fotoalıcı yapılardan biri olarak öne çıkmaktadır. Işığın CCO ile etkileşimi sonucunda mitokondriyal elektron transportunun ve membran potansiyelinin değişebileceği, bunun da hücrel enerji üretimini etkileyebileceği öne sürülmektedir (Hamblin, 2017, 2018).

PBM sonrasında meydana gelen mitokondriyal değişiklikler, yalnızca ATP üretimindeki değişikliklerle sınırlı değildir. Hücre içerisinde kısa süreli reaktif oksijen türleri (ROS) oluşumu ve nitrik oksit (NO) düzeylerinde değişiklik gibi ikincil sinyal yanıtları da ortaya çıkabilmektedir. Bu moleküller, hücrel sinyal mekanizmalarında görev alarak PBM'nin daha sonraki biyolojik etkilerinin oluşmasına katkıda bulunmaktadır (Felician et al., 2023; Hamblin, 2017). Özellikle düşük düzeylerde oluşan ROS'un, hücrede stres oluşturmaktan ziyade çeşitli redoks duyarlı sinyal yollarının düzenlenmesinde rol oynayabileceği bildirilmektedir (Hamblin, 2018).

Bu moleküler değişikliklerin ardından hücrel proliferasyon, migrasyon ve farklılaşma gibi süreçlerde değişiklikler meydana gelebilmektedir. PBM ile ilişkili sinyal mekanizmalarının hücre yaşamı, protein sentezi ve apoptoz gibi süreçleri de etkileyebildiği bildirilmektedir (da Silva et al., 2023). Bu nedenle PBM'nin biyolojik etkileri tek bir moleküler mekanizma ile açıklanmaktan ziyade, ışık absorpsiyonunu izleyen ve birbirleriyle etkileşim halinde bulunan çok sayıda hücrel yanıtın sonucu olarak değerlendirilmektedir (Felician et al., 2023).

PBM'nin oluşturduğu biyolojik yanıtın niteliğinde uygulanan ışık dozunun da önemli bir rolü bulunmaktadır. Literatürde, ışık dozunun belirli bir düzeye kadar artırılmasıyla biyolojik yanıtın güçlenebildiği, ancak optimum düzey aşıldığında yanıtın azalabildiği veya inhibitör bir özellik kazanabildiği bildirilmektedir. Bu durum bifazik doz-yanıt ilişkisi olarak tanımlanmaktadır (Hamblin, 2017). Dolayısıyla PBM'nin biyolojik etkisi yalnızca ışığın dalga boyuna bağlı olmayıp uygulanan doz ve diğer tedavi koşullarının birlikte değerlendirilmesini gerektirmektedir.

6. PERİODONTAL TEDAVİDE FOTOBİYOMODÜLASYON

Fotobiyomodülasyon periodontal tedavide mekanik periodontal tedaviye ek olarak değerlendirilen yardımcı bir yaklaşımdır. Özellikle non-cerrahi periodontal tedavi ile birlikte kullanımında, mekanik tedavinin oluşturduğu klinik kazanımların desteklenmesi ve periodontal dokuların tedaviye verdiği biyolojik yanıtın modüle edilmesi amaçlanmaktadır. İnsan çalışmalarını değerlendiren sistematik derlemeler, PBM'nin non-cerrahi periodontal tedaviye eklenmesinin periodontal klinik sonuçlar üzerindeki olası katkısını araştırmıştır (Dalvi et al., 2021).

Periodontal tedavide PBM'nin uygulanma şekli kullanılan cihazın özelliklerine ve tedavi yaklaşımına göre değişebilmektedir. Işık, periodontal cep içerisine doğrudan uygulanabileceği gibi gingival dokular üzerinden transgingival olarak da iletilebilmektedir. Güncel bir sistematik derlemede, temel periodontal tedaviye ek PBM uygulanan 22 çalışma değerlendirilmiş; çalışmaların 10'unda intrasulküler, 12'sinde ise transgingival uygulama tekniğinin kullanıldığı bildirilmiştir. Aynı derlemede uygulama seanslarının bir ile dokuz arasında değiştiği ve takip sürelerinin 5 gün ile 12 ay arasında farklılık gösterdiği belirtilmiştir (da Silva et al., 2024)

Bu uygulamaların klinik sonuçları değerlendirildiğinde, PBM'nin özellikle sondalama cep derinliği (PPD) ve klinik ataşman düzeyi (CAL) açısından potansiyel bir ek fayda sağlayabileceğine ilişkin bulgular bulunmaktadır. Temel periodontal tedaviye PBM eklenmesinin PPD açısından 4., 12. ve 24. haftalarda; CAL açısından ise 6., 12. ve 24. haftalarda daha olumlu sonuçlarla ilişkili olduğu bildirilmiştir. Bununla birlikte, söz konusu sonuçlar farklı PBM uygulama teknikleri ve protokolleri kullanılan çalışmaların birlikte değerlendirilmesine dayanmaktadır (da Silva et al., 2024).

PBM'nin periodontal tedaviye katkısı yalnızca klinik ataşman ve cep derinliği gibi ölçümler üzerinden değerlendirilmemektedir. Periodontal dokuların tedavi sonrasındaki iyileşme süreci, inflamatuvar yanıt ve postoperatif semptomlar da PBM'nin araştırıldığı başlıca alanlar arasındadır. Özellikle periodontal cerrahi sonrasında uygulanan düşük düzeyli lazer veya ışık tedavilerinin erken dönem ağrı kontrolü ve yara iyileşmesi üzerindeki olası etkileri araştırılmıştır. Mevcut sistematik derleme verileri, cerrahi sonrasında PBM uygulamasının özellikle erken postoperatif dönemde ağrı ve analjezik gereksiniminde azalma sağlayabileceğine ilişkin bulgular sunmaktadır (Zhao et al., 2021).

Periodontal PBM çalışmalarında elde edilen sonuçların birbirinden farklı olmasının önemli nedenlerinden biri, uygulama protokollerindeki çeşitliliktir. Kullanılan ışık kaynağı ve dalga

boyunun yanı sıra ışığın periodontal dokulara ulaştırılma şekli, uygulama seanslarının sayısı, tedavi zamanlaması ve takip süresi çalışmalar arasında değişmektedir (da Silva et al., 2024). Bu heterojenite, olumlu sonuç bildiren çalışmaların bulgularının tek bir standart PBM protokolüne dönüştürülmesini güçleştirmektedir. Bu nedenle mevcut literatür, PBM'nin periodontal tedavide belirli klinik koşullarda yararlı bir yardımcı yaklaşım olabileceğini düşündürmekle birlikte, uygulamanın mekanik periodontal tedavinin alternatifi olarak değerlendirilmesini desteklememektedir. Güncel kanıtların daha anlamlı biçimde karşılaştırılabilmesi için uygulama protokollerinin daha iyi standardize edildiği, yeterli örneklem büyüklüğüne sahip ve uzun dönem takip içeren klinik çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır (da Silva et al., 2024).

Sonuç olarak PBM, periodontal tedavide mekanik tedaviyi tamamlayabilecek non-invaziv bir yardımcı uygulama olarak değerlendirilmektedir. Mevcut bulgular özellikle periodontal klinik parametreler ve bazı postoperatif sonuçlar açısından potansiyel yararları işaret etse de, farklı uygulama protokollerinin neden olduğu heterojenlik nedeniyle PBM'nin klinik etkinliğine ilişkin sonuçların uygulama koşulları dikkate alınarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

7. GELECEKTEKİ YAKLAŞIM VE ÖNERİLER

Fotobiyomodülasyonun periodontal tedavideki yerinin daha net ortaya konulabilmesi için öncelikle uygulama yöntemlerinin daha ayrıntılı ve standart biçimde tanımlanması gerekmektedir. Mevcut çalışmalarda kullanılan ışık kaynakları, dalga boyları, uygulama dozları, ışınlama süreleri ve seans sayıları arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır. Uygulama tekniği ve tedavinin zamanlamasındaki değişkenlikler de eklendiğinde, elde edilen klinik sonuçların çalışmalar arasında doğrudan karşılaştırılması güçleşmektedir. Özellikle PBM dozimetresine ilişkin bilgilerin yetersiz veya farklı biçimlerde raporlanması, periodontal PBM literatüründeki önemli metodolojik sorunlardan biri olarak değerlendirilmektedir (Dalvi et al., 2021; Parker et al., 2019).

Gelecekte yapılacak çalışmalarda kullanılan ışık kaynağının özellikleri, dalga boyu, güç, enerji yoğunluğu, uygulama alanı, ışınlama süresi ve seansların zamanlaması gibi temel uygulama özelliklerinin açık biçimde bildirilmesi önem taşımaktadır. Bu bilgilerin ayrıntılı olarak raporlanması, farklı araştırmaların sonuçlarının karşılaştırılmasını kolaylaştıracağı gibi, benzer protokollerin farklı klinik ortamlarda tekrarlanabilmesine de katkı sağlayacaktır (Felician et al., 2023; Parker et al., 2019).

PBM'nin periodontal tedaviye sağladığı klinik katkının daha güvenilir biçimde değerlendirilebilmesi için iyi tasarlanmış randomize kontrollü klinik çalışmalara ihtiyaç devam etmektedir. Yeterli örneklem büyüklüğüne sahip çalışmaların yanı sıra, uygun randomizasyon yöntemlerinin kullanılması ve daha uzun takip sürelerinin planlanması önemlidir. Özellikle kısa dönemde ortaya çıkan klinik değişikliklerin uzun dönemde devam edip etmediğinin belirlenmesi, PBM'nin periodontal tedavi sonuçları üzerindeki gerçek etkisinin anlaşılmasına katkı sağlayacaktır (da Silva et al., 2024; Dalvi et al., 2021).

Gelecekteki araştırmalarda klinik periodontal bulguların, PBM'nin olası biyolojik etkilerini değerlendiren yöntemlerle birlikte ele alınması da yöntemin etki mekanizmasının daha iyi anlaşılmasına katkı sağlayabilir. PBM'nin hücresel ve moleküler düzeyde oluşturduğu değişikliklerin klinik sonuçlarla birlikte değerlendirilmesi, gözlenen klinik yanıtların biyolojik temelini açıklanmasına yardımcı olabilir (Felician et al., 2023).

Bunun yanında, PBM'nin farklı periodontal hastalık şiddetlerinde ve farklı tedavi yaklaşımlarıyla birlikte nasıl bir klinik yarar sağlayabileceğinin ortaya konulması gerekmektedir. Farklı uygulama tekniklerinin ve tedavi protokollerinin karşılaştırılması, hangi klinik koşullarda daha belirgin bir yarar elde edilebileceğinin anlaşılmasına katkı sağlayabilir. Böylece fotobiyomodülasyonun periodontal tedavideki kullanımı, tek bir standart uygulama yaklaşımından ziyade, elde edilen bilimsel kanıtlar doğrultusunda uygun klinik koşullar temelinde şekillendirilebilir (da Silva et al., 2024; Dalvi et al., 2021).

KAYNAKLAR

- Aoki, A., Mizutani, K., Mikami, R., Ohsugi, Y., Kobayashi, H., Akizuki, T., Taniguchi, Y., Takeuchi, Y., Katagiri, S., Sasaki, Y., Komaki, M., Meinzer, W., Izumi, Y., & Iwata, T. (2023). Er:YAG laser-assisted comprehensive periodontal pocket therapy for residual periodontal pocket treatment: A randomized controlled clinical trial. *J Periodontol*, 94(10), 1187-1199. <https://doi.org/10.1002/jper.22-0552>
- Coluzzi, D., Anagnostaki, E., Mylona, V., Parker, S., & Lynch, E. (2020). Do Lasers Have an Adjunctive Role in Initial Non-Surgical Periodontal Therapy? A Systematic Review. *Dentistry Journal*, 8(3), 93. <https://www.mdpi.com/2304-6767/8/3/93>
- da Silva, R. C. M., da Silva, L. G. C., Martins, A. A., de Araújo, C. M., & Martins, A. (2024). Adjunctive photobiomodulation to Basic Periodontal therapy using different low-power laser application techniques: a systematic review and meta-analysis. *Lasers Med Sci*, 39(1), 207. <https://doi.org/10.1007/s10103-024-04148-2>
- da Silva, T. G., Ribeiro, R. S., Mencalha, A. L., & de Souza Fonseca, A. (2023). Photobiomodulation at molecular, cellular, and systemic levels. *Lasers Med Sci*, 38(1), 136. <https://doi.org/10.1007/s10103-023-03801-6>
- Dalvi, S., Benedicenti, S., & Hanna, R. (2021). Effectiveness of Photobiomodulation as an Adjunct to Nonsurgical Periodontal Therapy in the Management of Periodontitis- A Systematic Review of in vivo Human Studies. *Photochemistry and Photobiology*, 97(2), 223-242. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/php.13348>
- Dominique, C., Rethoré, G., Verner, C., Alliot, C., Soueidan, A., & Struillou, X. (2024). Use of Lasers in the Nonsurgical Treatment of Peri-Implantitis: A Systematic Review of the Literature. *J Oral Implantol*, 50(5), 552-560. <https://doi.org/10.1563/aaaid-joi-D-23-00028>
- El Mobadder, M., Namour, A., & Nammour, S. (2023). Laser-Assisted Non-Surgical Treatments of Periodontitis. *Encyclopedia*, 3(2), 458-467. <https://www.mdpi.com/2673-8392/3/2/31>
- Eltahir, L., Elgendy, M., Ali, G., Elamin, A., Omer, S., & Khazam, N. (2025). Photobiomodulation in dentistry: Mechanisms, clinical applications and evidence-based guidelines. *Bioinformation*, 21(11), 4203-4206. <https://doi.org/10.6026/973206300214203>
- Felician, M. C. P., Belotto, R., Tardivo, J. P., Baptista, M. S., & Martins, W. K. (2023). Photobiomodulation: Cellular, molecular, and clinical aspects. *Journal of Photochemistry and Photobiology*, 17, 100197. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jpap.2023.100197>
- Hamblin, M. R. (2017). Mechanisms and applications of the anti-inflammatory effects of photobiomodulation. *AIMS Biophys*, 4(3), 337-361. <https://doi.org/10.3934/biophy.2017.3.337>
- Hamblin, M. R. (2018). Mechanisms and Mitochondrial Redox Signaling in Photobiomodulation. *Photochem Photobiol*, 94(2), 199-212. <https://doi.org/10.1111/php.12864>
- Lavu, V., Kumar, D., Krishnakumar, D., Maheshkumar, A., Agarwal, A., Kirubakaran, R., & Muthu, M. S. (2022). Erbium lasers in non-surgical periodontal therapy: an umbrella review and evidence gap map analysis. *Lasers in Medical Science*, 37(1), 103-120. <https://doi.org/10.1007/s10103-022-03504-4>
- Liebert, A., Capon, W., Pang, V., Vila, D., Bicknell, B., McLachlan, C., & Kiat, H. (2023). Photophysical Mechanisms of Photobiomodulation Therapy as Precision Medicine. *Biomedicines*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/biomedicines11020237>
- Parker, S., Cronshaw, M., Anagnostaki, E., Bordin-Aykroyd, S. R., & Lynch, E. (2019). Systematic Review of Delivery Parameters Used in Dental Photobiomodulation

- Therapy. *Photobiomodulation, Photomedicine, and Laser Surgery*, 37(12), 784-797.
<https://doi.org/10.1089/photob.2019.4694>
- Parker, S., Cronshaw, M., Anagnostaki, E., Mylona, V., Lynch, E., & Grootveld, M. (2020). Current Concepts of Laser-Oral Tissue Interaction. *Dent J (Basel)*, 8(3).
<https://doi.org/10.3390/dj8030061>
- Patel, S., Awan, K. H., Freitas, C. M. T., Bhandi, S., Licari, F. W., & Patil, S. (2023). Diode laser targeting red-complex bacteria in periodontitis: a systematic review. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, 27(24), 11806-11816.
https://doi.org/10.26355/eurev_202312_34779
- Salvi, G. E., Stähli, A., Schmidt, J. C., Ramseier, C. A., Sculean, A., & Walter, C. (2020). Adjunctive laser or antimicrobial photodynamic therapy to non-surgical mechanical instrumentation in patients with untreated periodontitis: A systematic review and meta-analysis. *J Clin Periodontol*, 47 Suppl 22, 176-198. <https://doi.org/10.1111/jcpe.13236>
- Tetè, G., Ferrante, L., Moretto, M., Rellandini, G., & Polizzi, E. (2021). The efficacy of the diode laser at 800-980 nm as an aid to non-surgical therapy in periodontitis treatment: a review of literature. *J Biol Regul Homeost Agents*, 35(4 Suppl. 1), 51-63.
<https://doi.org/10.23812/21-4suppl-5>
- Theodoro, L. H., Marcantonio, R. A. C., Wainwright, M., & Garcia, V. G. (2021). LASER in periodontal treatment: is it an effective treatment or science fiction? *Braz Oral Res*, 35(Suppl 2), e099. <https://doi.org/10.1590/1807-3107bor-2021.vol35.0099>
- Vagdouti, T., Theodoridis, C., Tseleki, G., & Vouros, I. (2023). Long-term clinical outcomes of Er:YAG or Er,Cr:YSGG lasers utilized as monotherapy or as adjuncts to mechanical therapy in the treatment of chronic periodontitis: a systematic review. *Lasers in Dental Science*, 7(1), 1-16. <https://doi.org/10.1007/s41547-023-00176-3>
- Yu, S., Zhao, X., Zhang, Y., Liu, Y., Li, A., & Pei, D. (2022). Clinical effectiveness of adjunctive diode laser on scaling and root planing in the treatment of periodontitis: is there an optimal combination of usage mode and application regimen? A systematic review and meta-analysis. *Lasers in Medical Science*, 37(2), 759-769.
<https://doi.org/10.1007/s10103-021-03412-z>
- Zhao, H., Hu, J., & Zhao, L. (2021). The effect of low-level laser therapy as an adjunct to periodontal surgery in the management of postoperative pain and wound healing: a systematic review and meta-analysis. *Lasers Med Sci*, 36(1), 175-187.
<https://doi.org/10.1007/s10103-020-03072-5>

BÖLÜM 5

PERİODONTAL REJENERASYONDA DOKU MÜHENDİSLİĞİ: TEMEL İLKELER VE GÜNCEL YAKLAŞIMLAR

Hilal SERT¹

¹ Araştırma Görevlisi, Erciyes Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Periodontoloji Ana Bilim Dalı, ORCID: 0009-0006-1545-6547

GİRİŞ

Periodontal hastalıklar, dişleri destekleyen dokuların bütünlüğünü ve dişlerin uzun dönem korunmasını olumsuz etkiler. Hastalığın kontrolü ve periodontal sağlığın sürdürülmesinin yanında, kaybedilen dokuların yapısal ve işlevsel bütünlüğünün yeniden sağlanması rejeneratif tedavilerin temel hedefidir (Reynolds vd., 2015; Swanson vd., 2022).

Periodontal dokuların farklı yapısal özellikleri ve birbirleriyle kurdukları işlevsel bağlantılar, rejeneratif tedavilerin tasarımını güçleştirmektedir. Doku mühendisliği, bu gereksinimlere yönelik hücresel ve biyomateryal temelli çözümler geliştirilmesine olanak sağlamaktadır (Ivanovski vd., 2014; Swanson vd., 2022).

Bu kitap bölümünde öncelikle periodontal rejenerasyon ve doku mühendisliğinin temel kavramları açıklanacak; ardından hücre kaynakları, bariyer membranlar, doku iskeleleri ve biyolojik sinyaller ele alınacaktır. Ayrıca gelişen teknolojiler ve bu yaklaşımların klinik uygulamaya geçişinde karşılaşılan sınırlılıklar değerlendirilecektir.

1. PERİODONTAL REJENERASYON VE DOKU MÜHENDİSLİĞİNİN TEMEL KAVRAMLARI

1.1. Periodontal Rejenerasyon ve Onarım

Periodontal rejenerasyon, kaybedilen sement, periodontal ligament ve alveoler kemiğin aralarındaki yapısal ve işlevsel ilişkiler yeniden kurulacak biçimde oluşmasıdır. Yeni sement ve kemik gelişimine, bu dokular arasında işlevsel bağlantı kuran ligament liflerinin oluşumu eşlik etmelidir. Başarı değerlendirmesinde mineralize doku miktarı kadar ataşman kompleksinin bütünlüğü de önemlidir (Ivanovski vd., 2014; Swanson vd., 2022).

Onarım, doku devamlılığının sağlandığı ancak yapı ve işlevin tam olarak yeniden oluşmadığı iyileşmedir. Kök yüzeyinde uzun birleşim epiteli gelişmesi, yeni sement ve bu semente tutunan ligament liflerinin oluşmasından farklıdır. Klinik ataşman kazancı ve radyografik kemik dolumu tedavi yanıtını gösterse de gerçek rejenerasyonun doğrulanmasında histolojik inceleme de gereklidir (Reynolds vd., 2015; Swanson vd., 2022).

1.2. Periodontal Rejenerasyonun Biyolojik Temelleri

Periodontal yara iyileşmesinde, kök yüzeyine yerleşen hücrelerin hangi dokudan geldiği iyileşmenin nasıl ilerleyeceğini etkiler. Yönlendirilmiş doku rejenerasyonu, periodontal ligament kaynaklı hücrelerin yeni ataşman dokuları oluşturma potansiyeline dayanır. Bu amaçla epitel ve diş eti bağ dokusunun kök yüzeyine erken dönemde ulaşması sınırlandırılır ve periodontal ligament hücrelerinin bölgede yerleşmesine fırsat tanınır (Nyman vd., 1982).

Nyman ve arkadaşları (1982), bu yaklaşımı ileri periodontal yıkım bulunan bir insan dişinde uygulamış ve üç aylık iyileşmenin ardından kök yüzeyinde yeni sement ile bu semente tutunan liflerin oluştuğunu göstermiştir. Tek bir dişle sınırlı olsa da bu histolojik bulgu, uygun iyileşme koşullarında yeni bağ dokusu ataşmanının gelişebileceğini ortaya koyması açısından önemlidir.

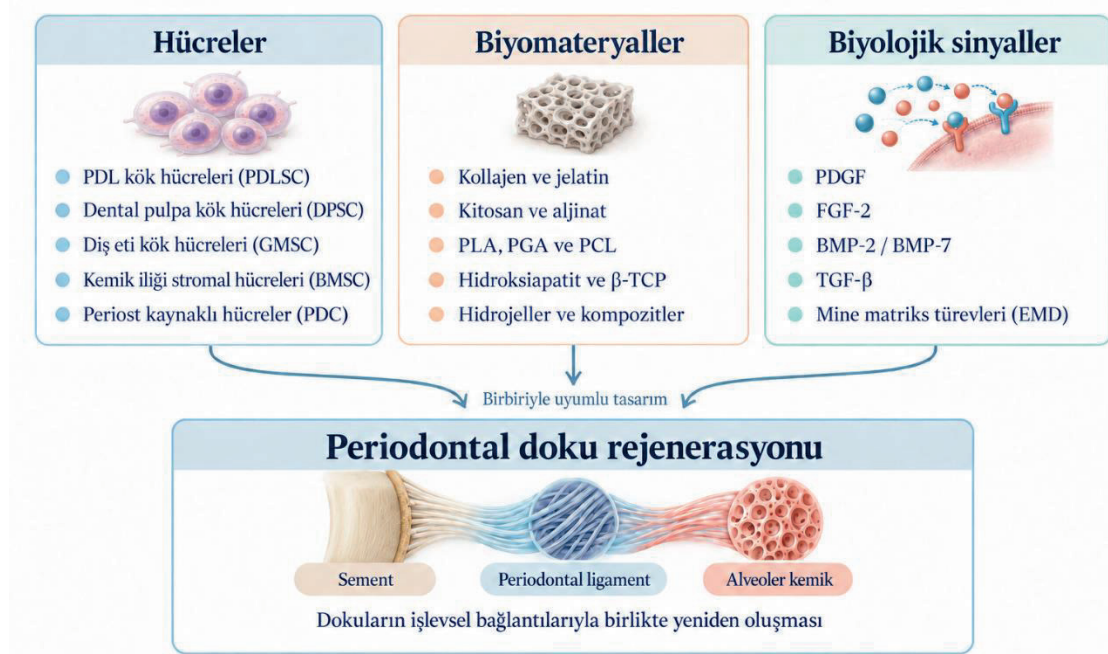
Periodontal rejenerasyonda, yeni oluşan dokuların birbirleriyle uyumlu biçimde gelişmesi de gerekir. Sement ve alveoler kemik oluşurken aradaki periodontal ligament boşluğu korunmalı, ligament lifleri bu dokular arasında işlevsel bir bağlantı kuracak şekilde düzenlenmelidir. Bu

nedenle doku mühendisliği tasarımlarının hem doku oluşumunu desteklemesi hem de dokular arasındaki sınırların ve bağlantıların yeniden kurulmasına yardımcı olması beklenir (Ivanovski vd., 2014).

1.3. Doku Mühendisliğinin Tanımı ve Temel Bileşenleri

Doku mühendisliği, hasar gören veya kaybedilen dokuların yapı ve işlevlerini yeniden kazandırmak için hücrelerden, biyomateriyallerden ve biyolojik sinyallerden yararlanan disiplinler arası bir alandır. Periodontal dokulardaki temel amaç, sement, periodontal ligament ve alveoler kemiğin aralarındaki işlevsel bağlantılarla birlikte yeniden oluşmasını sağlamaktır (Ivanovski vd., 2014; Swanson vd., 2022).

Bu yaklaşımda her bileşen farklı bir görev üstlenir. Hücreler yeni dokunun oluşumuna katkıda bulunur; doku iskeleleri ise hücrelerin tutunabileceği, yerleşebileceği ve organize olabileceği üç boyutlu bir ortam sunar. Biyolojik sinyaller, hücrelerin çoğalmasını ve farklılaşmasını yönlendirir. Bu nedenle hücre, iskele ve biyolojik sinyal seçimi, yeniden oluşturulacak dokunun gereksinimleri gözetilerek birbiriyle uyumlu biçimde yapılmalıdır (Swanson vd., 2022). Doku mühendisliğinin temel bileşenleri ve periodontal rejenerasyondaki ortak hedefleri Şekil 1.1’de özetlenmiştir.



Şekil 1.1.: Periodontal doku mühendisliğinde kullanılan başlıca hücre kaynakları, biyomateriyaller ve biyolojik sinyallerin şematik gösterimi.

2. HÜCRE KAYNAKLARI VE KÖK HÜCRE TEMELLİ YAKLAŞIMLAR

Periodontal ligament, dental pulpa, diş eti ve kemik iliği kaynaklı hücreler; çoğalma, farklılaşma ve çevredeki hücrelerin davranışlarını düzenleme kapasiteleri bakımından araştırılmaktadır. Hücre seçiminde mineralize doku oluşumunun yanında sement ve ligament organizasyonu da değerlendirilmelidir (Seo vd., 2004; Tsumanuma vd., 2011).

2.1. Periodontal Ligament Kaynaklı Kök Hücreler

Periodontal ligament kaynaklı kök hücreler (periodontal ligament stem cells, PDLSC'ler), periodontal ataşman kompleksinin yeniden oluşturulmasında araştırılan hücre kaynaklarındandır. Seo ve arkadaşları (2004), insan periodontal ligamentinde klonojenik ve çok yönlü farklılaşma kapasitesine sahip hücreler tanımlamış; immün yetmezlikli farelere transplantasyon sonrasında sement–ligament benzeri yapılar oluştuğunu göstermiştir.

Chen ve arkadaşlarının (2016)) randomize klinik çalışmasında, otolog PDLSC'lerin greft ve yönlendirilmiş doku rejenerasyonuna eklenmesi değerlendirilmiştir. Hücre uygulamasına atfedilen belirgin bir güvenlik sorunu saptanmamış; ancak kontrol grubuna göre klinik ve kemik parametrelerinde anlamlı üstünlük gösterilememiştir. Bu sonuç, hücre uygulamasının mevcut tedavinin başarısını ne ölçüde artırdığının henüz net olmadığını göstermektedir.

2.2. Dental Pulpa Kaynaklı Kök Hücreler

Dental pulpa kaynaklı kök hücrelerin (dental pulp stem cells, DPSC) dentin ve pulpa benzeri dokular oluşturabildiği gösterilmiş, ancak bu bulgular doğrudan periodontal ataşmanın yeniden oluştuğunu ortaya koymamıştır (Gronthos vd., 2000).

Periodontal uygulamalara ilişkin Ferrarotti ve ark. (2018) tarafından yürütülen randomize kontrollü çalışmada, DPSC bakımından zengin otolog mikrogreftler kollajen süngerle birlikte kemik içi defektlere uygulanmıştır. On iki aylık izlemde kontrol grubuna kıyasla sondalama derinliği, klinik ataşman kazancı ve radyografik defekt dolumu açısından daha olumlu sonuçlar bildirilmiştir. Bununla birlikte, kullanılan materyalin saflaştırılmış bir kök hücre popülasyonu değil, DPSC bakımından zengin hücresel bir mikrogreft olduğu göz önünde bulundurulmalıdır (Ferrarotti vd., 2018).

2.3. Diş Eti Kaynaklı Mezenkimal Kök Hücreler

Diş eti kaynaklı mezenkimal kök hücreler (gingival mesenchymal stem cells, GMSC'ler), erişilebilirlikleri ve immünomodülatör özellikleri nedeniyle araştırılmaktadır. Zhang ve arkadaşları (2009), bu hücrelerin deneysel kolit modelinde inflamasyonla ilişkili doku hasarını azaltabildiğini bildirmiştir. Bu sonuç, periodontal rejenerasyonun doğrudan kanıtı olmayıp immünomodülatör etkinin periodontal dokulardaki katkısının ayrıca incelenmesini gerektirir.

2.4. Kemik İliği ve Periost Kaynaklı Hücreler

Tsumanuma ve arkadaşları (2011), köpeklerde oluşturulan tek duvarlı kemik içi defektlere periodontal ligament, alveoler periost ve kemik iliğinden elde edilen hücre tabakalarını uygulayarak iyileşme sonuçlarını karşılaştırmıştır. Sekiz hafta sonunda, periodontal ligament kaynaklı hücrelerin kullanıldığı grupta yeni sement oluşumu ve ligament liflerinin uygun yönde düzenlenmesi daha belirgin bulunmuştur. Bu bulgular, hücre seçerken kemik oluşturma kapasitesinin yanı sıra sement ve ligament gelişimine sağlanan katkının da dikkate alınması gerektiğine işaret etmektedir.

2.5. Hücrelerin Uygulanma Biçimleri

Hücreler; kültürde çoğaltılarak bir taşıyıcıyla, doku mikrogreftleri içinde veya kendi matriksleri korunmuş hücre tabakaları hâlinde uygulanabilir. Hazırlanma yöntemi, hücresel bileşim,

taşıyıcı ve eşlik eden cerrahi işlem farklı olduğundan bu ürünlerin sonuçları eşdeğer kabul edilmemelidir (Chen vd., 2016; Ferrarotti vd., 2018; Iwata vd., 2018).

3. BİYOMATERYALLER VE DOKU İSKELELERİ

Periodontal rejenerasyonda biyomateriyaller; iyileşme alanını korumak, hücrelere destek sağlamak ve biyolojik sinyalleri taşımak amacıyla kullanılmaktadır. Membranlar ile üç boyutlu doku iskeleleri bu görevleri farklı biçimlerde üstlenir. Bu bölümde önce klinik membranların özellikleri, ardından iskelelerin tasarım ilkeleri ve materyal örnekleri ele alınmaktadır (Bottino vd., 2011; Park vd., 2012).

3.1. Yönlendirilmiş Doku Rejenerasyonu: Membranlar ve Rejeneratif Tasarım İlkeleri

Yönlendirilmiş doku rejenerasyonunda (YDR) membranlar, Bölüm 1.2’de açıklanan seçici hücre kolonizasyon ilkesinin uygulanmasını sağlar. Membranların temel görevi hücrelerin iyileşme bölgesine geçişini düzenlemekken, üç boyutlu iskelelerde yapı içindeki hücre yerleşim ve doku organizasyonu ön plana çıkar. Çok katmanlı ve biyolojik olarak işlevlendirilmiş tasarımlar bu görevleri aynı yapı içinde birleştirebilir (Nyman vd., 1982; Bottino vd., 2011).

3.1.1. Membranların Temel Özellikleri ve Sınıflandırılması

Membranlar değerlendirilirken dokularla uyumu, istenmeyen hücrelerin geçişini engelleme kapasitesi, mekanik dayanıklılığı, defekte uyumu ve rejenerasyon için gerekli alanı koruyabilmesi dikkate alınır. Rezorbe olabilen membranlar zamanla parçalanırken, rezorbe olmayanların çıkarılması gerekir. Bariyer işlevinin süresi ile iyileşme hızı arasındaki uyum, ürünün yapısına ve uygulama koşullarına bağlıdır (Rothamel vd., 2005; Thomas vd., 2012).

Kollajen membranlar, farklı hayvansal kaynaklardan elde edilen çapraz bağlı veya çapraz bağırsız rezorbe olabilen bariyerlerdir. Çıkarmak için ikinci bir cerrahi gerektirmezler; ancak desteksiz defektlerde hacmin korunması için greft veya ek destek gerekebilir. Kollajen membran–greft kombinasyonları periodontal kemik içi defektlerde klinik olarak değerlendirilmiştir (Camargo vd., 2000; Wang vd., 2025).

Çapraz bağlama kollajenin bozunma direncini değiştirir. Rothamel ve arkadaşları (2005), ratlarda bazı çapraz bağlı ürünlerin daha yavaş bozunmasına düşük doku entegrasyonu ve vaskülarizasyonun eşlik edebildiğini göstermiştir. Wang ve arkadaşlarının (2025) 174 hastalık çalışmasında ise kemik ikamesiyle birlikte kullanılan belirli bir çapraz bağlı membran, 24 haftalık birincil birleşik sonuçta çapraz bağırsız karşılaştırmadan aşağı kalmamıştır. Dolayısıyla değerlendirme ürün ve endikasyona özgü yapılmalıdır.

Sentetik rezorbe olabilen bariyerlere polilaktik asit (PLA) temelli membranlar örnektir. Thomas ve arkadaşları (2012), PLA membranları subkutan biyoyumluluk, antimikrobiyal etki ve hücre toksisite bakımından incelemiştir. Çalışma, ilaç taşıyan biyobozunur membran tasarımına deneysel bir örnek olup insan periodontal defektlerinde klinik etkinliği göstermez.

Genişletilmiş politetrafloroetilen (e-PTFE) ve yoğun politetrafloroetilen (d-PTFE), mikrostrüktürleri farklı rezorbe olmayan bariyerlerdir. Turri ve arkadaşları (2021), insan gönüllülerde ağız ortamına açık her iki yüzeyde erken bakteriyel kolonizasyon göstermiştir. Bu nedenle d-PTFE'nin yoğun yapısı biyofilm oluşumunu tamamen engelleyen bir özellik olarak değerlendirilmemelidir.

3.1.2. Titanyumla Güçlendirilmiş Membranlar ve Titanyum Ağlar

Titanyumla güçlendirilmiş PTFE membranlarda metal destek, polimer bariyerin şeklini ve rejenerasyon alanını korur. Bu yapılar insan periodontal kemik içi defektlerinde kontrollü klinik çalışmalarda da değerlendirilmiştir (Cortellini vd., 1995).

Titanyum ağlar, kemik artırımını sırasında hacmi koruyan metal yapılardır; açıklıkları nedeniyle sürekli polimer bariyerlerle aynı hücresel dışlama özelliğine sahip değildir ve ek membranla kullanılabilir. Cucchi ve arkadaşlarının (2017) çalışması, titanyum destekli d-PTFE ile kollajen membranla örtülü titanyum ağı vertikal kret artırımını bağlamında karşılaştırmıştır. Bu sonuçlar periodontal ataşman rejenerasyonuna doğrudan genellenemez. Her iki yaklaşım da uygun yumuşak doku yönetimi ve materyalin uzaklaştırılmasını gerektirir.

Yönlendirilmiş doku rejenerasyonunda kullanılan membranlar ve titanyum ağların temel özellikleri Tablo 3.1'de özetlenmiştir.

Tablo 3.1: Membranların ve titanyum ağların temel özellikleri

MATERYAL	TEMEL ÖZELLİK	BAŞLICA SINIRLILIK
Kollajen membran	Rezorbe olabilir; uzaklaştırılması gerekmez.	Mekanik desteği ve rezorpsiyon süresi değişkendir.
Sentetik rezorbe olabilen membran	Biyobozunur polimer yapısındadır.	Mekanik özellikleri ve rezorpsiyon süreci birlikte değerlendirilmelidir.
e-PTFE / d-PTFE	Farklı mikrostrüktürlere sahip, rezorbe olmayan bariyerlerdir.	Çıkarılması gerekir; ekspoze olduğunda biyofilm oluşabilir.
Titanyumla güçlendirilmiş PTFE	Bariyer işlevine ek olarak mekanik destek sağlar.	Çıkarılması gerekir; yumuşak dokunun primer kapatılması önemlidir.
Titanyum mesh (ağ)	Kemik artırımını için oluşturulan hacmi korur.	Ek bir membran gerektirebilir; çıkarılması gerekir.

Kaynak: Cortellini vd. (1995), Rothamel vd. (2005), Thomas vd. (2012), Cucchi vd. (2017) ve Turri vd. (2021) çalışmalarından yararlanılarak hazırlanmıştır.

3.1.3. Rejenerasyon Alanının ve Yara Stabilitesinin Korunması

YDR'nin başarısı, istenmeyen hücrelerin iyileşme alanına geçişinin engellenmesi kadar, bu alandaki pıhtının ve yara stabilitesinin korunmasına da bağlıdır. Kök yüzeyi ile iyileşen dokular arasındaki pıhtının bozulmaması, yeni doku oluşumu için yeterli alanın sağlanması ve yara bölgesindeki hareketin azaltılması gerekir. Wikesjö ve Nilvéus (1990), deneysel çalışmalarında yara stabilizasyonunun periodontal iyileşmedeki önemini değerlendirmiştir. Membranın defekte uyumlandırılması ve gerektiğinde sabitlenmesi de bu iyileşme koşullarının korunmasına katkı sağlar.

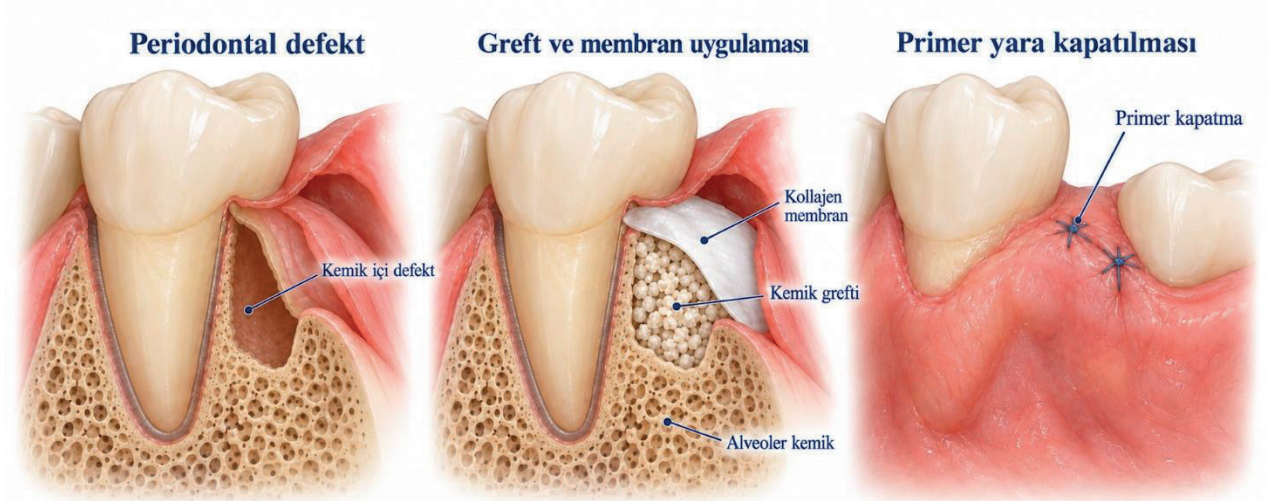
Membranın defekt içine çökmesi, yeni dokuların gelişebileceği alanı daraltabilir. Yara kenarlarının açılması ise membranın ağız ortamına ekspoze olmasına neden olabilir. Bu nedenle flebin kanlanması korunmalı ve gerginlik oluşturmada primer kapatma sağlanmalıdır. Mekanik açıdan dayanıklı bir materyal kullanılsa da yumuşak dokuların dikkatle yönetilmesi gerekir. Özellikle destekleyici kemik duvarlarının yetersiz olduğu defektlerde, rejenerasyon alanının korunması ve yara kapanması birlikte planlanmalıdır (Cortellini vd., 1995; Cucchi vd., 2017).

3.1.4. Membranların Kemik Greftleriyle Birlikte Kullanımı

Periodontal rejeneratif tedavilerde membranlar ve kemik greftleri farklı ancak birbirini tamamlayan işlevler üstlenebilir. Membranlar istenmeyen hücrelerin rejenerasyon alanına göçünü sınırlandırırken, greft materyalleri defekt hacminin korunmasına ve yeni doku oluşumu için uygun bir ortam sağlanmasına katkıda bulunur. Camargo ve ark. (2000), periodontal kemik içi defektlerde sığır kaynaklı kemik minerali ile kollajen membranın birlikte kullanımını klinik olarak değerlendirmiştir. Bununla birlikte, membran ve greft kombinasyonunun gerekliliği defektin özelliklerine ve kullanılan materyallere göre değerlendirilmelidir.

Kemik greftleri kökenlerine göre otogreft, allogreft, ksenogreft ve sentetik olarak üretilen alloplastik materyaller şeklinde sınıflandırılır. Hidroksiapatit ve β -trikalsiyum fosfat, periodontal rejenerasyonda kullanılan alloplastik materyallere örnektir. Greft seçiminde materyalin kökeninin yanı sıra yapısal özellikleri, işlenme yöntemi ve rezorpsiyon davranışı ile defektin morfolojisi ve destek gereksinimi birlikte dikkate alınmalıdır (Sanz vd., 2020).

Kemik grefti ve kollajen membranın birlikte kullanıldığı bir YDR uygulamasının aşamaları Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Kemik grefti ve kollajen membran kullanılarak uygulanan yönlendirilmiş doku rejenerasyonunun aşamaları. Solda kemik içi periodontal defekt, ortada defektin greftle doldurulması ve kollajen membranla örtülmesi, sağda ise yumuşak dokuların sütürlerle yaklaştırılarak primer yara kapatılmasının sağlanması gösterilmektedir.

3.1.5. Klinik Uygulamayı Etkileyen Faktörler ve Sınırlılıklar

YDR'nin klinik yeri, başlangıç periodontal tedavisini takiben devam eden defektlerin özellikleriyle birlikte değerlendirilmelidir. Avrupa Periodontoloji Federasyonu S3 kılavuzu, 3 mm veya daha derin kemik içi defektlerle ilişkili rezidüel derin cepler için periodontal rejeneratif cerrahiyi önermektedir. Rejeneratif seçenekler arasında bariyer membranlar veya mine matriks türevleri, kemik kaynaklı greftlerle birlikte ya da tek başına yer alır. Furkasyonlarda ise özellikle mandibular ve maksiller bukkal Sınıf II defektlere ilişkin öneriler, bütün furkasyon tiplerine genellenmemelidir (Sanz vd., 2020).

Defektin derinliği ve duvar yapısı, materyal desteğini ve iyileşme ortamını etkileyen özelliklerdir. Wang ve arkadaşlarının (2025) çalışmasında da defekt morfolojisi ve başlangıç derinliği sonuçlarla ilişkili bulunmuştur. Hasta düzeyinde plak kontrolü, sigara kullanımı, sistemik risklerin yönetimi ve destekleyici periodontal bakıma uyum tedavi planının parçasıdır (Sanz vd., 2020). Membran ekspozisyonu, biyofilm birikimi, alan kaybı ve rezorbe olmayan materyallerin çıkarılması gereksinimi ise uygulamanın başlıca sınırlılıkları arasında değerlendirilmelidir (Cucchi vd., 2017; Turri vd., 2021).

3.1.6. Geleneksel Bariyerlerden İşlevsel Membranlara Geçiş

Günümüzde bariyer membranlar, yalnızca istenmeyen hücrelerin rejenerasyon alanına geçişini sınırlandıran yapılar olmaktan çıkarak iyileşme sürecini destekleyen işlevsel biyomateriyallere doğru gelişmektedir. Bu kapsamda membranlara antimikrobiyal özellik kazandırılması ve hücrelerin tutunması ile doku oluşumunu destekleyecek biçimde tasarlanması ön plana çıkmaktadır. Farklı işlevlerin ayrı tabakalarda bir araya getirildiği çok katmanlı membranlar bu yaklaşımın önemli örneklerinden biridir (Bottino vd., 2011). Bu gelişmeler, periodontal

rejenerasyonda membranların yalnızca fiziksel bir bariyer olarak değil, rejeneratif sürece katkı sağlayan bir iskele olarak da değerlendirildiğini göstermektedir.

3.2. İskele Tasarımında Temel Gereksinimler

Periodontal iskelelerin tasarımında biyoyumluluk, mekanik dayanıklılık, gözeneklilik ve biyobozunma özellikleri birlikte değerlendirilmelidir. İskele, iyileşme süresince yapısal desteğini korurken hücrelerin tutunmasına ve yapı içerisine ilerlemesine olanak sağlamalı; bağlantılı gözenek yapısı ise besin ve oksijen taşınımını ve vaskülarizasyonu desteklemelidir. Ayrıca bozunma hızının yeni doku oluşumuyla uyumlu olması önem taşır (Bottino vd., 2011; Rasperini vd., 2015; Sprio vd., 2018).

İskele mimarisinin hedef dokunun özelliklerine göre düzenlenmesi, özellikle periodontal ligamentin organizasyonu açısından önemlidir. Lif yönlendirici mikrokanallar içeren iskelelerin, periodontal ligament benzeri liflerin düzenlenmesini ve mineralize dokularla uygun bir arayüz oluşumunu destekleyebildiği gösterilmiştir (Park vd., 2012). Bu nedenle iskele geometrisi, periodontal dokuların yapısal organizasyonunu yönlendiren temel tasarım unsurlarından biridir.

3.3. Polimer Temelli ve Kompozit Biyomateriyaller

Periodontal doku mühendisliğinde doğal ve sentetik polimerler, biyoyumluluk, mekanik dayanıklılık ve kontrollü bozunma gibi farklı özellikleri bir araya getirmek amacıyla tek başına veya kompozit yapılar hâlinde kullanılmaktadır. Jelatin ve kitin gibi doğal materyaller ile PLA, PCL ve PLGA gibi sentetik polimerler bu amaçla değerlendirilen başlıca biyomateriyaller arasındadır (Bottino vd., 2011; Sowmya vd., 2017).

Kompozit sistemlerde polimer yapıya mineral veya antimikrobiyal bileşenlerin eklenmesiyle periodontal dokuların farklı gereksinimlerine yanıt verilmesi amaçlanmaktadır. Örneğin Bottino ve ark. (2011), nanohidroksiapatit ve metronidazol içeren çok katmanlı bir membran geliştirerek aynı yapı içerisinde mineralize doku oluşumunun desteklenmesini ve antimikrobiyal etkinliğin sağlanmasını hedeflemiştir. Bu tür yaklaşımlar, periodontal rejenerasyon için çok işlevli biyomateriyallerin geliştirilmesine temel oluşturmaktadır.

3.4. Hidrojel Temelli Sistemler

Hidrojeller, yüksek su içerikleri ve hücreler ile biyolojik moleküllerin taşınmasına uygun üç boyutlu yapıları nedeniyle periodontal doku mühendisliğinde kullanılan biyomateriyaller arasındadır. Bu sistemler, hücrelerin canlılığını ve etkileşimini destekleyen bir mikroçevre oluşturmaya yanı sıra büyüme faktörlerinin kontrollü olarak uygulanmasına da olanak sağlayabilir (De Souza Araújo vd., 2024).

Periodonsiyumun karmaşık yapısı nedeniyle farklı dokuları aynı yapı içerisinde hedefleyen çok katmanlı hidrojel sistemleri de geliştirilmiştir. Sowmya ve ark. (2017), sement, periodontal ligament ve alveoler kemiğe özgü üç katmanlı bir hidrojel iskele geliştirmiştir. Sement katmanında sement proteini-1 ve nanobiyoaktif cam seramiği, ligament katmanında fibroblast

büyüme faktörü-2 (FGF-2), kemik katmanında ise nanobiyoaktif cam seramiği ve trombosit zengin plazma kaynaklı büyüme faktörleri kullanılmıştır. Tavşan defekt modelinde elde edilen histolojik bulgular, bu yaklaşımın üç periodontal dokunun rejenerasyonunu destekleyebileceğini göstermiştir (Sowmya vd., 2017).

3.5. Çok Fazlı İskeleler ve Doku Arayüzlerinin Düzenlenmesi

Çok fazlı iskele yaklaşımı, periodontal kompleksin farklı bölümleri için ayrı yapısal veya biyolojik ortamlar oluşturulmasına dayanır. Burada “faz”, yalnızca farklı bir materyali değil, aynı materyalden üretilmiş olsa bile farklı mimariye ve işleve sahip bir bölgeyi de ifade edebilir. Bu tasarım anlayışında hedef, kemik oluşumunun desteklendiği bölge ile ligament organizasyonunun yönlendirildiği bölgeyi birbiriyle bağlantılı biçimde düzenlemektir (Park vd., 2012).

Çok fazlı yapılarda komşu bölgelerin birbirine bağlanması, farklı dokuların ortak bir işlevsel kompleks oluşturabilmesi açısından önem taşır. Lee ve arkadaşlarının (2014) üç fazlı tasarımı, sement/dentin arayüzü, ligament ve kemik bölgelerini tek bir iskele içinde düzenleyen bir örnektir. Bu tasarımın biyolojik sinyal taşıma yönü Bölüm 4.5’te ele alınmaktadır.

3.6. Kişiye Özgü İskelelerin Klinik Uygulamaya Geçişi

Kişiye özgü üç boyutlu üretim, defekt geometrisine uygun iskeleler hazırlanmasını sağlar. Rasperini ve arkadaşları (2015), hidroksiapatit içeren polikaprolakton iskelesini rhPDGF-BB ile birlikte bir periodontal defekte uygulamıştır. İlk yıl klinik ataşman kazancı bildirilmesine karşın, 13. ayda başlayan ekspozisyon ve yara kapanmasının bozulması nedeniyle iskele uzaklaştırılmıştır. Histolojik değerlendirmede ağırlıklı bağ dokusu iyileşmesi ve sınırlı kemik onarımı görülmüştür. Bu olgu, geometrik uyumun yanında rezorpsiyon, iç mimari ve yumuşak doku örtüsünün önemini göstermektedir.

4. BÜYÜME FAKTÖRLERİ VE BİYOLOJİK SİNYALLER

Biyolojik sinyaller hücrelerin çoğalması, göçü, farklılaşması ve matriks üretimini düzenler. Periodontal kompleksin yeniden oluşturulmasında sinyalin türünün yanında hangi bölgede ve ne kadar süre etkili olduğu da önemlidir (Nevins vd., 2005; Lee vd., 2014).

4.1. Trombosit Kaynaklı Büyüme Faktörü

Rekombinant insan trombosit kaynaklı büyüme faktörü-BB (rhPDGF-BB), taşıyıcıyla birlikte periodontal iyileşmeyi desteklemek amacıyla araştırılmıştır. Nevins ve arkadaşlarının (2005) 180 katılımcılı randomize çalışmasında, β -trikalsiyum fosfat (β -TCP) ile iki farklı konsantrasyon değerlendirilmiştir. 0,3 mg/mL uygulanan grupta altıncı ay radyografik kemik kazancı ve defekt dolumu kontrolden daha yüksek bulunmuş; üçüncü aydaki klinik ataşman üstünlüğü altıncı ayda korunmamıştır.

4.2. Fibroblast Büyüme Faktörü-2

Fibroblast büyüme faktörü-2'nin rekombinant formu trafermin, Kitamura ve arkadaşlarının (2016) iki faz III çalışmasında değerlendirilmiştir. Plasebo kontrollü 328 hastalık çalışmada, %0,3 rhFGF-2 ile 36. haftada radyografik kemik dolumu daha yüksek bulunmuş, klinik ataşman kazancında anlamlı fark gösterilememiştir. Aktif kontrollü 274 hastalık çalışmada ise doğrusal alveoler kemik artışı mine matriks türevinden daha fazla olmuştur. Bu sonuçlar radyografik ölçütlerle sınırlı olup genel klinik üstünlük olarak yorumlanmamalıdır.

4.3. Mine Matriks Türevleri

Mine matriks türevi (enamel matrix derivative, EMD), amelogenin ailesi proteinlerini içeren biyolojik bir preparattır. Biyolojik dayanağı, mine matriks proteinleri ile sement gelişimi arasındaki ilişkidir. Hammarström (1997), kök gelişiminde amelogenin ekspresyonunu ve deneysel uygulamalarda domuz kaynaklı mine matriksinin sement oluşumunu desteklediğini bildirmiştir.

Sculean ve arkadaşları (1999), çekimi planlanan dişlerdeki kemik içi defektlerde EMD ve rezorbe olabilen membranla YDR'yi karşılaştırmıştır. Altıncı ayda EMD grubunda yeni sement ve buna tutunan kollajen lifleriyle yeni bağ dokusu ataşmanı gösterilmiş; ancak her örnekte kemik rejenerasyonu görülmemiştir. Bu insan histolojisi bulgusu, periodontal dokuların aynı ölçüde yeniden oluşmayabileceğini göstermektedir.

4.4. Kemik Morfogenetik Proteinleri

Kemik morfogenetik proteinleri (BMP'ler) güçlü osteojenik etkileri nedeniyle araştırılmaktadır. Ancak kemik oluşumu desteklenirken periodontal ligament aralığının korunması gerekir.

Wikesjö ve arkadaşları (2003), köpeklerde YDR koşullarında kollajen taşıyıcıyla uygulanan rhBMP-2'nin kemik oluşumunu artırdığını; bununla birlikte ankilozun da arttığını ve sement rejenerasyonunda anlamlı fark oluşmadığını bildirmiştir. Bu nedenle BMP tasarımlarında doz, taşıyıcı ve bölgesel özellikler kadar istenmeyen mineralize birleşmelerin önlenmesi de önemlidir.

4.5. Biyolojik Sinyallerin Bölgesel Sunumu

Periodontal rejenerasyonda biyolojik sinyallerin etkinliği, kullanılan molekülün özelliklerinin yanı sıra hedef dokuya nasıl ve nerede sunulduğuyla da ilişkilidir. Periodonsiyumun sement, periodontal ligament ve alveoler kemikten oluşan çok dokulu yapısı, farklı bölgelerin kendine özgü biyolojik sinyallerle yönlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Çok fazlı iskeleler, bu sinyallerin ilgili doku bölgelerine kontrollü biçimde ulaştırılmasına olanak sağlayabilir.

Lee ve arkadaşları (2014), üç fazlı bir iskelede sement/dentin arayüzü için amelogenin, periodontal ligament bölgesi için bağ dokusu büyüme faktörü (CTGF), alveoler kemik bölgesi için ise BMP-2 kullanmıştır. Biyolojik sinyallerin polimer mikroküreler aracılığıyla bölgesel

olarak sunulduğu bu sistemde mineralize doku oluşumu ve ligament benzeri kollajen liflerinin organizasyonu bildirilmiştir. Bu bulgular, iskele mimarisi ile biyolojik sinyallerin bölgesel dağılımının birlikte planlanmasının dokuya özgü periodontal rejenerasyonu destekleyebileceğini göstermektedir.

5. GÜNCEL YAKLAŞIMLAR: HÜCRE TABAKALARI, ÜÇ BOYUTLU BİYOBASKI VE HÜCRESİZ STRATEJİLER

Güncel rejeneratif yaklaşımlar, periodontal dokuların karmaşık yapısını taklit ederek hücresel organizasyonu ve dokuya özgü mikroçevreyi desteklemeyi hedeflemektedir. Hücre tabakası teknolojisi ve biyobaskı, hücrelerin belirli bir düzen içinde organize edilmesine odaklanırken; hücre dışı veziküller, hücresizleştirilmiş matriksler ve hücre yönlendirme stratejileri doğrudan hücre nakline alternatif yaklaşımlar sunmaktadır (Iwata vd., 2018; Chew vd., 2019; Yang vd., 2023).

5.1. Hücre Tabakası Teknolojisi

Hücre tabakası teknolojisi (cell sheet engineering), hücrelerin kendi ürettikleri hücre dışı matriks ve hücreler arası bağlantılar korunarak bütün bir tabaka hâlinde elde edilmesine dayanır. Sıcaklığa duyarlı kültür yüzeyleri sayesinde hücre tabakaları enzimatik işlem gerektirmeden ayrılabilir ve rejenerasyon bölgesine taşınabilir (Iwata vd., 2018).

Iwata ve ark. (2018), otolog periodontal ligament hücrelerinden elde edilen hücre tabakalarını β -TCP ile birlikte on hastada uygulamış ve klinik ataşman düzeyi ile radyografik kemik yüksekliğinde iyileşme bildirmiştir. Ciddi advers olay saptanmamış olmakla birlikte, kontrol grubunun bulunmaması hücre tabakası tedavisinin doğrudan katkısının değerlendirilmesini sınırlandırmaktadır.

5.2. Hücre İçeren Üç Boyutlu Biyobaskı

Üç boyutlu biyobaskı, canlı hücrelerin biyomürekkep içerisinde kontrollü biçimde konumlandırılarak dokuya özgü yapıların oluşturulmasına olanak sağlayan bir yaklaşımdır. Periodontal uygulamalarda biyomürekkebin uygun mekanik özelliklere sahip olması ve baskı sonrasında hücre canlılığını desteklemesi temel gereksinimler arasındadır (De Souza Araújo vd., 2024).

Yang ve ark. (2023), jelatin metakrilat ve dental folikül kaynaklı hücresizleştirilmiş matriks içeren bir biyomürekkeple periodontal yapı geliştirerek köpek defekt modelinde kemik–ligament arayüzü ve lif organizasyonu açısından olumlu sonuçlar bildirmiştir. Benzer şekilde, De Souza Araújo ve ark. (2024) periodontal ligament kök hücrelerini (PDLSC) kollajen temelli biyomürekkeplerle kullanarak hücre canlılığı, organizasyonu ve kök yüzeyine yönelimini değerlendirmiştir. Bununla birlikte, ikinci çalışmanın ektopik implantasyon modeline dayanması, bulguların periodontal defektlere doğrudan aktarılmasını sınırlandırmaktadır.

5.3. Hücre Dışı Veziküller ve Eksozom Temelli Yaklaşımlar

Hücre dışı vezikül yaklaşımında, canlı hücre transplantasyonu yerine hücrelerin salgıladığı biyolojik sinyallerden yararlanılır. Mezenkimal kök hücre kaynaklı veziküllerin lokal uygulanması bu amaçla araştırılmaktadır (Chew vd., 2019).

Chew ve arkadaşları (2019), eksozom olarak tanımladıkları preparatı kollajen süngerle rat periodontal defektlerine uygulamış; yeni kemik ve ligament oluşumunu destekleyen bulgular bildirmiştir. Hücre deneylerinde göç ve çoğalmadaki artış CD73, adenozin reseptörleri ve AKT/ERK sinyalleriyle ilişkilendirilmiştir.

Bu yaklaşım için insanlarda etkili dozun, uygulama sıklığının ve uzun dönem güvenliğinin belirlenmesi, deneysel bulguların klinik araştırmalara taşınmasında yanıtlanması gereken sorulardır.

5.4. Hücreleştirilmiş Ekstraselüler Matriks

Hücreleştirilmiş, bir doku veya hücre kültüründen hücresel bileşenlerin uzaklaştırılarak ekstraselüler matriksin (ECM) yapısal ve biyolojik özelliklerinin mümkün olduğunca korunması işlemidir. Elde edilen hücreleştirilmiş ekstraselüler matriks (dECM), konak hücrelerinin tutunması ve doku oluşumu için biyolojik bir mikroçevre sağlayabilir. Blaudez ve ark. (2023), dECM içeren iki fazlı iskeleleri periodontal defekt modelinde değerlendirmiş; kemik oluşumunda belirgin bir üstünlük saptanmazken yeni sement ve periodontal atışmandaki artışlar istatistiksel anlamlılığa ulaşmamıştır. Çalışmada depolanmış yapıların da değerlendirilmesi, saklama koşullarının bu tür ürünlerin klinik kullanıma aktarılmasında dikkate alınması gereken bir unsur olduğunu göstermiştir.

Hücreleştirilmiş matriks kullanılması, geliştirilen sistemin mutlaka hücresiz olduğu anlamına gelmez. Örneğin Yang ve ark. (2023), dECM'yi canlı hücreler içeren bir biyomürekkebin bileşeni olarak kullanmıştır. Dolayısıyla dECM, hücresiz rejeneratif yaklaşımlarda kullanılabileceği gibi hücre içeren doku mühendisliği sistemlerine de dahil edilebilir.

5.5. Hücre Yönlendirme (*Cell Homing*) Yaklaşımı

Hücre yönlendirme (*cell homing*), dışarıdan hücre nakli yerine konağın kendi hücrelerinin rejenerasyon bölgesine çekilerek doku onarımına katılmasını amaçlayan bir yaklaşımdır. Bu amaçla hücre göçünü destekleyen biyolojik sinyaller ve hücre yerleşime uygun iskeleler birlikte kullanılabilir.

Kim ve ark. (2010) diş biçimli polikaprolakton–hidroksiapatit iskeleler kullanarak dışarıdan hücre uygulamadan konak hücrelerinin bölgeye göçünü ve periodontal doku benzeri yapıların oluşumunu değerlendirmiştir. Bulgular bu yaklaşımın rejeneratif potansiyelini desteklemekle birlikte, periodontitis sonucu kaybedilen periodontal atışmanın insanlarda yeniden oluşturulabildiğini gösteren klinik kanıt niteliğinde değildir.

6) PERİ-İMLANT DOKULARDA DOKU MÜHENDİSLİĞİ UYGULAMALARI

İmplant tedavisinde kemik ve yumuşak doku yetersizliklerinin giderilmesi, doku mühendisliğinin araştırıldığı alanlardan biridir. Çalışmalar, implant yerleştirilecek bölgenin hazırlanmasının yanı sıra implant ile çevre dokular arasındaki etkileşimin desteklenmesine de odaklanmaktadır. Bu amaçla geliştirilen yaklaşımlar beş başlık altında ele alınabilir:

- **Kemik dokusunun geliştirilmesi:** Kemik hacminin yetersiz olduğu bölgelerde, hücrelerin greft materyalleriyle birlikte kullanılması araştırılmaktadır. Sanz ve arkadaşlarının (2025) çalışmasında, otolog kemik iliği kaynaklı mezenkimal hücreler sentetik greftle birleştirilmiş ve uygulama alanı rezorbe olmayan bir membranla örtülmüştür. Beş aylık değerlendirmede bu yöntemle sağlanan kemik hacmi kazanımı, otojen blok kemik grefti grubundan daha yüksek bulunmuştur. Buna karşın, yedi hastada gerekli sayıda hücre elde edilemediği için hücre tedavisi uygulanamamıştır. Dolayısıyla yöntemin kullanılabilmesi, hücrelerin yeterli miktarda hazırlanabilmesine de bağlıdır.
- **Peri-implant yumuşak dokuların desteklenmesi:** Yumuşak doku hacmini artırmaya yönelik seçeneklerden biri kollajen matrikslerdir. Thoma ve arkadaşları (2023), kollajen matriks ile otojen bağ dokusu greftini karşılaştırdıkları randomize klinik çalışmanın beş yıllık takibinde, her iki grupta da peri-implant dokuların benzer şekilde stabil kaldığını bildirmiştir. Ancak takiplerini tamamlamayan hastalar ve sınırlı istatistiksel güç, bu sonucun yorumunu güçleştirmektedir. Bu nedenle bulgular, iki uygulamanın eşdeğerliğine ilişkin kesin kanıt olarak değerlendirilmemelidir.
- **İmplant yüzeylerinin biyolojik olarak işlevlendirilmesi:** Yüzeye eklenen biyoaktif moleküllerle implant çevresindeki kemik yanıtının iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Lutz ve arkadaşlarının (2010) domuzlarda yürüttüğü araştırmada, yüksek konsantrasyonda P-15 peptidiyle kaplanan implantlarda erken dönem kemik-implant temasının arttığı saptanmıştır. Bulgular bu yaklaşımın potansiyelini desteklese de insanlarda aynı yararın sağlanıp sağlanmadığını ortaya koymamaktadır.
- **Biyolojik sinyallerin kontrollü salımı:** Büyüme faktörlerini zaman içinde serbest bırakan kaplamalar, bu moleküllerin lokal olarak taşınmasında kullanılmak üzere geliştirilmektedir. Liu ve arkadaşları (2018), kalsiyum fosfat kaplama içerisine yerleştirilen BMP-2'nin salımını hem laboratuvar koşullarında hem de sıçanların deri altı implantasyon modelinde incelemiştir. Beş hafta boyunca devam eden yavaş salım, sistemin taşıyıcı özelliğini desteklemiştir. Bununla birlikte çalışma, çene kemiğindeki implantların klinik sonuçlarını değerlendirmemiştir.
- **Defekte uygun üç boyutlu destek yapıları:** Hastanın kemik kaybına göre tasarlanan yapılarla rejenerasyon alanının şekillendirilmesi hedeflenmektedir. (Ivanovski vd., 2024), üç boyutlu baskıyla hazırlanan hastaya özel polikaprolakton bir yapının kullanıldığı kemik artırımı sonrasında implant yerleştirilebildiğini bildirmiştir. Tek olgudan elde edilen bu sonuç, klinik uygulamaya bir örnek sunmaktadır; yöntemin etkinliğine ilişkin daha güçlü değerlendirmeler için daha fazla hastayı kapsayan çalışmalar gereklidir.

Bu araştırmaların tasarımları ve klinik uygulamaya yakınlıkları farklıdır. Hayvan deneyleri, olgu sunumları ve randomize klinik çalışmaların sonuçları bu ayrım gözetilerek ele alınmalıdır. Ayrıca burada değerlendirilen kemik ve yumuşak doku geliştirme uygulamalarından elde edilen bulgular, peri-implantitis tedavisine doğrudan aktarılmamalıdır.

7. KLİNİK KANITLAR, SINIRLILIKLAR VE GELECEK PERSPEKTİFİ

Periodontal doku mühendisliğinde geliştirilen yeni yaklaşımların klinik uygulamaya aktarılabilmesi, deneysel başarının ötesinde etkinlik, güvenlik ve uygulanabilirliğin klinik çalışmalarla gösterilmesini gerektirir. Klinik ataşman kazancı ve radyografik kemik dolumu olumlu tedavi sonuçlarını göstermekle birlikte, periodontal rejenerasyonu tek başına kanıtlamaz. Gerçek rejenerasyon; yeni sement, periodontal ligament ve alveoler kemiğin uygun yapısal ilişkilerle yeniden oluşmasını gerektirir. İnsanlarda histolojik değerlendirme çoğunlukla çekimi planlanan dişlerle sınırlı olduğundan, klinik ve radyografik bulgular bu sınırlılık göz önünde bulundurularak yorumlanmalıdır (Sculean vd., 1999).

Yeni bir rejeneratif yaklaşımın klinik değerinin belirlenmesinde kontrollü çalışmalar önem taşımaktadır. Kontrolsüz çalışmalar uygulanabilirlik ve güvenliğe ilişkin ön veriler sağlarken, kontrollü araştırmalar yeni yöntemin mevcut tedavilere katkısının daha doğru değerlendirilmesine olanak verir (Chen vd., 2016; Iwata vd., 2018). Hücre temelli tedavilerde ayrıca hücrelerin elde edilmesi, çoğaltılması ve hazırlanmasına ilişkin süreçlerin standartlaştırılması ve iyi üretim uygulamalarına uygun yürütülmesi gereklidir. Benzer şekilde, kullanılan biyomateryallerin defekt morfolojisine uyumu, stabilitesi, rezorpsiyon özellikleri ve çevre dokularla bütünleşmesi klinik başarı açısından dikkate alınmalıdır (Rasperini vd., 2015; Chen vd., 2016).

Gelecekte yapılacak çalışmaların yalnızca erken dönem klinik kazanımlara değil, tedavinin uzun dönem başarısına da odaklanması gerekmektedir. Geleneksel rejeneratif tedaviler için uzun dönem sonuçlar bildirilmiş olmakla birlikte, hücre temelli tedaviler ve biyobaskı gibi yeni yaklaşımlara ilişkin klinik kanıtlar henüz daha sınırlıdır (Cortellini vd., 2017; Yang vd., 2023). Bu doğrultuda gelecekteki araştırmalarda özellikle;

- gerçek periodontal rejenerasyonun uygun klinik, radyografik ve mümkün olduğunda histolojik ölçütlerle değerlendirilmesi,
- yeni yaklaşımların mevcut rejeneratif tedavilere sağladığı ek yararın kontrollü çalışmalarla ortaya konması,
- güvenlik ve üretim süreçlerinin standardizasyonunun sağlanması,
- materyal ve iskele tasarımlarının periodontal defektlerin anatomik ve biyolojik özelliklerine uyarlanması,
- dişin korunması, yeniden tedavi gereksinimi, hasta tarafından bildirilen sonuçlar ve uzun dönem işlevsel periodontal ataşmanın değerlendirilmesi

önem taşımaktadır (Cortellini vd., 2017; Iwata vd., 2018).

8. SONUÇ

Periodontal doku mühendisliği, sement, periodontal ligament ve alveoler kemiğin birbiriyle uyumlu biçimde yeniden oluşmasını ve işlevsel bağlantılarının kurulmasını hedefler. Membranlar, çok fazlı destek yapıları, hücre tabakası teknolojisi, biyobaskı ve hücresiz yaklaşımlar bu amaca yönelik farklı seçenekler sunmaktadır. İmplant öncesi kemik artırımını ve peri-implant dokuların desteklenmesine yönelik uygulamalar da doku mühendisliğinin çalışma alanları arasındadır.

Bu yöntemlerin bir kısmı klinikte kullanılsa da gelişmekte olan yaklaşımların etkinliği ve uzun dönem sonuçları henüz yeterince açıklığa kavuşmamıştır. Deneysel çalışmalardaki olumlu bulguların kontrollü insan çalışmalarıyla desteklenmesi gerekmektedir. Gelecekteki hedef, oluşan dokuların işlevini ve uzun dönem stabilitesini koruyabilen, klinikte uygulanabilir ve öngörülebilir tedaviler geliştirmek olmalıdır.

KAYNAKLAR

- Blaudez, F., Ivanovski, S., & Vaquette, C. (2023). Harnessing the native extracellular matrix for periodontal regeneration using a melt electrowritten biphasic scaffold. *Journal of Functional Biomaterials*, 14(9), 479. <https://doi.org/10.3390/jfb14090479>
- Bottino, M. C., Thomas, V., & Janowski, G. M. (2011). A novel spatially designed and functionally graded electrospun membrane for periodontal regeneration. *Acta Biomaterialia*, 7(1), 216–224. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2010.08.019>
- Camargo, P. M., Lekovic, V., Weinlaender, M., Nedic, M., Vasilic, N., Wolinsky, L. E., & Kenney, E. B. (2000). A controlled re-entry study on the effectiveness of bovine porous bone mineral used in combination with a collagen membrane of porcine origin in the treatment of intrabony defects in humans. *Journal of Clinical Periodontology*, 27(12), 889–896. <https://doi.org/10.1034/j.1600-051x.2000.027012889.x>
- Chen, F.-M., Gao, L.-N., Tian, B.-M., Zhang, X.-Y., Zhang, Y.-J., Dong, G.-Y., Lu, H., Chu, Q., Xu, J., Yu, Y., Wu, R.-X., Yin, Y., Shi, S., & Jin, Y. (2016). Treatment of periodontal intrabony defects using autologous periodontal ligament stem cells: A randomized clinical trial. *Stem Cell Research & Therapy*, 7, 33. <https://doi.org/10.1186/s13287-016-0288-1>
- Chew, J. R. J., Chuah, S. J., Teo, K. Y. W., Zhang, S., Lai, R. C., Fu, J. H., Lim, L. P., Lim, S. K., & Toh, W. S. (2019). Mesenchymal stem cell exosomes enhance periodontal ligament cell functions and promote periodontal regeneration. *Acta Biomaterialia*, 89, 252–264. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2019.03.021>
- Cortellini, P., Buti, J., Pini Prato, G., & Tonetti, M. S. (2017). Periodontal regeneration compared with access flap surgery in human intra-bony defects 20-year follow-up of a randomized clinical trial: Tooth retention, periodontitis recurrence and costs. *Journal of Clinical Periodontology*, 44(1), 58–66. <https://doi.org/10.1111/jcpe.12638>
- Cortellini, P., Pini Prato, G., & Tonetti, M. S. (1995). Periodontal regeneration of human intrabony defects with titanium reinforced membranes. A controlled clinical trial. *Journal of Periodontology*, 66(9), 797–803. <https://doi.org/10.1902/jop.1995.66.9.797>
- Cucchi, A., Vignudelli, E., Napolitano, A., Marchetti, C., & Corinaldesi, G. (2017). Evaluation of complication rates and vertical bone gain after guided bone regeneration with non-resorbable membranes versus titanium meshes and resorbable membranes. A randomized clinical trial. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 19(5), 821–832. <https://doi.org/10.1111/cid.12520>
- de Souza Araújo, I. J., Perkins, R. S., Ibrahim, M. M., Huang, G. T.-J., & Zhang, W. (2024). Bioprinting PDLSC-laden collagen scaffolds for periodontal ligament regeneration. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 16(44), 59979–59990. <https://doi.org/10.1021/acsami.4c13830>

- Ferrarotti, F., Romano, F., Gamba, M. N., Quirico, A., Giraudi, M., Audagna, M., & Aimetti, M. (2018). Human intrabony defect regeneration with micrografts containing dental pulp stem cells: A randomized controlled clinical trial. *Journal of Clinical Periodontology*, 45(7), 841–850. <https://doi.org/10.1111/jcpe.12931>
- Gronthos, S., Mankani, M., Brahimi, J., Robey, P. G., & Shi, S. (2000). Postnatal human dental pulp stem cells (DPSCs) in vitro and in vivo. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(25), 13625–13630. <https://doi.org/10.1073/pnas.240309797>
- Hammarström, L. (1997). Enamel matrix, cementum development and regeneration. *Journal of Clinical Periodontology*, 24(9), 658–668. <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.1997.tb00247.x>
- Ivanovski, S., Staples, R., Arora, H., Vaquette, C., & Alayan, J. (2024). Alveolar bone regeneration using a 3D-printed patient-specific resorbable scaffold for dental implant placement: A case report. *Clinical Oral Implants Research*, 35(12), 1655–1668. <https://doi.org/10.1111/clr.14340>
- Ivanovski, S., Vaquette, C., Gronthos, S., Hutmacher, D. W., & Bartold, P. M. (2014). Multiphasic scaffolds for periodontal tissue engineering. *Journal of Dental Research*, 93(12), 1212–1221. <https://doi.org/10.1177/0022034514544301>
- Iwata, T., Yamato, M., Washio, K., Yoshida, T., Tsumanuma, Y., Yamada, A., Onizuka, S., Izumi, Y., Ando, T., Okano, T., & Ishikawa, I. (2018). Periodontal regeneration with autologous periodontal ligament-derived cell sheets—A safety and efficacy study in ten patients. *Regenerative Therapy*, 9, 38–44. <https://doi.org/10.1016/j.reth.2018.07.002>
- Kim, K., Lee, C. H., Kim, B. K., & Mao, J. J. (2010). Anatomically shaped tooth and periodontal regeneration by cell homing. *Journal of Dental Research*, 89(8), 842–847. <https://doi.org/10.1177/0022034510370803>
- Kitamura, M., Akamatsu, M., Kawanami, M., Furuichi, Y., Fujii, T., Mori, M., Kunimatsu, K., Shimauchi, H., Ogata, Y., Yamamoto, M., Nakagawa, T., Sato, S., Ito, K., Ogasawara, T., Izumi, Y., Gomi, K., Yamazaki, K., Yoshie, H., Fukuda, M., ... Murakami, S. (2016). Randomized placebo-controlled and controlled non-inferiority phase III trials comparing trafermin, a recombinant human fibroblast growth factor 2, and enamel matrix derivative in periodontal regeneration in intrabony defects. *Journal of Bone and Mineral Research*, 31(4), 806–814. <https://doi.org/10.1002/jbmr.2738>
- Lee, C. H., Hajibandeh, J., Suzuki, T., Fan, A., Shang, P., & Mao, J. J. (2014). Three-dimensional printed multiphase scaffolds for regeneration of periodontium complex. *Tissue Engineering Part A*, 20(7–8), 1342–1351. <https://doi.org/10.1089/ten.tea.2013.0386>
- Liu, Y., Schouten, C., Boerman, O., Wu, G., Jansen, J. A., & Hunziker, E. B. (2018). The kinetics and mechanism of bone morphogenetic protein 2 release from calcium phosphate-based implant-coatings. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 106(9), 2363–2371. <https://doi.org/10.1002/jbm.a.36398>

- Lutz, R., Srour, S., Nonhoff, J., Weisel, T., Damien, C. J., & Schlegel, K. A. (2010). Biofunctionalization of titanium implants with a biomimetic active peptide (P-15) promotes early osseointegration. *Clinical Oral Implants Research*, 21(7), 726–734. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2009.01904.x>
- Nevins, M., Giannobile, W. V., McGuire, M. K., Kao, R. T., Mellonig, J. T., Hinrichs, J. E., McAllister, B. S., Murphy, K. S., McClain, P. K., Nevins, M. L., Paquette, D. W., Han, T. J., Reddy, M. S., Lavin, P. T., Genco, R. J., & Lynch, S. E. (2005). Platelet-derived growth factor stimulates bone fill and rate of attachment level gain: Results of a large multicenter randomized controlled trial. *Journal of Periodontology*, 76(12), 2205–2215. <https://doi.org/10.1902/jop.2005.76.12.2205>
- Nyman, S., Lindhe, J., Karring, T., & Rylander, H. (1982). New attachment following surgical treatment of human periodontal disease. *Journal of Clinical Periodontology*, 9(4), 290–296. <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.1982.tb02095.x>
- Park, C. H., Rios, H. F., Jin, Q., Sugai, J. V., Padial-Molina, M., Taut, A. D., Flanagan, C. L., Hollister, S. J., & Giannobile, W. V. (2012). Tissue engineering bone-ligament complexes using fiber-guiding scaffolds. *Biomaterials*, 33(1), 137–145. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2011.09.057>
- Rasperini, G., Pilipchuk, S. P., Flanagan, C. L., Park, C. H., Pagni, G., Hollister, S. J., & Giannobile, W. V. (2015). 3D-printed bioresorbable scaffold for periodontal repair. *Journal of Dental Research*, 94(9 Suppl.), 153S–157S. <https://doi.org/10.1177/0022034515588303>
- Reynolds, M. A., Kao, R. T., Camargo, P. M., Caton, J. G., Clem, D. S., Fiorellini, J. P., Geisinger, M. L., Mills, M. P., Nares, S., & Nevins, M. L. (2015). Periodontal regeneration—Intrabony defects: A consensus report from the AAP Regeneration Workshop. *Journal of Periodontology*, 86(2 Suppl.), S105–S107. <https://doi.org/10.1902/jop.2015.140378>
- Rothamel, D., Schwarz, F., Sager, M., Herten, M., Sculean, A., & Becker, J. (2005). Biodegradation of differently cross-linked collagen membranes: An experimental study in the rat. *Clinical Oral Implants Research*, 16(3), 369–378. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2005.01108.x>
- Sanz, M., Gjerde, C., Gjertsen, B. T., Ortiz-Vigón, A., Sanchez, N., Hoornaert, A., Caballe-Serrano, J., Giralt-Hernando, M., Gaultier, F., Reinald, N., Pinholt, E. M., Rojewski, M., Rouard, H., Chevallier, N., Mohamed-Ahmed, S., Shi, X., Shi, T.-J., Schrezenmeier, H., Layrolle, P., & Mustafa, K. (2025). Bone augmentation of atrophic alveolar ridges using a synthetic bone substitute with mesenchymal stem cells: A randomized, controlled clinical trial. *Clinical Oral Implants Research*, 36(11), 1498–1514. <https://doi.org/10.1111/clr.70025>

- Sanz, M., Herrera, D., Kebschull, M., Chapple, I., Jepsen, S., Berglundh, T., Sculean, A., Tonetti, M. S., & EFP Workshop Participants and Methodological Consultants. (2020). Treatment of stage I–III periodontitis—The EFP S3 level clinical practice guideline. *Journal of Clinical Periodontology*, 47(Suppl. 22), 4–60. <https://doi.org/10.1111/jcpe.13290>
- Sculean, A., Donos, N., Windisch, P., Brex, M., Gera, I., Reich, E., & Karring, T. (1999). Healing of human intrabony defects following treatment with enamel matrix proteins or guided tissue regeneration. *Journal of Periodontal Research*, 34(6), 310–322. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0765.1999.tb02259.x>
- Seo, B.-M., Miura, M., Gronthos, S., Bartold, P. M., Batouli, S., Brahimi, J., Young, M., Robey, P. G., Wang, C. Y., & Shi, S. (2004). Investigation of multipotent postnatal stem cells from human periodontal ligament. *The Lancet*, 364(9429), 149–155. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(04\)16627-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(04)16627-0)
- Sowmya, S., Mony, U., Jayachandran, P., Reshma, S., Kumar, R. A., Arzate, H., Nair, S. V., & Jayakumar, R. (2017). Tri-layered nanocomposite hydrogel scaffold for the concurrent regeneration of cementum, periodontal ligament, and alveolar bone. *Advanced Healthcare Materials*, 6(7), 1601251. <https://doi.org/10.1002/adhm.201601251>
- Sprio, S., Campodoni, E., Sandri, M., Preti, L., Keppler, T., Müller, F. A., Pugno, N. M., & Tampieri, A. (2018). A graded multifunctional hybrid scaffold with superparamagnetic ability for periodontal regeneration. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(11), 3604. <https://doi.org/10.3390/ijms19113604>
- Swanson, W. B., Yao, Y., & Mishina, Y. (2022). Novel approaches for periodontal tissue engineering. *Genesis*, 60(8–9), e23499. <https://doi.org/10.1002/dvg.23499>
- Thoma, D. S., Gasser, T. J. W., Hämmerle, C. H. F., Strauss, F. J., & Jung, R. E. (2023). Soft tissue augmentation with a volume-stable collagen matrix or an autogenous connective tissue graft at implant sites: Five-year results of a randomized controlled trial post implant loading. *Journal of Periodontology*, 94(2), 230–243. <https://doi.org/10.1002/JPER.22-0226>
- Thomas, N., Sanil, G., Gopimohan, R., Prabhakaran, J., Thomas, G., & Panda, A. (2012). Biocompatibility and cytotoxic evaluation of drug-loaded biodegradable guided tissue regeneration membranes. *Journal of Indian Society of Periodontology*, 16(4), 498–503. <https://doi.org/10.4103/0972-124X.106883>
- Tsumanuma, Y., Iwata, T., Washio, K., Yoshida, T., Yamada, A., Takagi, R., Ohno, T., Lin, K., Yamato, M., Ishikawa, I., Okano, T., & Izumi, Y. (2011). Comparison of different tissue-derived stem cell sheets for periodontal regeneration in a canine 1-wall defect model. *Biomaterials*, 32(25), 5819–5825. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2011.04.071>
- Turri, A., Čirgić, E., Shah, F. A., Hoffman, M., Omar, O., Dahlin, C., & Trobos, M. (2021). Early plaque formation on PTFE membranes with expanded or dense surface structures applied in the oral cavity of human volunteers. *Clinical and Experimental Dental Research*, 7(2), 137–146. <https://doi.org/10.1002/cre2.344>

- Wang, Y., Yan, F., Chen, L., Zhao, L., Liu, M., Ge, S., Chen, C., Kim, D. M., & Shu, R. (2025). Crosslinked versus non-crosslinked resorbable collagen membranes for periodontal regeneration: A multicenter, randomized, double-blind, non-inferiority clinical trial. *Journal of Periodontal Research*, 60(11), 1086–1100. <https://doi.org/10.1111/jre.13382>
- Wikesjö, U. M. E., & Nilvéus, R. (1990). Periodontal repair in dogs: Effect of wound stabilization on healing. *Journal of Periodontology*, 61(12), 719–724. <https://doi.org/10.1902/jop.1990.61.12.719>
- Wikesjö, U. M. E., Xiropaidis, A. V., Thomson, R. C., Cook, A. D., Selvig, K. A., & Hardwick, W. R. (2003). Periodontal repair in dogs: rhBMP-2 significantly enhances bone formation under provisions for guided tissue regeneration. *Journal of Clinical Periodontology*, 30(8), 705–714. <https://doi.org/10.1034/j.1600-051X.2003.00363.x>
- Yang, X., Ma, Y., Wang, X., Yuan, S., Huo, F., Yi, G., Zhang, J., Yang, B., & Tian, W. (2023). A 3D-bioprinted functional module based on decellularized extracellular matrix bioink for periodontal regeneration. *Advanced Science*, 10(5), 2205041. <https://doi.org/10.1002/advs.202205041>
- Zhang, Q., Shi, S., Liu, Y., Uyanne, J., Shi, Y., Shi, S., & Le, A. D. (2009). Mesenchymal stem cells derived from human gingiva are capable of immunomodulatory functions and ameliorate inflammation-related tissue destruction in experimental colitis. *The Journal of Immunology*, 183(12), 7787–7798. <https://doi.org/10.4049/jimmunol.0902318>

BÖLÜM 6

MUKOGİNGİVAL CERRAHİDE SERBEST DİŞETİ GREFTİ: GELENEKSEL TEKNİKLER, MODİFİKASYONLAR VE DİJİTAL DEĞERLENDİRME

Turan Emre KUZU¹, Mustafa ADA²

¹ Doç. Dr., Erciyes Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Periodontoloji AD., turanemrekuzu@erciyes.edu.tr, ORCID iD: 0000-0002-9478-1578

² Araş. Gör. Erciyes University: Kayseri, Kayseri, TR - Faculty of Dentistry, Department of Periodontology, mustafaada544@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-9706-2098>

1. GİRİŞ

Keratinize diş eti, serbest ve yapışık diş etini içeren ve mukogingival birleşime kadar uzanan dokuyu ifade etmektedir ve genişliği bireyler ve ağız içindeki farklı bölgeler arasında önemli ölçüde değişiklik gösterebilir. Keratinize diş eti genişliği ile gingival sağlık arasındaki ilişkiyi değerlendiren klasik çalışmada kontrollü oral hijyen koşullarında 2 mm'den daha az keratinize diş eti bulunan bölgelerde inflamasyonun daha sık devam ettiğini bildirilmiştir (Lang & Loe, 1972).

Bununla birlikte, keratinize dişeti genişliği periodontal sağlığın esas belirleyicisi değildir. Klinik değerlendirmede plak kontrolü, bireysel periodontal özellikler ve lokal anatomik faktörlerin birlikte dikkate alınması gerekmektedir.

Keratinizasyon azlığı, gingival çekilme ve inflamasyon gelişimi açısından predispozan bir faktör olarak değerlendirilmektedir. Dişeti çekilmesi erişkinlerde daha sık görülmekte ve yaşla birlikte artma eğilimi göstermektedir. Hem iyi hem de kötü ağız hijyenine sahip bireylerde de ortaya çıkabilmektedir (Cortellini & Bissada, 2018). Bu nedenle keratinize dişeti yetersizliğinin tedavisinde cerrahi karar verirken sadece keratinize doku genişliğine göre değil, hastanın ağız hijyeni, mevcut periodontal durum, yumuşak doku morfolojisi ve ilgili bölgenin fonksiyonel gereksinimleri gibi birçok faktörü dikkate alarak karar verilmelidir (Cortellini & Bissada, 2018).

Serbest dişeti grefti, özellikle keratinize doku miktarının artırılması gereken bölgelerde öngörülebilir bir tedavi seçeneği olarak kullanılmaktadır ve yapılan klinik çalışmalarda belirgin keratinize doku kazanımı sağlanmaktadır. Bu prosedürlerin uygulanma gerekçeleri arasında; plak kontrolünün kolaylaştırılması, restoratif veya protetik diş hekimliği ile birlikte hasta konforunun artırılması, alveolar kemik dehisensine neden olan ortodonti veya doğal diş sürmesi ile ilişkili durumlar ve muhtemelen gelecekteki çekilmelerin önlenmesinde yer almaktadır (Harris, 2001).

Bu bölümde keratinize doku azalma nedenleri, keratinizasyonu artırma tedavileri, serbest dişeti grefti uygulama, bağ doku uygulama, yapılan tedavilerin kısa ve uzun dönem sonuçları ve dijital diş hekimliğinde sdg'nin yeri anlatılacaktır.

2. DİŞETİ ÇEKİLMESİ VE KERATİNİZE DOKUNUN AZALMA NEDENLERİ

Dışeti çekilmesi, dışeti marjininin mine-sement sınırına (MSB) ve daha apikaline yer değiştirmesidir. Bu durum, estetik açıdan önemli bir sorun olarak kabul edilir. Ayrıca sıklıkla dişlerde hassasiyet, açığa çıkan kök yüzeylerinde çürük veya çürük dışı servikal lezyonların gelişimi görülebilir. Kök yüzeyinde aşırı aşınmaya neden olabilmekte ve ileri vakalarda diş kaybına kadar ilerleyebilir (Niemczyk et al., 2024).

Dışeti çekilmesinin etiyolojisi multifaktöriyeldir. Bunlar ince diş eti fenotipi, travmatik diş fırçalama, yetersiz plak kontrolü, iyatrojenik dental tedaviler ve parafonksiyonel alışkanlıklar gibi predispozan faktörlerdir. Klinik olarak dışeti çekilmesi ilerledikçe dental hipersensitiviteye, non-karyotik servikal lezyonlara ve hastaların estetik ve fonksiyonel açıdan olumsuz etkilenmesine neden olabilmektedir. Günümüzde tekli ve çoklu dışeti çekilmelerinin yüksek prevalans gösterdiği bildirilmekte ve bu durum tedavilerini periodontistler açısından önemli bir klinik zorluk haline getirmektedir. Bu nedenle dışeti çekilmesi tedavisinde ince diş eti fenotipi veya sınırlı keratinize doku, vestibül derinliği ve frenulumun yüksek seviyede yapışması gibi predispozan anatomik özelliklerin dikkate alınması önemlidir (Tejedo et al., 2025).

Diş eti çekilmeleri en sık mandibular kesici dişlerde (%43,0) görülmekte; bunu maksiller molar dişler (%13,2), mandibular premolar dişler (%12,2), maksiller kesici ve premolar dişler (%8,9), mandibular molar dişler (%4,9), maksiller kanin dişler (%4,6) ve mandibular kanin dişler (%4,3) izlemektedir. Ayrıca diş eti çekilmelerinin mandibular arkta (%66), maksiller arka (%34) kıyasla daha sık görüldüğü bildirilmiştir (Niemczyk et al., 2024).

Dışeti çekilmelerinin günümüzde yaygın olarak kullanılan sınıflandırması, 2011 yılında Cairo ve arkadaşları tarafından önerilen bu sınıflandırma, interdental bölgelerdeki klinik ataşman kaybına bakılarak geliştirilmiştir. Söz konusu sınıflandırma, 2017 Dünya Çalıştayı kapsamında oluşturulan yeni periodontal ve peri-implant hastalıklar ve durumlar sınıflandırmasına dâhil edilmiştir (Niemczyk et al., 2024). Bu sınıflandırma aşağıdaki gibidir;

Sınıflandırma	Tanım ve klinik özellikler
Resesyon Tip 1 (RT1)	İnterdental klinik ataşman kaybı bulunmaz. Bukkal klinik ataşman kaybı, interdental bölgelerdeki ataşman kaybından daha fazladır.
Resesyon Tip 2 (RT2)	İnterdental klinik ataşman kaybı vardır. Bu kayıp, bukkal klinik ataşman kaybına eşit veya daha fazladır.
Resesyon Tip 3 (RT3)	İnterdental klinik ataşman kaybı vardır ve bu kayıp, bukkal klinik ataşman kaybından daha fazladır

(Cairo et al., 2011)

3. DIŞ ETİ ÇEKİLME NEDENLERİ

Diş eti çekilmesi, lokal ve bireysel faktörlerin birlikte etkili olduğu multifaktöriyel bir durumdur. Başlıca etiyolojik ve predispozan faktörler aşağıdaki gibidir;

- **Diş eti dokularının inflamasyonu:** Dental plak birikimi ve periodontal inflamasyon, periodontal destek dokularının kaybına katkıda bulunabilir.
- **İnce diş eti fenotipi:** İnce yumuşak doku yapısı ve bukkal kemik dehisensi, çekilme riskini artırabilir.
- **Mekanik travmalar ve yanlış diş fırçalama:** Aşırı kuvvetli veya travmatik fırçalama, diş eti dokularına zarar verebilir.
- **Protetik restorasyonlar ve retraksiyon işlemleri:** Uygun olmayan restorasyon kenarları ve travmatik retraksiyon uygulamaları, periodontal dokularda hasara yol açabilir.
- **Kişinin kendi kendine oluşturduğu yaralanmalar:** Tekrarlayan lokal travmalar, sınırlı bölgelerde doku kaybına neden olabilir.
- **Sigara ve tütün ürünleri:** Periodontal hastalık riskini artırarak doku yıkımına katkıda bulunabilir.
- **Yüksek frenulum ve kas ataşmanları:** Bazı anatomik koşullarda diş eti kenarına uygulanan çekme kuvvetleriyle ilişkili olabilir.
- **Sistemik ve hormonal faktörler:** Periodontal inflamasyonu ve doku iyileşmesini etkileyebilir.
- **Dental kalkulus (diş taşı):** Plak retansiyonunu kolaylaştırarak periodontal inflamasyona katkıda bulunabilir.
- **Oklüzal aşırı yük:** Periodontal dokularda travmatik değişikliklere neden olabilir; ancak tek başına diş eti çekilmesinin kanıtlanmış bir nedeni değildir.

- **Ortodontik tedavi:** Özellikle ince fenotipte ve dişlerin bukkal kemik sınırlarının dışına hareket ettirilmesi durumunda çekilme riski artabilir.
- **İyatrojenik kimyasal hasar:** Kimyasal maddelerin diş eti dokularıyla uygunsuz teması lokal doku hasarına neden olabilir.
- **Çürük dışı servikal lezyonlar:** Diş eti çekilmesiyle birlikte görülebilir ve açığa çıkan kök yüzeyini etkileyebilir.
- **Yaşlanma:** Yaşla birlikte çekilme sıklığı artabilir; bu durum birikimli periodontal ve mekanik etkenlerle ilişkilidir.

Bu nedenlere bağlı olarak hem dişetinde çekilmeler meydana gelmekte hem de keratinize doku da azalma olarak karşımıza çıkmaktadır.(Kassab & Cohen, 2003)

4. KERATİNİZE DOKU ARTIRMA YÖNTEMLERİ

Doğal dişler çevresinde keratinize dokunun önemi uzun süredir tartışılmaktadır. Bununla birlikte, en az 2 mm keratinize doku ve 1 mm yapışık diş eti genişliğinin periodontal sağlığın korunmasına katkı sağladığı kabul edilmektedir. Bu nedenle keratinize dokuyu artırmak için birden fazla teknik bulunmaktadır(Zafar et al., 2024). Keratinize mukoza genişliğinin artırılmasında kullanılan teknikler;

- Apikale konumlandırılmış flep (APF),
- Bukkal pediküllü flep (BPF),
- Bağ dokusu grefti (BDG)
- Serbest diş eti grefti (SDG) gibi tekniklerden yararlanılmaktadır (Zafar et al., 2024).

Bu bölümde en çok kullanılan bir teknik olan serbest dişeti greftini inceleyeceğiz.

5. SERBEST DİŞETİ GREFTİ(SDG)

Serbest dişeti grefti, genellikle damak bölgesinden alınan epitel ve altındaki bağ dokusunu içeren otolog bir doku parçasının, alıcı bölgede hazırlanan cerrahi yatağa taşınarak sütürlerle sabitlenmesi işlemidir. Bu tekniğin temel amacı, keratinize dişeti ve yapışık dişeti miktarını artırmak, yetersiz keratinize dokuya bağlı klinik sorunların yönetimini kolaylaştırmak ve ilgili bölgenin uzun dönem periodontal stabilitesine katkıda bulunmaktır.(Hall & Lundergan, 1993)

SDG' nin temel amacı kök yüzeyi örtülmesinden ziyade keratinize doku miktarının artırılmasıdır. Bu nedenle estetik beklentinin yüksek olduğu bölgelerde, greftin damak kaynaklı epitel içermesi nedeniyle renk uyumunun sınırlı olabileceği ve daha estetik sonuçlar sağlayan

diğer yumuşak doku greftleme tekniklerinin tercih edilebileceği bildirilmiştir (Hall & Lundergan, 1993).

6. HANGİ DURUMLARDA SERBEST DİŞETİ GREFTİ UYGULANIR?

SDG uygulamasına karar hastanın klinik özellikleri ve periodontal gereksinimleri doğrultusunda verilmelidir. Başlıca değerlendirme alanları şunlardır:

- **Keratinize ve yapışık dişeti yetersizliği:** Dişeti dokusunun genişliğinin artırılmasının klinik açıdan gerekli olduğu bölgelerde kullanılır. En önemli ve birincil endikasyonu eksik keratinizasyonu yerine koymaktır.
- **İlerleyici dişeti çekilmesi riski:** Özellikle yetersiz yapışık dişetiyle birlikte lokal anatomik sorunların bulunduğu bölgelerde, periodontal dokuların stabilizasyonuna yönelik tedavi planlamasında,
- **Ağız hijyeninin güçleştiği bölgeler:** Diş fırçalama sırasında rahatsızlık veya hareketli alveoler mukozanın travmatize olması nedeniyle etkili plak kontrolünün zorlaştığı alanlar.
- **Ortodontik veya protetik tedavi öncesi yumuşak doku yetersizliği:** Seçilmiş olgularda keratinize doku genişliğinin artırılması amacıyla uygulama.

Bu endikasyonlar değerlendirilirken hastanın plak kontrolü, dişeti çekilmesinin seyri ve ilgili bölgenin anatomik özellikleri birlikte ele alınmalıdır(Hall & Lundergan, 1993).

7. SERBEST DİŞETİ GREFTİNİN 'NİN TEDAVİ BASAMAKLARI

7.1 Preoperatif Değerlendirme

Cerrahi öncesinde keratinize dişeti genişliği, yapışık dişeti miktarı, sondalama derinliği, dişeti çekilmesi, vestibül derinliği ve periodontal dokuların inflamasyon durumu değerlendirilir. Alıcı bölgenin boyutları ve anatomik özellikleri belirlenerek greftin genişliği ve yüksekliği planlanır. Hastanın plak kontrolünün yeterli olması ve aktif inflamasyonun kontrol altına alınması, cerrahi öncesi hazırlığın önemli bileşenleridir (Hall & Lundergan, 1993).

7.2 Alıcı Yatağın Hazırlanması

Alıcı bölge lokal anestezi altında hazırlanır. Planlanan greftin yerleştirileceği alanın sınırları belirlendikten sonra, genellikle kısmi kalınlıkta diseksiyon uygulanarak yüzeyel doku

tabakası kaldırılır. Bu işlem sırasında greftin yerleştirileceği alanda periost ve vasküler bağ dokusu içeren bir yatak oluşturulması amaçlanır.

Alıcı yatağın yeterli genişlikte, düzgün ve kanlanma açısından uygun olması gerekir. Greftin alt yüzeyinin alıcı yatakla yakın temas kurması, erken iyileşme dönemindeki beslenme ve sonraki revaskülarizasyon süreci bakımından önemlidir (Fatani et al., 2024).

7.3 Donör Bölgenin Seçimi ve Greftin Alınması

Serbest diş eti grefti (SDG) için donör bölge olarak sıklıkla **sert damak**, alternatif olarak ise **tüber bölgesi** tercih edilir. Donör bölge seçilirken dokunun kalınlığı, greftin boyutları ve anatomik sınırlar ile damar ve sinir yapılarının konumu dikkate alınır. Greftin boyutları, alıcı yatağın ölçülerine ve hedeflenen keratinize doku artışına göre belirlenir.

Lokal anestezi sonrasında, sert damaktan epitel ve altındaki bağ dokusunu içeren greft, uygun kalınlıkta insizyonlarla çıkarılır. Greft kalınlığının yaklaşık 1,5–2 mm olması sıklıkla hedeflenmekle birlikte, ideal kalınlık klinik gereksinimlere göre değişebilir. Tüber bölgesinden greft alınırken distal maksiller bölgede bulunan keratinize dokunun kalınlığı ve miktarı değerlendirilir. Bölgenin anatomik yapısına uygun insizyonlarla yeterli kalınlıkta doku elde edilir. Tüber dokusu genellikle daha kalın ve yoğun olabileceğinden, greftin alıcı yatağa uyum sağlayacak şekilde düzenlenmesi gerekebilir. Her iki donör bölgede de greft bütünlüğünün korunması ve kanama kontrolünün sağlanması önemlidir. Gerektiğinde donör bölgeye hemostatik materyal yerleştirilebilir veya koruyucu plak kullanılabilir (Fatani et al., 2024).

7.4 Greftin Düzenlenmesi ve Alıcı Yatağa Yerleştirilmesi

Donör bölgeden alınan greft, alıcı yatağın boyutlarıyla karşılaştırılır ve gerektiğinde düzenlenir. Greftin alt yüzeyinde alıcı yatakla teması engelleyebilecek fazla yağ veya bez dokusu bulunması durumunda, greftin bütünlüğüne zarar vermeden dikkatli bir düzenleme yapılabilir.

Greft, bağ dokusunu içeren yüzeyi alıcı yatağa temas edecek, epitelize yüzeyi ise ağız boşluğuna bakacak şekilde yerleştirilir. Greftin alıcı yatakla yakın temas sağlaması, erken dönemde beslenme ve daha sonraki revaskülarizasyon süreci açısından önemlidir. Greft altında boşluk kalması, doku hareketliliği ve hematoma oluşumu iyileşmeyi olumsuz etkileyebilecek faktörlerdir (Fatani et al., 2024).

7.5 Greftin Süturlarla Sabitlenmesi

Greft yerleştirildikten sonra uygun süturlarla alıcı yatağa sabitlenir. Süturlama sırasında greftin hareket etmemesi, katlanmaması ve alıcı yatakla temasının korunması hedeflenir. Süturlerin konumu ve sayısı, greftin boyutlarına ve cerrahi bölgenin anatomisine göre belirlenir.

İşlem sonunda greftin konumu, kenarlarının stabilitesi ve alıcı yatakla teması kontrol edilir. Donör bölgedeki hemostaz da yeniden değerlendirilir. Greftin stabilizasyonu, iyileşmenin erken döneminde mekanik travmaya bağlı komplikasyonların azaltılması bakımından önemlidir. Bu nedenle greft stabilizasyonu için greft yarım kalınlık kaldırılan alıcı bölgedeki periosta sıkıca dikilir. Bu sayede hareketsiz bir greft elde edilmiş olur (Fatani et al., 2024).

7.6 Postoperatif Takip ve İyileşmenin Değerlendirilmesi

SDG sonrasında greftin iyileşmesi, başlangıçta alıcı yataktan **difüzyon** yoluyla beslenme, ardından damar bağlantılarının gelişmesi ve dokunun bütünleşmesi süreçlerini içerir. Erken iyileşme döneminde greftin hareketten ve travmadan korunması gerekir.

Postoperatif kontrollerde greftin canlılığı, yara iyileşmesi, doku büzülmesi ve donör bölgenin durumu değerlendirilir. Uzun dönem takipte ise keratinize dişeti genişliği, yapışık dişeti miktarı ve doku kalınlığındaki değişimler incelenebilir. Bu parametreler, cerrahinin temel amacı olan keratinize doku artışının ve periodontal stabilitenin değerlendirilmesine yardımcı olur (Fatani et al., 2024; Hall & Lundergan, 1993).

8. SDG TEKNİKLERİ VE MODİFİKASYONLARI

Serbest dişeti grefti (SDG), keratinize dişeti genişliğini artırmak ve yetersiz yapışık dişeti bulunan bölgeleri tedavi etmek amacıyla kullanılan öngörülebilir bir periodontal cerrahi yöntemdir. Bununla birlikte, geleneksel tekniğin kök yüzeyi örtülmesi, çevre dokularla renk uyumu ve donör bölgedeki iyileşme açısından bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Bu nedenle greft tasarımını ve cerrahi sonuçları geliştirmeye yönelik farklı modifikasyonlar tanımlanmıştır (Fatani et al., 2024). Bu modifikasyonlar;

8.1 Geleneksel Serbest Dişeti Grefti (SDG)

Geleneksel SDG, genellikle sert damaktan alınan epitel ve bağ dokusunu içeren greftin, alıcı bölgede hazırlanan yatağa taşınması esasına dayanır. Temel amaç, keratinize dişeti genişliğini ve kalınlığını artırarak periodontal dokuların uzun dönem stabilitesine katkı

sağlamaktır. Cerrahi endikasyon belirlenirken keratinize doku miktarı, dişeti çekilmesinin seyri, ağız hijyeni ve hastanın klinik gereksinimleri birlikte değerlendirilmelidir. Kök yüzeyi örtülmesinin temel hedef olduğu durumlarda geleneksel SDG'nin estetik sınırlılıkları göz önünde bulundurulmalıdır (Hall & Lundergan, 1993).

8.2 Modifiye Serbest Dişeti Grafti

Kök yüzeyi örtülmesinin de hedeflendiği durumlarda, geleneksel SDG'nin sınırlılıklarını azaltmak amacıyla modifiye teknikler geliştirilmiştir. Modifiye SDG (ModFGG) yaklaşımında alıcı yatağın hazırlanması farklılaştırılarak greftin kanlanma koşullarının ve kök yüzeyi örtülmesinin iyileştirilmesi amaçlanır. Bu yöntem çekilme bölgesinin apikalinde yer alan bağ dokunun saplı bir şekilde çekilme olan bölgeye taşınmasıyla daha iyi kök yüzey örtümü ve estetik sonuç vermektedir. Geleneksel SDG ile aynı teknik olarak değerlendirilmemelidir.

Özellik	Geleneksel SDG	Modifiye SDG (ModFGG)
Temel amaç	Keratinize dişeti genişliğini artırmak	Keratinize doku artışını sağlarken kök yüzeyi örtülmesini de iyileştirmeyi hedeflemek
Alıcı yatak	Greftin yerleştirileceği vasküler yatak hazırlanır	Alıcı yatak, modifiye insizyon ve diseksiyon yaklaşımıyla hazırlanır
Greft	Epitel ve bağ dokusunu içerir	Temel greft yapısı korunur; uygulama tekniği farklılaştırılır
Klinik değerlendirme	Keratinize doku kazanımı ve uzun dönem stabilite	Keratinize doku kazanımına ek olarak kök örtülmesi ve estetik sonuçlar

(Carcuac et al., 2023)

8.3. Kısmen Epitelize Serbest Dişeti Grafti

Kısmen epitelize serbest dişeti grefti (PE-FGG), özellikle mandibular anterior bölgede keratinize dişeti genişliğini artırmak ve mukogingival hattı düzenlemek amacıyla uygulanan modifiye bir tekniktir (Cortellini et al., 2012). Bu teknikte, damaktan alınan greftin koronal bölümü epitelize olarak bırakılırken apikal bölümü de-epitelize edilir. Hazırlanan greft, alıcı bölgede epitelize kısmı ağız ortamına açık kalacak, de-epitelize kısmı ise alıcı yatağa adapte

edilecek şekilde yerleştirilir ve sütürlerle sabitlenir. Böylece keratinize doku kazanımı sağlanırken mukogingival hattın konumunun düzenlenmesi hedeflenir(Cortellini et al., 2012).

8.4 Dişeti Ünitesi Grefti veya Transferi (GUG/GUT)

Dişeti ünitesi grefti (Gingival Unit Graft, GUG) ve dişeti ünitesi transferi (Gingival Unit Transfer, GUT), özellikle dişeti çekilmelerinin tedavisinde kök yüzeyi örtülmesini artırmak amacıyla kullanılan modifiye yaklaşımlardır. Dişeti ünitesi grefti (GUG) veya dişeti ünitesi transferi (GUT), dişeti çekilmesinin tedavisinde kök yüzeyi örtülmesini ve keratinize dişeti dokusunun artırılmasını amaçlayan bir cerrahi yaklaşımdır. Bu teknikte, dişeti papilini ve komşu keratinize dişeti dokusunu içeren greft, donör bölgeden alınarak çekilme bulunan alıcı bölgeye transfer edilir. Greftin anatomik bütünlüğünün korunması ve alıcı bölgeye uygun şekilde sabitlenmesi hedeflenir. Uygun vakalarda bu yaklaşım, geleneksel serbest dişeti greftine kıyasla daha iyi kök yüzeyi örtülmesi sağlayabilir; ancak sonuçlar vaka seçimine ve cerrahi tekniğe bağlıdır(Chetana et al., 2023).

8.5 Epitelize Subepitelyal Bağ Dokusu Grefti

Epitelize subepitelyal bağ dokusu grefti, epitel ve bağ dokusu bileşenlerini bir araya getiren modifiye bir greft yaklaşımıdır. Geleneksel SDG'nin doku hacmi ve estetik görünümle ilişkili sınırlılıklarını azaltmak ve hedeflenen bölgede yumuşak doku özelliklerini geliştirmek amacıyla tanımlanmıştır. Bu tekniğin klinik kullanımı ve sonuçları, mevcut literatürde çoğunlukla sınırlı sayıdaki klinik olgu üzerinden değerlendirilmiştir; dolayısıyla etkinliği konusunda daha güçlü araştırmalara ihtiyaç vardır (Fatani et al., 2024)

8.6 Genişletilmiş Ağsı Serbest Dişeti Grefti

Genişletilmiş ağsı serbest dişeti grefti (Expanded Mesh Free Gingival Graft), özellikle implant çevresinde keratinize mukoza genişliğini artırmak amacıyla tanımlanmış bir yaklaşımdır. Greftin ağsı biçimde genişletilmesiyle mevcut dokunun daha geniş bir alana uyarlanması amaçlanır. De Greef ve arkadaşları tarafından tanımlanan bu teknik, geleneksel greft tasarımına alternatif bir yaklaşım sunmaktadır; ancak endikasyonları ve uzun dönem sonuçları özgün klinik araştırmalar temelinde değerlendirilmelidir (De Greef et al., 2023).

SDG tekniklerindeki modifikasyonlar temel olarak keratinize doku kazanımını artırmak, kök yüzeyi örtülmesini iyileştirmek, estetik uyumu geliştirmek ve greftin alıcı bölgeye adaptasyonunu kolaylaştırmak amacıyla geliştirilmiştir. Bununla birlikte, bu yöntemlerin tamamı birbirinden bağımsız ve standartlaştırılmış teknikler değildir. Bazıları

greftin doku bileşimini, bazıları ise tasarımını veya kullanım amacını değiştirmektedir. Mevcut kanıtlar umut verici olmakla birlikte, tekniklerin etkinliğini karşılaştırmak için uzun dönemli ve kontrollü klinik çalışmalara ihtiyaç vardır (Fatani et al., 2024).

8.7 Peri-İmplant Mukoza Serbest Dişeti Grefti

Peri-implant mukoza bölgesinde serbest diş eti grefti (SDG), implant çevresindeki keratinize mukoza genişliğinin yetersiz olduğu ve özellikle fırçalama sırasında rahatsızlık, plak kontrolünde güçlük veya dişeti çekilmesi gibi klinik sorunların görüldüğü durumlarda uygulanan bir yumuşak doku artırma yöntemidir. Greft, sıklıkla sert damaktan alınarak implant çevresindeki alıcı yatağa yerleştirilir ve keratinize mukoza genişliğinin artırılması sağlanır. Çalışmalar, keratinize mukoza genişliğinin artırılmasının bazı hastalarda ağız hijyenini kolaylaştırabileceğini ve fırçalama rahatsızlığını azaltabileceğini göstermektedir; ancak peri-implant hastalıkların önlenmesi üzerindeki etkisi konusunda kanıtlar kesin değildir (Tavelli et al., 2021; Thoma et al., 2018).

9. SDG UYGULAMASININ KISA VE UZUN DÖNEM SONUÇLARI

Serbest dişeti grefti (SDG), özellikle keratinize dişeti genişliğinin artırılması ve mukogingival dokuların güçlendirilmesi amacıyla uygulanan, klinik olarak öngörülebilir bir periodontal cerrahi yöntemdir. SDG'nin kısa ve uzun dönem sonuçları değerlendirilirken keratinize doku genişliği, greftin iyileşmesi ve büzülmesi, dişeti kenarının konumu, kök yüzeyi örtülmesi ve hasta konforu gibi klinik parametreler dikkate alınmalıdır (Hall & Lundergan, 1993).

9.1 Kısa Dönem Sonuçları

SDG uygulamasından sonraki erken iyileşme döneminde greftin alıcı yatakla bütünleşmesi ve kanlanmasının gelişmesi, cerrahi başarının temel belirleyicileri arasındadır. Greftin alıcı yatağa uygun şekilde uyarlanması ve iyileşme sürecinde hareketsiz tutulması, greftin canlılığının korunması açısından önem taşır (Hall & Lundergan, 1993).

Erken iyileşme sürecinde greft boyutlarında büzülme meydana gelebilir. Bu nedenle cerrahi sırasında elde edilen greft boyutları ile iyileşme sonrasında ölçülen doku genişliği arasında farklılık görülebilir. SDG, keratinize doku genişliğini artırmada etkili bir yöntem olmakla birlikte, elde edilen kazanımın miktarı hastanın anatomik özelliklerine ve uygulanan cerrahi tekniğe bağlı olarak değişebilir (Hall & Lundergan, 1993).

Ameliyat sonrasında özellikle greftin alındığı damak bölgesinde ağrı, hassasiyet ve kanama gibi komplikasyonlar ortaya çıkabilir. Bu durumlar hastanın günlük yaşam konforunu geçici olarak olumsuz etkileyebilir. Ayrıca greftin rengi ve yüzey özellikleri komşu dişeti dokularından farklı olabileceğinden, özellikle estetik açıdan önemli bölgelerde renk uyumu ve doku görünümü göz önünde bulundurulmalıdır (Hall & Lundergan, 1993).

9.2 Uzun Dönem Sonuçları

Uzun dönemde SDG'nin başarısı, elde edilen keratinize doku genişliğinin korunması, dişeti kenarının stabilitesi ve periodontal sağlığın devamlılığı üzerinden değerlendirilir. Başarılı bir iyileşme sonrasında kazanılan keratinize doku genişliği uzun süre korunabilir. Bununla birlikte sonuçlar ağız hijyeni, plak kontrolü, lokal anatomik koşullar ve cerrahi tekniğin özelliklerinden etkilenebilir (Hall & Lundergan, 1993).

Geleneksel SDG'nin temel amacı keratinize doku genişliğini artırmaktır; kök yüzeyinin tamamen örtülmesi her vakada beklenmemelidir. Kök yüzeyi örtülmesinin temel tedavi hedefi olduğu durumlarda, uygun klinik koşullara göre koronal konumlandırılmış flep ve bağ dokusu grefti gibi alternatif teknikler değerlendirilebilir. Bu tekniklerin kök örtülmesi üzerindeki sonuçları, SDG'nin keratinize doku artırıcı etkisinden ayrı olarak ele alınmalıdır (Cairo et al., 2014).

Bazı vakalarda SDG sonrasında zaman içerisinde dişeti kenarının koronale doğru ilerlemesiyle kök yüzeyi örtülmesinde ek artış görülebilir. Bu durum **creeping attachment** olarak tanımlanır. Ancak bu klinik değişiklik her hastada ortaya çıkmadığından, SDG sonrasında öngörülebilir ve tam kök örtülmesi sağlayan bir sonuç olarak değerlendirilmemelidir (Matter, 1980).

Sonuç olarak SDG, keratinize dişeti genişliğinin artırılmasında etkili ve uzun dönem stabilitesi klinik olarak kabul gören bir yöntemdir. Bununla birlikte tedavi başarısı değerlendirilirken yalnızca keratinize doku genişliğindeki artış değil, dişeti kenarının konumu, doku görünümü, periodontal sağlık ve hastanın fonksiyonel beklentileri de dikkate alınmalıdır (Agudio et al., 2008; Golmayo et al., 2021).

10. SDG TEKNİĞİNİN KLİNİK SINIRLILIKLARI

Geleneksel SDG, keratinize dişeti genişliğini artırmada etkili bir yöntem olmakla birlikte, greftin çevre dokulardan farklı renk ve doku özellikleri göstermesi estetik açıdan sınırlılık oluşturabilir. Ayrıca damak bölgesinde ikinci bir cerrahi alan meydana gelmesi, postoperatif ağrı ve kanama gibi sorunlara neden olabilir.

Geleneksel SDG'nin sınırlılıklarını azaltmak amacıyla kısmen epitelden arındırılmış greftler ve diğer modifiye yaklaşımlar geliştirilmiştir ancak modifiye tekniklerin üstünlüğü konusunda kesin sonuçlara ulaşmak için daha güçlü klinik araştırmalara ihtiyaç vardır (Fatani et al., 2024).

SDG'nin temel amacı keratinize doku artışı olduğunda klinik açıdan uygun bir seçenek olabilir. Ancak kök yüzeyinin örtülmesi temel hedefse cerrahi teknik seçimi farklılaşabilir. Lokalize dişeti çekilmelerinde koronal konumlandırılmış flebin tek başına veya bağ dokusu greftiyle birlikte kullanımını destekleyen kanıtları ortaya koymuştur. Bu nedenle SDG, kök örtülmesi amaçlanan her vakada ilk seçenek olarak değerlendirilmemelidir(Cairo et al., 2011; Cairo et al., 2014).

11. DİJİTAL DİŞHEKİMLİĞİNDE SDG’NİN YERİ

Serbest dişeti grefti uygulamalarının değerlendirilmesinde dijital diş hekimliği yöntemlerinin kullanımı son yıllarda gelişen araştırma alanlarından biridir. Ağız içi tarayıcılar aracılığıyla elde edilen dijital modellerin karşılaştırılması, greft bölgesindeki yumuşak doku hacminin, kalınlığının ve konturunun zaman içerisindeki değişiminin nicel olarak değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Dişler çevresindeki SDG uygulamalarını inceleyen 12 aylık bir çalışmada, dijital üç boyutlu analiz yoluyla doku kazanımı ve creeping ataşmanın gelişimi gösterilmiştir. İmplant çevresindeki SDG uygulamalarında ise dijital ölçüm yönteminin donör ve alıcı sahaların iyileşme sürecini değerlendirmede tekrarlanabilir sonuçlar sağlayabildiği bildirilmiştir (César Neto et al., 2024; Docampo-Vázquez et al., 2024).

Ayrıca, SDG ile gingival ünite greftini karşılaştıran bir çalışmada dijital model analizi kullanılarak doku hacmi ve kalınlığındaki değişimler değerlendirilmiştir. Bu bulgular, dijital ölçümlerin SDG sonrası iyileşme sürecinin daha ayrıntılı incelenmesine katkı sağlayabileceğini göstermektedir (Özdemi et al., 2025).

KAYNAKÇA

2. Agudio, G., Nieri, M., Rotundo, R., Cortellini, P., & Pini Prato, G. (2008). Free gingival grafts to increase keratinized tissue: a retrospective long-term evaluation (10 to 25 years) of outcomes. *J Periodontol*, 79(4), 587–594. <https://doi.org/10.1902/jop.2008.070414>
3. Cairo, F., Nieri, M., Cincinelli, S., Mervelt, J., & Pagliaro, U. (2011). The interproximal clinical attachment level to classify gingival recessions and predict root coverage outcomes: an explorative and reliability study. *Journal of Clinical Periodontology*, 38(7), 661–666. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2011.01732.x>
4. Cairo, F., Nieri, M., & Pagliaro, U. (2014). Efficacy of periodontal plastic surgery procedures in the treatment of localized facial gingival recessions. A systematic review. *Journal of Clinical Periodontology*, 41(s15), S44–S62. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jcpe.12182>
5. Carcuac, O., Trullenque-Eriksson, A., & Derks, J. (2023). Modified free gingival graft technique for treatment of gingival recession defects at mandibular incisors: A randomized clinical trial. *Journal of Periodontology*, 94(6), 722–730. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/JPER.22-0581>
6. César Neto, J. B., Cavalcanti, M. C., Silva, C. O., Almeida, V. C., Sapata, V. M., Lazarin, R. O., Jung, R., Romito, G. A., Tatakis, D. N., & Pannuti, C. M. (2024). Digital three-dimensional assessment of free gingival graft remodeling over 12 months. *Journal of Dentistry*, 148, 105216. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jdent.2024.105216>
7. Chetana, Sidharthan, S., Dharmarajan, G., Kale, S., Dharmadhikari, S., & Chordia, D. (2023). Comparison of the effectiveness of Gingival unit transfer and free Gingival graft in the management of localized Gingival recession - A systematic review. *J Oral Biol Craniofac Res*, 13(2), 130–137. <https://doi.org/10.1016/j.jobcr.2022.11.007>
8. Cortellini, P., & Bissada, N. F. (2018). Mucogingival conditions in the natural dentition: Narrative review, case definitions, and diagnostic considerations. *Journal of Periodontology*, 89(S1), S204–S213. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/JPER.16-0671>
9. Cortellini, P., Tonetti, M., & Prato, G. P. (2012). The partly epithelialized free gingival graft (pe-fgg) at lower incisors. A pilot study with implications for alignment of the mucogingival junction. *J Clin Periodontol*, 39(7), 674–680. <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2012.01896.x>
10. Docampo-Vázquez, C., Gragera-Alia, T., Fernández-Domínguez, M., Zubizarreta-Macho, Á., & Aragoneses-Lamas, J. M. (2024). Novel digital technique for measuring the volumetric healing process of free gingival grafts surrounding dental implants. *Front Dent Med*, 5, 1372312. <https://doi.org/10.3389/fdmed.2024.1372312>
11. Fatani, B., Alshalawi, H., Fatani, A., Almuqrin, R., Aburaisi, M. S., & Awartani, F. (2024). Modifications in the Free Gingival Graft Technique: A Systematic Review. *Cureus*, 16(4), e58932. <https://doi.org/10.7759/cureus.58932>
12. Golmayo, P., Barallat, L., Losada, M., Valles, C., Nart, J., & Pascual-La Rocca, A. (2021). Keratinized tissue gain after free gingival graft augmentation procedures around teeth and dental implants: A prospective observational study. *J Clin Periodontol*, 48(2), 302–314. <https://doi.org/10.1111/jcpe.13394>
13. Hall, W. B., & Lundergan, W. P. (1993). Free gingival grafts. Current indications and techniques. *Dent Clin North Am*, 37(2), 227–242.
14. Harris, R. J. (2001). Clinical Evaluation of 3 Techniques to Augment Keratinized Tissue Without Root Coverage. *Journal of Periodontology*, 72(7), 932–938. <https://doi.org/https://doi.org/10.1902/jop.2001.72.7.932>

15. Kassab, M. M., & Cohen, R. E. (2003). The etiology and prevalence of gingival recession. *The Journal of the American Dental Association*, 134(2), 220–225. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2003.0137>
16. Lang, N. P., & Löe, H. (1972). The Relationship Between the Width of Keratinized Gingiva and Gingival Health. *Journal of Periodontology*, 43(10), 623–627. <https://doi.org/https://doi.org/10.1902/jop.1972.43.10.623>
17. Matter, J. (1980). Creeping attachment of free gingival grafts. A five-year follow-up study. *J Periodontol*, 51(12), 681–685. <https://doi.org/10.1902/jop.1980.51.12.681>
18. Niemczyk, W., Niemczyk, S., Prokurat, M., Grudnik, K., Migas, M., Wągrowiska, K., Lau, K., & Kasperczyk, J. (2024). Etiology of gingival recession - a literature review. *Wiad Lek*, 77(5), 1080–1085. <https://doi.org/10.36740/WLek202405131>
19. Özdemir, R. E., Bozkurt, E., & Manav, T. Y. (2025). Volumetric changes in free gingival graft and gingival unit graft treatments evaluated using an indirect digital method. *Ann Anat*, 257, 152329. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2024.152329>
20. Tavelli, L., Barootchi, S., Avila-Ortiz, G., Urban, I. A., Giannobile, W. V., & Wang, H. L. (2021). Peri-implant soft tissue phenotype modification and its impact on peri-implant health: A systematic review and network meta-analysis. *J Periodontol*, 92(1), 21–44. <https://doi.org/10.1002/jper.19-0716>
21. Tejedo, J. R., Jara, R. A., Caceres, L. Z., Vergara-Buenaventura, A., Muniz, F. W., Faveri, M., & Meza-Mauricio, J. (2025). De-epithelialized free gingival graft versus subepithelial connective tissue graft in the treatment of gingival recession: a systematic review and meta-analysis. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*, 30(5), e690–e699. <https://doi.org/10.4317/medoral.27184>
22. Thoma, D. S., Naenni, N., Figuero, E., Hämmerle, C. H. F., Schwarz, F., Jung, R. E., & Sanz-Sánchez, I. (2018). Effects of soft tissue augmentation procedures on peri-implant health or disease: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Oral Implants Research*, 29(S15), 32–49. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/clr.13114>
23. Zafar, F., Riaz, M., Ahmed, R., & Kumar, R. (2024). Soft-tissue augmentation for increasing keratinized tissue around dental implants: A systematic review. *J Indian Soc Periodontol*, 28(4), 417–426. https://doi.org/10.4103/jisp.jisp_429_23

BÖLÜM 7

PERİODONTAL HASTALIKLARDA KONAK MODÜLASYONU: GÜNCEL YAKLAŞIMLAR VE GELECEK PERSPEKTİFİ

Merve AK¹

¹ Araştırma Görevlisi, Erciyes Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Periodontoloji Anabilim Dalı, Kayseri, Türkiye. ORCID: 0009-0009-9454-3279

Giriş

Periodontal hastalıklar, mikrobiyal biyofilm ile konağın bağışıklık yanıtı arasındaki etkileşim sonucunda gelişen ve periodontal dokularda yıkıma neden olabilen kronik inflamatuvar hastalıklardır (Hajishengallis, 2014). Geleneksel periodontal tedavi, mikrobiyal biyofilmin uzaklaştırılmasına ve risk faktörlerinin kontrolüne dayanır. Bununla birlikte, konağın inflamatuvar yanıtının devam etmesi, periodontal doku yıkımının sürmesinde rol oynayabilir. Bu nedenle konak modülasyon tedavisi, inflamatuvar yanıtı düzenleyerek periodontal tedavi sonuçlarını desteklemeyi amaçlayan tamamlayıcı bir yaklaşım olarak önem kazanmıştır (Balta et al., 2021).

Bu bölümde, periodontal hastalıklarda konak modülasyonunun biyolojik temeli, güncel tedavi yaklaşımları ve gelişmekte olan yeni yöntemler ele alınmakta; bu yaklaşımların klinik potansiyeli ve mevcut kanıtların sınırlılıkları değerlendirilmektedir.

1. Periodontal Hastalıkların Patogenezinde Konak Yanıtı

Periodontal hastalık, subgingival mikrobiyal ekolojide gelişen disbiyoz ile konağın immünoinflamatuvar yanıtı arasındaki karmaşık etkileşim sonucunda ortaya çıkan kronik inflamatuvar bir hastalıktır ve dişleri destekleyen yumuşak ve sert periodontal dokuların yıkımıyla karakterizedir (Curtis et al., 2020). Bakteriyel biyofilm gingival inflamasyonu başlatırken, hastalığın başlangıcı ve ilerlemesi tek bir patojenden ziyade polimikrobiyal sinerji ve mikrobiyal topluluktaki dengesizlikle ilişkilidir (Hajishengallis, 2015). İnflamatuvar yanıtın sürdürülmesiyle açığa çıkan doku yıkım ürünleri, belirli mikrobiyal türlerin çoğalmasını destekleyerek disbiyozun devam etmesine katkıda bulunabilir. Bununla birlikte, konağın immünoinflamatuvar yanıtındaki bireysel farklılıklar ve sigara kullanımı gibi çevresel faktörler, hastalığın gelişme riskini ve klinik şiddetini etkileyebilmektedir (Tonetti et al., 2018). Bu nedenle periodontal hastalıkların patogenezi, yalnızca mikrobiyal değişikliklerle değil, mikrobiyotanın ile konak arasındaki çift yönlü etkileşimle açıklanmaktadır.

2. Konak Modülasyonu: Kavramsal Çerçeve ve Tedavideki Yeri

Konak modülasyon tedavisi, periodontal hastalıkların yönetiminde konağın inflamatuvar yanıtını düzenleyerek periodontal dokulardaki yıkıcı süreçleri sınırlandırmayı amaçlayan ve konvansiyonel periodontal tedaviye yardımcı olarak uygulanan farmakolojik bir yaklaşımdır.

Antimikrobiyal tedaviler periodontal hastalıkla ilişkili mikrobiyal biyofilmin kontrolünü amaçlarken, konak modülasyon tedavisi konağın inflamatuvar yanıtını ve bu yanıtın neden

olduğu doku yıkımını sınırlandırmaya odaklanır. Bu nedenle konak modülasyonu, mikrobiyal kontrolün yerine geçen bir yaklaşım değil, konvansiyonel periodontal tedaviyi destekleyen tamamlayıcı bir strateji olarak değerlendirilmektedir.

Cerrahisiz periodontal tedavinin temelini oluşturan mekanik biyofilm kontrolü, hastalığın tedavisinde vazgeçilmezdir. Bununla birlikte, bazı bireylerde devam eden konak kaynaklı inflamatuvar yanıt periodontal doku yıkımının sürmesine katkıda bulunabilir. Konak modülasyon tedavisinin temel amacı, bu yanıtın yıkıcı bileşenlerini düzenleyerek geleneksel periodontal tedavinin klinik sonuçlarını desteklemektir (Balta et al., 2021; Golub & Lee, 2020).

3. Güncel Konak Modülasyonu Yaklaşımları

Periodontal hastalıkların tedavisinde temel yaklaşım, subgingival mikrobiyal biyofilmin mekanik olarak uzaklaştırılması ve hastalığın progresyonuna katkıda bulunan lokal ve sistemik risk faktörlerinin kontrolüdür. Bununla birlikte periodontal doku yıkımının yalnızca mikrobiyal biyofilmin varlığıyla açıklanamaması, konağın inflamatuvar yanıtının da tedavi açısından önemli bir hedef olduğunu ortaya koymuştur. Bu doğrultuda geliştirilen konak modülasyon tedavisi, mikrobiyal yükü doğrudan hedeflemek yerine periodontal dokulardaki aşırı inflamatuvar yanıtı ve buna bağlı doku yıkımını düzenlemeyi amaçlamaktadır (Balta et al., 2021; Kornman, 1999).

Konak yanıtının modülasyonunda farklı biyolojik süreçler hedeflenmektedir. Matriks metalloproteinazların kontrolü, araşidonik asit metabolizmasının düzenlenmesi, osteoklast aktivitesinin sınırlandırılması, proinflamatuvar sitokin yanıtının azaltılması ve inflamasyonun çözülme süreçlerinin desteklenmesi bu yaklaşımların temel hedefleri arasında yer almaktadır. Bu kapsamda subantimikrobiyal doz doksisisiklin, nonsteroid anti-inflamatuvar ilaçlar (NSAİİ'ler), bisfosfonatlar, statinler, probiyotikler, antiromatizmal ilaçlar ve omega-3 çoklu doymamış yağ asitleri araştırılmıştır (Balta et al., 2021; Donos et al., 2020; Kornman, 1999).

3.1. Subantimikrobiyal Doz Doksisisiklin (SDD)

Tetrasiklin grubu antibiyotiklerin periodontal dokulardaki etkilerinin yalnızca antimikrobiyal özellikleriyle sınırlı olmadığına anlaşılmıştır, bu ilaçların konak modülasyonu tedavisinde kullanılmasında önemli bir rol oynamıştır. Doksisisiklin, tetrasiklin grubu bir matriks metalloproteinaz (MMP) inhibitörü olup periodontal hastalıkta özellikle nötrofil kaynaklı MMP-8 aktivitesini baskılayarak bağ dokusundaki kollajen yıkımını sınırlandırmaktadır. Bu özellik, periodontal hastalıkta mikrobiyal biyofilmin doğrudan hedeflenmesinden farklı olarak

konak kaynaklı doku yıkım mekanizmalarının kontrol edilmesine olanak sağlamaktadır. Antimikrobiyal dozların altında kullanıldığında da antiinflamatuvar ve antikollajenolitik özelliklerini koruması, doksisisiklinin konak modülasyonundaki temel rolünü oluşturmaktadır (Golub et al., 1990; Golub et al., 1998).

Subantimikrobiyal doz doksisisiklin (SDD) periodontal tedavide çoğunlukla mekanik periodontal tedaviye yardımcı olarak kullanılmaktadır. Özellikle daha derin periodontal ceplerde sondalama cep derinliğinin azaltılması ve klinik ataşman kazanımının desteklenmesi açısından olumlu sonuçlar bildirilmiştir (Caton et al., 2001). Bununla birlikte SDD'nin temel periodontal tedavinin yerine geçmediği, etkisinin esas olarak konak kaynaklı kollajenaz aktivitesinin düzenlenmesi üzerinden ortaya çıktığı unutulmamalıdır.

3.2. Nonsteroid Anti-inflamatuvar İlaçlar

Nonsteroid anti-inflamatuvar ilaçların (NSAİİ'ler) temel etki mekanizması, araşidonik asit metabolizmasında siklooksijenaz (COX) enzimlerinin inhibisyonu ve buna bağlı olarak prostaglandin sentezinin azaltılmasıdır. Periodontal inflamasyon sırasında özellikle prostaglandin E₂ (PGE₂) üretimindeki artışın bağ dokusu yıkımı ve alveoler kemik rezorpsiyonu ile ilişkili olması, prostaglandin metabolizmasını önemli bir konak modülasyon hedefi haline getirmiştir (Kornman, 1999; Preshaw, 2018).

Periodontal hastalıkta NSAİİ kullanımına ilişkin çalışmalar, prostaglandin sentezinin baskılanmasının inflamasyon ve alveoler kemik kaybı üzerinde olumlu etkiler oluşturabileceğini düşündürmektedir. Özellikle flurbiprofen ile gerçekleştirilen çalışmalarda alveoler kemik kaybının ilerlemesinin azaltılabileceğine ilişkin bulgular elde edilmiştir (Jeffcoat et al., 1988; Williams et al., 1989). Aspirin gibi asetilsalisilik asit (ASA) türevleri periodontal tedavide araştırılmış, ancak mevcut kanıtlar rutin klinik kullanımlarını destekleyecek düzeyde yeterli ve tutarlı bulunmamıştır (Flemmig et al., 1995).

NSAİİ'lerin periodontal konak modülasyonundaki temel sınırlılığı, inflamatuvar yanıtın baskılanmasının hastalığın çözülmesi anlamına gelmemesi ve uzun süreli sistemik kullanımın çeşitli yan etkilere neden olmasıdır. Gastrointestinal, renal ve kardiyovasküler sistem üzerindeki olumsuz etkiler, kronik periodontal hastalıkların tedavisinde uzun süreli NSAİİ kullanımını sınırlandırmaktadır. Bu nedenle NSAİİ'ler günümüzde rutin periodontal konak modülasyonunun bir parçası olmaktan ziyade, inflamatuvar yolakların periodontal doku yıkımındaki rolünü ortaya koyan önemli farmakolojik yaklaşımlar olarak değerlendirilmektedir (Balta et al., 2021).

3.3. Bisfosfonatlar

Bisfosfonatlar, osteoklastik aktiviteyi baskılayarak kemik yıkımını azaltan, osteoblastik aktiviteyi destekleyen farmakolojik ajanlardır (Preshaw, 2018). Periodontal hastalıkta alveoler kemik kaybının önemli bir bölümünün inflamasyonla ilişkili osteoklast aktivitesinden kaynaklanması, bu ilaçların konak modülasyonu açısından araştırılmasına zemin hazırlamıştır. Bisfosfonatların osteoklastların aktivitesi ve fonksiyonu üzerindeki etkileri, periodontal hastalıkta özellikle kemik yıkımının kontrolü açısından önem taşımaktadır (Reddy et al., 1995).

Sistemik bisfosfonat kullanımının çene osteonekrozu riski taşıması nedeniyle periodontal tedavide sistemik uygulamalar sınırlı kalmış, bu nedenle lokal bisfosfonat uygulamaları ön plana çıkmıştır (Palomo et al., 2007). Özellikle alendronatın periodontal ceplere veya intrabony defektlere lokal olarak uygulanmasının, mekanik periodontal tedaviye ek olarak klinik ataşman kazancı ve kemik dolumu üzerinde olumlu etkiler sağlayabileceği bildirilmiştir (Sharma & Pradeep, 2012). Bu yaklaşım, ilacın doğrudan periodontal defekt bölgesine ulaştırılması yoluyla lokal kemik metabolizmasının modüle edilmesini amaçlamaktadır.

Bisfosfonatların periodontal tedavideki potansiyeline rağmen, bu ilaçların güvenlik profili önemli bir değerlendirme alanı oluşturmaktadır. Bu nedenle, özellikle lokal uygulamaların etkinlik ve güvenliliğinin değerlendirilmesine yönelik daha kapsamlı klinik çalışmalara ihtiyaç vardır.

3.4. Statinler

Statinler, HMG-CoA redüktazı (3-hidroksi-3-metilglutaril koenzim A redüktaz) inhibe ederek kolesterol biyosentezini engeller. Pleiotropik anti-enflamatuar ve osteostimüle edici özelliklere sahip oldukları bilinmektedir (Petit et al., 2019). Özellikle osteoklastik aktivitenin sınırlandırılması ve osteoblastik aktivitenin desteklenmesi, statinlerin periodontal dokular üzerindeki olası etkilerini açıklayan mekanizmalar arasında yer almaktadır (Balta et al., 2021).

Periodontal araştırmalarda, statinlerin sistemik kullanımdan ziyade lokal uygulanmasının ek klinik yarar sağlayabileceğine ilişkin bulgular bildirilmiştir. Atorvastatin ve rosuvastatin gibi ajanların kemik içi defektlerde jel olarak uygulanmasının, mekanik periodontal tedaviye ek olarak sondalama cep derinliğinde azalma, klinik ataşman kazanımı ve radyografik kemik kazanımı sağlayabileceğine ilişkin bulgular bulunmaktadır (Pradeep et al., 2016; Pradeep et al., 2015). Sistemik olarak uygulanan statinler ve periodontal tedavi, preklinik hayvan

alışmalarında faydalı bulunmuştur; ancak insan klinik çalışmalarından elde edilen sonuçlar bu sonucu doğrulamamaktadır (Bertl et al., 2017).

Sonuç olarak, statinler özellikle lokal uygulama açısından umut vadeden bir konak modülasyon yaklaşımı olmakla birlikte, mevcut klinik kanıtların sınırlı olması nedeniyle periodontal tedavideki etkinliklerinin daha kapsamlı klinik çalışmalarla ortaya konulması gerekmektedir.

3.5. Probiyotikler

Probiyotikler, yeterli miktarda alındığında konakçının sağlığı üzerinde yararlı etkiler gösteren canlı mikroorganizmalardır (Food & Group, 2002). Periodontal hastalıkta probiyotik yaklaşımın amacı yalnızca periodontal patojenleri baskılamak değil, mikrobiyal ekosistemin dengesini desteklemek ve konağın inflamatuvar yanıtını düzenlemektir. Bu yönüyle probiyotikler, klasik antimikrobiyal yaklaşımlardan farklı olarak mikrobiyal topluluk ile konak arasındaki dengenin yeniden kurulmasını hedeflemektedir. Cerrahisiz periodontal tedaviye yardımcı olarak tablet, gargara ve diş macunu gibi farklı uygulama yöntemleri araştırılmış; özellikle *Lactobacillus*, *Bifidobacterium* ve *Weissella* türleri üzerinde durulmuştur (Alsakr, 2025).

Probiyotiklerin periodontal dokular üzerindeki olası etkileri farklı mekanizmalarla açıklanmaktadır. Yararlı mikroorganizmaların periodontal patojenlerle adezyon bölgeleri ve besin kaynakları için rekabet etmesi, mikrobiyal metabolizmanın değıştirilmesi ve epitel bariyer bütünlüğünün desteklenmesi bu mekanizmalar arasında yer almaktadır. Bunun yanında probiyotiklerin konak hücrelerindeki inflamatuvar sinyal yollarını etkileyerek aşırı inflamatuvar yanıtın sınırlandırılmasına katkıda bulunabileceğı düşünülmektedir (Balta et al., 2021).

Klinik çalışmalarda özellikle *Lactobacillus* ve *Bifidobacterium* türleri üzerinde yoğunlaşmıştır. Probiyotiklerin mekanik periodontal tedaviye eklenmesinin bazı hasta gruplarında sondalama cep derinliğinde azalma ve klinik ataşman düzeylerinde iyileşme sağlayabileceğı bildirilmiştir (Laleman et al., 2020). Bununla birlikte, elde edilen sonuçların kullanılan suş, doz, uygulama şekli, tedavi süresi ve başlangıç periodontal durum gibi faktörlere göre değışkenlik göstermesi, probiyotiklerin etkisinin standart bir tedavi yaklaşımıyla açıklanamayacağını göstermektedir.

Sonuç olarak, mevcut kanıtlar probiyotiklerin cerrahisiz periodontal tedaviye ek olarak kullanımının, özellikle derin periodontal ceplerde, klinik iyileşmeye katkı sağlayabileceğini

düşündürmektedir. Bununla birlikte, çalışmalar arasındaki belirgin farklılıklar ve uzun dönem mikrobiyolojik ve immünolojik verilerin sınırlı olması kesin sonuçlara ulaşmayı güçleştirmektedir. Bu nedenle, probiyotiklerin periodontal tedavideki etkinliğini ve uygun hasta seçimini belirlemek için daha standardize ve uzun süreli klinik çalışmalara ihtiyaç vardır (Ho et al., 2020).

3.6. Antiromatizmal İlaçlar

Periodontal hastalık ile romatoid artrit (RA) arasında bulunan ortak inflamatuvar mekanizmalar, romatizmal hastalıkların tedavisinde kullanılan immünomodülatör ilaçların periodontal dokular üzerindeki etkilerinin araştırılmasına neden olmuştur (Preshaw, 2018). Her iki hastalıkta da TNF- α , IL-6, IL-17 ve çeşitli immün hücrelerin inflamatuvar sürecin devamlılığında rol oynaması, sistemik inflamasyonun kontrol edilmesinin periodontal inflamasyon üzerinde de etkili olabileceği düşüncesini ortaya çıkarmıştır (Balta et al., 2021).

Metotreksat gibi konvansiyonel hastalık modifiye edici antiromatizmal ilaçların yanı sıra TNF- α inhibitörleri ve B hücrelerini hedefleyen biyolojik ajanlar da periodontal açıdan araştırılmıştır. Bununla birlikte sistemik romatizmal hastalık aktivitesindeki iyileşmenin periodontal inflamasyonda aynı düzeyde bir düzelme oluşturmadığına ilişkin bulgular bulunmaktadır. Bu durum, periodontal inflamasyonun yalnızca sistemik inflamasyonun bir yansıması olmadığını ve lokal mikrobiyal biyofilm ile konak arasındaki etkileşimin periodontal hastalık açısından bağımsız bir öneme sahip olduğunu düşündürmektedir (de Smit et al., 2021).

Biyolojik ajanlarla ilgili çalışmalar farklı sonuçlar ortaya koymuştur. Anti-TNF ve B hücrelerini hedefleyen tedavilerin bazı periodontal inflamatuvar parametrelerde iyileşme sağlayabildiği bildirilse de, bazı çalışmalar bu tedavilerin periodontal inflamasyonla ilişkili olabileceğini göstermiştir (Inchingolo et al., 2023; Mayer et al., 2009). Bu nedenle antiromatizmal ilaçlar, primer periodontal konak modülatörleri olarak değil, sistemik inflamatuvar hastalıkların tedavisi sırasında periodontal dokuların inflamatuvar yanıtını da etkileyebilen ajanlar olarak değerlendirilmelidir.

3.7. Omega-3 Çoklu Doymamış Yağ Asitleri (Omega-3 PUFA)

Esansiyel yağ asitleri, vücutta yeterince sentezlenemediği için temel olarak besinlerle alınan yağ asitleridir. Çoklu doymamış yağ asitleri (ÇDYA), omega-3 (ω -3) ve omega-6 (ω -6) olmak üzere iki temel gruba ayrılır. Omega-3 ailesinin öncülü α -linolenik asit (ALA) olup,

eikosapentaenoik asit (EPA) ve dokosaheksaenoik asit (DHA) başlıca uzun zincirli ω -3 yağ asitleridir (Leonard et al., 2004; Russo, 2009).

Eikosapentaenoik asit (EPA) ve dokosaheksaenoik asit (DHA), hücrel membran yapısında yer almalarının yanı sıra inflamatuvar yanıtın düzenlenmesinde rol alan çeşitli lipid mediyatörlerinin öncülleridir. Bu nedenle omega-3 PUFA'ların etkisi yalnızca inflamasyonu azaltmak şeklinde değil, inflamatuvar sürecin fizyolojik olarak sonlandırılmasına katkı sağlamak şeklinde de değerlendirilmektedir (Van Dyke, 2011).

Klasik anti-inflamatuvar yaklaşımlar inflamatuvar mediyatörlerin üretimini veya etkisini azaltmayı hedeflerken, inflamasyonun çözülmesi inflamatuvar hücrelerin dokudan uzaklaştırılması ve doku homeostazının yeniden sağlanmasını içeren aktif bir süreçtir. İnflamasyonun başlangıcında prostaglandin ve lökotrienler gibi mediyatörler rol alırken, ilerleyen süreçte omega-3 ve omega-6 yağ asitlerinden türeyen lipoksinler (LX) ve specialized pro-resolving mediators (SPM) olarak adlandırılan resolvinler (Rv), protektinler (PD) ve maresinler (MaR) inflamasyonun çözülmesini desteklemektedir (Serhan et al., 2008; Van Dyke & Serhan, 2003).

SPM'ler içerisinde periodontal hastalık açısından özellikle resolvinler üzerinde durulmaktadır. Resolvinler, inflamatuvar yanıtın kontrolünde görev alan lipid mediyatörleri olup, proinflamatuvar sinyallerin sınırlandırılmasına ve inflamasyon bölgesindeki lökosit yanıtının düzenlenmesine katkıda bulunur. Özellikle nötrofillerin damar dışına geçişini ve inflamasyon bölgesindeki birikimini azaltarak aşırı inflamatuvar yanıtın kontrol edilmesine yardımcı oldukları gösterilmiştir (Serhan, 2007). EPA türevi Resolvin E1'in periodontal inflamasyon ve osteoklast aracılı kemik yıkımı üzerindeki etkileri deneysel modellerde araştırılmış ve inflamatuvar yanıtın sınırlandırılması ile periodontal dokuların korunması açısından olumlu sonuçlar elde edilmiştir (Hasturk et al., 2006). DHA türevi resolvinler, protektinler ve maresinler ise inflamasyonun çözülmesi ve doku homeostazının yeniden kurulmasında rol alan diğer lipid mediyatörlerini oluşturmaktadır.

Omega-3 PUFA desteğinin klinik periodontal tedaviye katkısı da araştırılmıştır. Mekanik periodontal tedaviye omega-3 desteğinin eklenmesinin bazı klinik ve biyokimyasal parametrelerde daha olumlu sonuçlarla ilişkili olabileceği bildirilmiştir (El-Sharkawy et al., 2010).

Omega-3 PUFA'ların aspirin ile birlikte kullanımına yönelik yaklaşım da pro-rezolüsyon mekanizmaları açısından önem taşımaktadır. Aspirin, COX-2 enziminin aktivitesini

değiştirerek klasik proinflamatuvar lipid mediyatörlerinin sentezini azaltırken, aspirin aracılı lipoksin ve resolvinlerin oluşumunu destekleyebilmektedir. Omega-3 yağ asitlerinden türeyen bu pro-çözülme mediyatörleri, özellikle nötrofil göçü ve inflamatuvar hücre infiltrasyonunu sınırlandırarak inflamasyonun aktif olarak sonlandırılmasına katkıda bulunur. Bu nedenle aspirin ile omega-3 yağ asitlerinin birlikte kullanımı, inflamatuvar yanıtın yalnızca baskılanmasını değil, aynı zamanda çözülme sürecinin desteklenmesini amaçlayan tamamlayıcı bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir (Norling & Serhan, 2010).

Genel olarak değerlendirildiğinde omega-3 PUFA'lar, periodontal konak modülasyonunun geleceğinde özellikle pro-rezolüsyon biyolojisi açısından dikkat çekici bir yaklaşım sunmaktadır. Bununla birlikte optimal EPA+DHA dozu, tedavi süresi, uygun hasta grupları ve diğer konak modülatörleriyle kombinasyonların belirlenmesi için daha standardize klinik çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır.

4. Yeni Nesil Konak Modülasyonu Yaklaşımları

Periodontal hastalıkların kronik inflamatuvar yapısının daha iyi anlaşılması, yalnızca inflamasyonun baskılanmasını değil, inflamatuvar yanıtın belirli bileşenlerinin seçici olarak hedeflenmesini amaçlayan yeni tedavi yaklaşımlarının geliştirilmesini sağlamıştır. Bu kapsamda özelleşmiş pro-rezolüsyon mediyatörleri, kompleman sistemini inhibe eden ajanlar, kimyasal olarak modifiye kurkuminler ve inflammasom hedefli yaklaşımlar periodontal hastalık için gelecek vadeden yeni nesil konak modülatörleri arasında yer almaktadır (Hajishengallis et al., 2015).

4.1. Özelleşmiş Pro-Rezolüsyon Mediyatörleri

Periodontal inflamasyonun gelişimi ve ilerlemesinde, proinflamatuvar yanıt ile inflamasyonun çözülmesini sağlayan pro-rezolüsyon yanıt arasındaki dengenin bozulması önemli bir rol oynamaktadır (Balta et al., 2017). Özelleşmiş pro-rezolüsyon mediyatörleri; lipoksinler, resolvinler, protektinler ve maresinleri içeren ve inflamasyonun aktif olarak çözülmesini destekleyen lipid mediyatörleridir. Bu moleküller, klasik immünosupresif yaklaşımlardan farklı olarak konağın savunma yanıtını tamamen baskılamadan inflamatuvar hücrelerin kontrolünü, apoptotik hücrelerin uzaklaştırılmasını ve doku homeostazının yeniden kurulmasını desteklemektedir (Serhan et al., 2008; Van Dyke, 2011).

Deneyisel periodontal hastalık modellerinde özelleşmiş pro-rezolüsyon mediyatörleri, adaptif immün yanıtın düzenlenmesine de katkıda bulunarak dendritik hücrelerin olgunlaşmasını ve

antijen sunumunu sınırlandırmakta, buna bağı olarak CD4+ T hücrelerinin aktivasyonunu azaltmaktadır (Mizraji et al., 2018).

Bu özellikleri nedeniyle özelleşmiş pro-rezolüsyon mediyatörleri, periodontal tedavide inflamasyonu baskılamak yerine inflamasyonun çözülmesini hedefleyen yeni bir yaklaşım sunmaktadır (Van Dyke, 2020). Bununla birlikte, mevcut kanıtların önemli bölümü deneysel çalışmalara dayanmakta olup klinik kullanım için insan çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır.

4.2. Kompleman Sistemini İnhibe Eden Ajanlar

Kompleman sistemi, konak savunmasında önemli bir role sahip olmakla birlikte periodontal hastalıkta aşırı aktivasyonu inflamatuvar yanıtın sürdürülmesine ve periodontal doku yıkımına neden olabilmektedir (Mastellos et al., 2020). Kompleman sisteminin merkezi bileşeni olan C3, inflamatuvar lökositlerin bölgeye çekilmesini ve fagositoz süreçlerini güçlendirerek periodontal inflamasyonda önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle C3, periodontitisin tedavisinde potansiyel bir terapötik hedef olarak değerlendirilmektedir.

C3 inhibitörlerinden Cp40, deneysel periodontal hastalık modellerinde inflamasyonu, osteoklast oluşumunu ve alveoler kemik kaybını azaltması nedeniyle dikkat çekmiştir (Bostanci et al., 2018). Cp40'ın geliştirilmesiyle ortaya çıkan AMY-101 ise C3'ü hedefleyen yeni nesil bir inhibitör olarak insan çalışmalarına taşınmıştır. Periodontal inflamasyonu bulunan bireylerde yapılan klinik çalışmada lokal AMY-101 uygulamasının gingival inflamasyon ve sondalamada kanamada azalma sağladığı bildirilmiştir (Hasturk et al., 2021).

C3'ün hedeflenmesine yönelik elde edilen deneysel ve klinik veriler, kompleman aktivasyonunun periodontal dokulardaki inflamatuvar yanıtın düzenlenmesinde önemli bir hedef olabileceğine işaret etmektedir. Özellikle lokal C3 inhibisyonunun periodontal inflamasyon üzerindeki etkileri, bu yaklaşımın konak modülasyonu açısından araştırılmaya devam edilmesini desteklemektedir.

4.3. Kimyasal Olarak Modifiye Kurkuminler

Kimyasal olarak modifiye kurkumin 2.24 (CMC 2.24), periodontal hastalığın tedavisinde araştırılan yeni konak modülasyon ajanlarından biridir. CMC 2.24, matriks metalloproteinazlarını ve inflamatuvar yanıtı hedefleyen çok yönlü bir ajan olarak değerlendirilmektedir. Deneysel periodontal hastalık modellerinde CMC 2.24 uygulamasının inflamatuvar mediyatörleri ve MMP aktivitesini azaltarak periodontal doku yıkımını ve alveoler kemik kaybını sınırlandırabildiği bildirilmiştir (Golub & Lee, 2020).

Mevcut bulgular CMC 2.24'ün periodontal konak modülasyonunda potansiyel bir yaklaşım olduğunu göstermektedir; ancak elde edilen kanıtlar ağırlıklı olarak deneysel çalışmalara dayanmaktadır.

4.4. İnflammasom Hedefli Yaklaşımlar

NLRP3 inflamazomu, doğuştan gelen bağışıklık sisteminin kritik bir bileşenidir ve çeşitli inflamatuvar hastalıkların gelişiminde önemli bir rol oynamaktadır. Bununla birlikte, NLRP3 inflamazomunun periodontitis üzerindeki etkileri henüz tam olarak aydınlatılamamıştır. Deneysel periodontitis modelinde NLRP3 eksikliğinin osteoklast farklılaşmasını ve alveoler kemik kaybını azalttığı gösterilmiştir. Benzer şekilde, seçici NLRP3 inhibitörü MCC950 uygulaması inflamatuvar yanıtı, osteoklast farklılaşmasını ve alveoler kemik kaybını baskılamıştır. Bu bulgular, NLRP3 inflamazomunun periodontal doku yıkımında potansiyel bir terapötik hedef olabileceğini düşündürmektedir. Bununla birlikte, MCC950'a ilişkin kanıtlar henüz prelinik düzeydedir (Chen et al., 2021).

Genel olarak yeni nesil konak modülasyonu yaklaşımları, periodontal tedavide inflamasyonun geniş ölçekte baskılanmasından ziyade, inflamasyonun çözülmesi, kompleman aktivasyonu, inflammasomlar ve doku yıkım mekanizmaları gibi daha spesifik biyolojik hedeflerin düzenlenmesine yönelmektedir. Bu yaklaşım, gelecekte hastanın inflamatuvar özelliklerine ve hastalık mekanizmalarına göre seçilebilen daha hedefli yardımcı tedavilerin geliştirilmesine olanak sağlayabilir. Bununla birlikte mevcut adayların önemli bir bölümü henüz prelinik aşamada olduğundan, klinik uygulamaya geçiş için standardize edilmiş insan çalışmalarına ihtiyaç devam etmektedir.

5. Gelecek Perspektifi ve Klinik Yansımalar

Konak modülasyonu, periodontal hastalıkların patogenezinde rol oynayan inflamatuvar mekanizmaların hedeflenmesi ve periodontal doku yıkımının sınırlandırılması açısından önemli bir terapötik yaklaşım olarak değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, yeni tedavi stratejilerinin klinik uygulamadaki yerinin belirlenebilmesi için etkinlik, güvenilirlik ve uzun dönem sonuçlarına ilişkin kanıtların güçlendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, konak yanıtındaki bireysel farklılıkların ve sistemik risk faktörlerinin dikkate alınması, tedaviye yanıtın öngörülmesi ve uygun hasta gruplarının belirlenmesi açısından önem taşımaktadır. Gelecekte, biyolojik hedeflerin daha iyi tanımlanması ve kişiselleştirilmiş tedavi yaklaşımlarının geliştirilmesi,

konak modülasyonunun periodontal tedavideki klinik rolünün netleştirilmesine katkı sağlayabilir (Balta et al., 2021).

Sonuç

Periodontal hastalıkların ortaya çıkışı ve ilerlemesi, mikrobiyal biyofilm ile konağın inflamatuvar yanıtı arasındaki karşılıklı etkileşimle ilişkilidir. Bu nedenle tedavide yalnızca mikrobiyal biyofilmin kontrol altına alınması değil, periodontal dokularda yıkıma neden olan inflamatuvar süreçlerin de düzenlenmesi önem taşımaktadır. Konak modülasyon tedavisi, temel periodontal tedaviyi destekleyerek inflamasyonun kontrolünü ve doku yıkımına yol açan biyolojik mekanizmaların sınırlandırılmasını hedeflemektedir.

Günümüzde subantimikrobiyal doz doksisisiklin, statinler, bisfosfonatlar, probiyotikler ve omega-3 çoklu doymamış yağ asitleri gibi farklı ajanların periodontal tedaviye katkısı araştırılmaktadır. Bununla birlikte, tedavi sonuçları kullanılan ajana, uygulama protokolüne ve hastaya ait klinik özelliklere göre farklılık gösterebilmektedir. Özelleşmiş pro-rezolüsyon mediyatörleri, kompleman sistemini hedefleyen inhibitörler, kimyasal olarak modifiye kurkuminler ve inflammasom odaklı tedaviler de periodontal inflamasyonun düzenlenmesine yönelik yeni araştırma alanları arasında yer almaktadır. Ancak bu yaklaşımların klinik etkinliklerinin belirlenmesi için çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Gelecekte konak modülasyonunun klinik uygulamalardaki yerinin belirlenmesinde, hastaların sistemik durumu, periodontal risk faktörleri ve tedaviye verdikleri yanıtın birlikte değerlendirilmesi önem kazanacaktır. Biyobelirteçler ve mikrobiyom analizlerinin klinik bulgularla birlikte ele alınması, tedavi seçeneklerinin bireysel özelliklere göre belirlenmesine katkı sağlayabilir. Bununla birlikte, bu yaklaşımların rutin kullanıma girebilmesi için etkinlik ve güvenilirliklerinin yeterli klinik kanıtlarla ortaya konulması gerekmektedir. Sonuç olarak, konak modülasyonu, mekanik periodontal tedavinin alternatifi değil, uygun hastalarda tedavi sonuçlarını destekleme potansiyeli taşıyan tamamlayıcı bir yaklaşımdır.

Kaynaklar

- Alsakr, A. (2025). Periodontal Diseases and Host Modulation Therapies. *J Pharm Bioallied Sci*, 17(Suppl 3), S2052-s2054. https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs_537_25
- Balta, M. G., Loos, B. G., & Nicu, E. A. (2017). Emerging Concepts in the Resolution of Periodontal Inflammation: A Role for Resolvin E1. *Front Immunol*, 8, 1682. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2017.01682>
- Balta, M. G., Papathanasiou, E., Blix, I. J., & Van Dyke, T. E. (2021). Host Modulation and Treatment of Periodontal Disease. *J Dent Res*, 100(8), 798-809. <https://doi.org/10.1177/0022034521995157>
- Bertl, K., Parllaku, A., Pandis, N., Buhlin, K., Klinge, B., & Stavropoulos, A. (2017). The effect of local and systemic statin use as an adjunct to non-surgical and surgical periodontal therapy-A systematic review and meta-analysis. *J Dent*, 67, 18-28. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2017.08.011>
- Bostanci, N., Bao, K., Li, X., Maekawa, T., Grossmann, J., Panse, C., Briones, R. A., Resuello, R. R. G., Tuplano, J. V., Garcia, C. A. G., Reis, E. S., Lambris, J. D., & Hajishengallis, G. (2018). Gingival Exudate Dynamics Implicate Inhibition of the Alternative Complement Pathway in the Protective Action of the C3 Inhibitor Cp40 in Nonhuman Primate Periodontitis. *J Proteome Res*, 17(9), 3153-3175. <https://doi.org/10.1021/acs.jproteome.8b00263>
- Caton, J. G., Ciancio, S. G., Blieden, T. M., Bradshaw, M., Crout, R. J., Hefti, A. F., Massaro, J. M., Polson, A. M., Thomas, J., & Walker, C. (2001). Subantimicrobial dose doxycycline as an adjunct to scaling and root planing: post-treatment effects. *J Clin Periodontol*, 28(8), 782-789. <https://doi.org/10.1034/j.1600-051x.2001.280810.x>
- Chen, Y., Yang, Q., Lv, C., Chen, Y., Zhao, W., Li, W., Chen, H., Wang, H., Sun, W., & Yuan, H. (2021). NLRP3 regulates alveolar bone loss in ligature-induced periodontitis by promoting osteoclastic differentiation. *Cell Proliferation*, 54(2), e12973. <https://doi.org/10.1111/cpr.12973>
- Curtis, M. A., Diaz, P. I., & Van Dyke, T. E. (2020). The role of the microbiota in periodontal disease. *Periodontol 2000*, 83(1), 14-25. <https://doi.org/10.1111/prd.12296>
- de Smit, M. J., Westra, J., Posthumus, M. D., Springer, G., van Winkelhoff, A. J., Vissink, A., Brouwer, E., & Bijl, M. (2021). Effect of Anti-Rheumatic Treatment on the Periodontal Condition of Rheumatoid Arthritis Patients. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(5), 2529. <https://www.mdpi.com/1660-4601/18/5/2529>

- Donos, N., Calciolari, E., Brusselaers, N., Goldoni, M., Bostanci, N., & Belibasakis, G. N. (2020). The adjunctive use of host modulators in non-surgical periodontal therapy. A systematic review of randomized, placebo-controlled clinical studies. *Journal of Clinical Periodontology*, 47(S22), 199-238. <https://doi.org/10.1111/jcpe.13232>
- El-Sharkawy, H., Aboelsaad, N., Eliwa, M., Darweesh, M., Alshahat, M., Kantarci, A., Hasturk, H., & Van Dyke, T. E. (2010). Adjunctive treatment of chronic periodontitis with daily dietary supplementation with omega-3 Fatty acids and low-dose aspirin. *J Periodontol*, 81(11), 1635-1643. <https://doi.org/10.1902/jop.2010.090628>
- Flemmig, T. F., Epp, B., Funkenhauser, Z., Newman, M. G., Kornman, K. S., Haubitz, I., & Klaiber, B. (1995). Adjunctive supragingival irrigation with acetylsalicylic acid in periodontal supportive therapy. *J Clin Periodontol*, 22(6), 427-433. <https://doi.org/10.1111/j.1600-051x.1995.tb00173.x>
- Food, J., & Group, A. O. W. H. O. W. (2002). Guidelines for the evaluation of probiotics in food. *Report of a Joint FAO/WHO: London, ON, Canada*.
- Golub, L. M., Ciancio, S., Ramamamurthy, N. S., Leung, M., & McNamara, T. F. (1990). Low-dose doxycycline therapy: effect on gingival and crevicular fluid collagenase activity in humans. *J Periodontal Res*, 25(6), 321-330. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0765.1990.tb00923.x>
- Golub, L. M., & Lee, H. M. (2020). Periodontal therapeutics: Current host-modulation agents and future directions. *Periodontol 2000*, 82(1), 186-204. <https://doi.org/10.1111/prd.12315>
- Golub, L. M., Lee, H. M., Ryan, M. E., Giannobile, W. V., Payne, J., & Sorsa, T. (1998). Tetracyclines inhibit connective tissue breakdown by multiple non-antimicrobial mechanisms. *Adv Dent Res*, 12(2), 12-26. <https://doi.org/10.1177/08959374980120010501>
- Hajishengallis, G. (2014). Immunomicrobial pathogenesis of periodontitis: keystones, pathobionts, and host response. *Trends Immunol*, 35(1), 3-11. <https://doi.org/10.1016/j.it.2013.09.001>
- Hajishengallis, G. (2015). Periodontitis: from microbial immune subversion to systemic inflammation. *Nat Rev Immunol*, 15(1), 30-44. <https://doi.org/10.1038/nri3785>
- Hajishengallis, G., Maekawa, T., Abe, T., Hajishengallis, E., & Lambris, J. D. (2015). Complement Involvement in Periodontitis: Molecular Mechanisms and Rational Therapeutic Approaches. *Adv Exp Med Biol*, 865, 57-74. https://doi.org/10.1007/978-3-319-18603-0_4

- Hasturk, H., Hajishengallis, G., Lambris, J. D., Mastellos, D. C., & Yancopoulou, D. (2021). Phase IIa clinical trial of complement C3 inhibitor AMY-101 in adults with periodontal inflammation. *J Clin Invest*, 131(23). <https://doi.org/10.1172/jci152973>
- Hasturk, H., Kantarci, A., Ohira, T., Arita, M., Ebrahimi, N., Chiang, N., Petasis, N. A., Levy, B. D., Serhan, C. N., & Van Dyke, T. E. (2006). RvE1 protects from local inflammation and osteoclast-mediated bone destruction in periodontitis. *The FASEB Journal*, 20(2), 401-403. <https://doi.org/10.1096/fj.05-4724fje>
- Ho, S. N., Acharya, A., Sidharthan, S., Li, K. Y., Leung, W. K., McGrath, C., & Pelekos, G. (2020). A Systematic Review and Meta-analysis of Clinical, Immunological, and Microbiological Shift in Periodontitis After Nonsurgical Periodontal Therapy With Adjunctive Use of Probiotics. *J Evid Based Dent Pract*, 20(1), 101397. <https://doi.org/10.1016/j.jebdp.2020.101397>
- Inchingolo, F., Inchingolo, A. M., Avantiario, P., Settanni, V., Fatone, M. C., Piras, F., Di Venere, D., Inchingolo, A. D., Palermo, A., & Dipalma, G. (2023). The Effects of Periodontal Treatment on Rheumatoid Arthritis and of Anti-Rheumatic Drugs on Periodontitis: A Systematic Review. *Int J Mol Sci*, 24(24). <https://doi.org/10.3390/ijms242417228>
- Jeffcoat, M. K., Williams, R. C., Reddy, M. S., English, R., & Goldhaber, P. (1988). Flurbiprofen treatment of human periodontitis: effect on alveolar bone height and metabolism. *Journal of Periodontal Research*, 23(6), 381-385. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0765.1988.tb01617.x>
- Kornman, K. S. (1999). Host modulation as a therapeutic strategy in the treatment of periodontal disease. *Clin Infect Dis*, 28(3), 520-526. <https://doi.org/10.1086/515165>
- Laleman, I., Pauwels, M., Quirynen, M., & Teughels, W. (2020). A dual-strain Lactobacilli reuteri probiotic improves the treatment of residual pockets: A randomized controlled clinical trial. *J Clin Periodontol*, 47(1), 43-53. <https://doi.org/10.1111/jcpe.13198>
- Leonard, A. E., Pereira, S. L., Sprecher, H., & Huang, Y. S. (2004). Elongation of long-chain fatty acids. *Prog Lipid Res*, 43(1), 36-54. [https://doi.org/10.1016/s0163-7827\(03\)00040-7](https://doi.org/10.1016/s0163-7827(03)00040-7)
- Mastellos, D. C., Reis, E. S., & Lambris, J. D. (2020). Therapeutic modulation of the complement system: clinical indications and emerging drug leads. In (Vol. 10, pp. 3029): Frontiers Media SA.
- Mayer, Y., Balbir-Gurman, A., & Machtei, E. E. (2009). Anti-tumor necrosis factor-alpha therapy and periodontal parameters in patients with rheumatoid arthritis. *J Periodontol*, 80(9), 1414-1420. <https://doi.org/10.1902/jop.2009.090015>

- Mizraji, G., Heyman, O., Van Dyke, T. E., & Wilensky, A. (2018). Resolvin D2 Restrains Th1 Immunity and Prevents Alveolar Bone Loss in Murine Periodontitis. *Front Immunol*, 9, 785. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2018.00785>
- Norling, L. V., & Serhan, C. N. (2010). Profiling in resolving inflammatory exudates identifies novel anti-inflammatory and pro-resolving mediators and signals for termination. *Journal of Internal Medicine*, 268(1), 15-24. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2796.2010.02235.x>
- Palomo, L., Liu, J., & Bissada, N. F. (2007). Skeletal bone diseases impact the periodontium: a review of bisphosphonate therapy. *Expert Opin Pharmacother*, 8(3), 309-315. <https://doi.org/10.1517/14656566.8.3.309>
- Petit, C., Batool, F., Bugueno, I. M., Schwinté, P., Benkirane-Jessel, N., & Huck, O. (2019). Contribution of Statins towards Periodontal Treatment: A Review. *Mediators Inflamm*, 2019, 6367402. <https://doi.org/10.1155/2019/6367402>
- Pradeep, A. R., Garg, V., Kanoriya, D., & Singhal, S. (2016). 1.2% Rosuvastatin Versus 1.2% Atorvastatin Gel Local Drug Delivery and Redelivery in Treatment of Intrabony Defects in Chronic Periodontitis: A Randomized Placebo-Controlled Clinical Trial. *J Periodontol*, 87(7), 756-762. <https://doi.org/10.1902/jop.2016.150706>
- Pradeep, A. R., Karvekar, S., Nagpal, K., Patnaik, K., Guruprasad, C. N., & Kumaraswamy, K. M. (2015). Efficacy of locally delivered 1.2% rosuvastatin gel to non-surgical treatment of patients with chronic periodontitis: a randomized, placebo-controlled clinical trial. *J Periodontol*, 86(6), 738-745. <https://doi.org/10.1902/jop.2015.140631>
- Preshaw, P. M. (2018). Host modulation therapy with anti-inflammatory agents. *Periodontology* 2000, 76(1), 131-149.
- Reddy, M. S., Weatherford, T. W., 3rd, Smith, C. A., West, B. D., Jeffcoat, M. K., & Jacks, T. M. (1995). Alendronate treatment of naturally-occurring periodontitis in beagle dogs. *J Periodontol*, 66(3), 211-217. <https://doi.org/10.1902/jop.1995.66.3.211>
- Russo, G. L. (2009). Dietary n-6 and n-3 polyunsaturated fatty acids: from biochemistry to clinical implications in cardiovascular prevention. *Biochem Pharmacol*, 77(6), 937-946. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2008.10.020>
- Serhan, C. N. (2007). Resolution phase of inflammation: novel endogenous anti-inflammatory and proresolving lipid mediators and pathways. *Annu Rev Immunol*, 25, 101-137. <https://doi.org/10.1146/annurev.immunol.25.022106.141647>

- Serhan, C. N., Chiang, N., & Van Dyke, T. E. (2008). Resolving inflammation: dual anti-inflammatory and pro-resolution lipid mediators. *Nature Reviews Immunology*, 8(5), 349-361.
- Sharma, A., & Pradeep, A. R. (2012). Clinical Efficacy of 1% Alendronate Gel as a Local Drug Delivery System in the Treatment of Chronic Periodontitis: A Randomized, Controlled Clinical Trial. *Journal of Periodontology*, 83(1), 11-18. <https://doi.org/10.1902/jop.2011.110091>
- Tonetti, M. S., Greenwell, H., & Kornman, K. S. (2018). Staging and grading of periodontitis: Framework and proposal of a new classification and case definition. *J Periodontol*, 89 Suppl 1, S159-s172. <https://doi.org/10.1002/jper.18-0006>
- Van Dyke, T. E. (2011). Proresolving lipid mediators: potential for prevention and treatment of periodontitis. *Journal of Clinical Periodontology*, 38(s11), 119-125. <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2010.01662.x>
- Van Dyke, T. E. (2020). Shifting the paradigm from inhibitors of inflammation to resolvers of inflammation in periodontitis. *Journal of Periodontology*, 91, S19-S25.
- Van Dyke, T. E., & Serhan, C. N. (2003). Resolution of inflammation: a new paradigm for the pathogenesis of periodontal diseases. *J Dent Res*, 82(2), 82-90. <https://doi.org/10.1177/154405910308200202>
- Williams, R. C., Jeffcoat, M. K., Howard Howell, T., Rolla, A., Stubbs, D., Teoh, K. W., Reddy, M. S., & Goldhaber, P. (1989). Altering the Progression of Human Alveolar Bone Loss With the Non-Steroidal Anti-Inflammatory Drug Flurbiprofen. *Journal of Periodontology*, 60(9), 485-490. <https://doi.org/10.1902/jop.1989.60.9.485>

BÖLÜM 8

DENTAL İMPLANT YÜZEYLERİNİN YAPISAL VE BİYOLOJİK ÖZELLİKLERİ: MODİFİKASYON YÖNTEMLERİ VE GÜNCEL YAKLAŞIMLAR

Rabia GENÇ¹

¹ Araş. Gör., Erciyes Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Periodontoloji AD., rabiagenc@erciyes.edu.tr, ORCID iD: 0009-0001-6627-8828

1. GİRİŞ

Dental implantlar eksik dişlerin rehabilitasyonunda doğal dişlere en yakın alternatiftir. İmplantlarda malzeme olarak paslanmaz çelik, kobalt-krom alaşımı ve titanyum bazlı alaşımlar gibi metal alaşımlar kullanılmaktadır. Bununla beraber titanyum alaşımları, mekanik performans ve biyolojik uyumluluk avantajları nedeniyle implantlar için en uygun malzemeler olarak yaygın olarak kabul edilmektedir. (Tuikampee vd., 2024)

Osseointegrasyon kemik ile implant yüzeyi arasında doğrudan yapısal ve fonksiyonel bağlantı olarak tanımlanır. Osseointegrasyon implantaların uzun vadeli stabiliteleri ve fonksiyonları için gereklidir. İmplant tasarımı, cerrahi teknik ve implant yüzey işlemleri gibi çeşitli faktörler osseointegrasyonda önemli rol oynarlar. (*In-Vitro Study of Osseointegration*, t.y.; Tuikampee vd., 2024)

Dental implant yüzeylerinin tarihsel gelişiminde, ilk osseointegre implantlarda mekanik işlemlerle elde edilen görece düzgün yüzeyler kullanılmıştır. Bu yüzeyler, üretim sırasında kullanılan mekanik aletlerin oluşturduğu mikroskobik izleri ve olukları içermektedir. Yüzeydeki bu yapılar, kemik dokusu ile implant arasındaki mekanik etkileşime katkıda bulunabilmektedir. Bununla birlikte, implant yüzey topografisinin hücresel davranış ve kemik oluşumu üzerindeki etkilerinin anlaşılması, osseointegrasyon sürecini iyileştirmeye yönelik farklı yüzey modifikasyon yöntemlerinin geliştirilmesine zemin hazırlamıştır. Bu doğrultuda, kumlama ve asitle aşındırma gibi yöntemlerle yüzey pürüzlülüğü değiştirilerek kemik-implant arayüzündeki biyolojik ve mekanik etkileşimin iyileştirilmesi hedeflenmiştir (Abraham, 2014)

2. KEMİK – İMPLANT ARAYÜZÜNDE GERÇEKLEŞEN OLAYLAR

2.1. Materyal Yanıtı

İmplantın kemiğe yerleştirilmesiyle birlikte proteinler implant yüzeyine adsorbe olur. Bu proteinler başlangıçta yara bölgesindeki kan ve intertisyel sıvılardan kaynaklanırken, ileriki aşamalarda çevredeki hücre aktivitelerinden kaynaklanır. Bu protein tabakası hücre adezyonu, migrasyonu, farklılaşmasının başlamasına aracılık eden konağın implanta vereceği yanıtı etkileyen temel faktörlerden biri olarak kabul edilir. İmplant yüzeyinde bunlara ek olarak titanyumun havayla teması sonucu titanyum oksit tabakası oluşur. Bu tabaka implantı biyolojik olarak korurken aşınma direncini de artırır. (Pandey vd., 2022; Puleo & Nanci, 1999)

2.2. Konak Yanıtı:

Dental implantın yerleştirilmesini takiben çevre dokularda gelişen konak yanıtı, implant yüzeyi ile kemik dokusu arasındaki biyolojik etkileşimlerin ve osseointegrasyonun temelini oluşturmaktadır. İmplant-kemik arayüzü, yapısal ve bileşimsel açıdan heterojen bir geçiş bölgesi olup mineralize kemik, kısmen mineralize osteoid ve mineralize olmayan matriks alanlarını içermektedir. Bu arayüzün ultrastrüktürel organizasyonu, implant yüzeyinin fizikokimyasal özellikleri, iyileşme süresi ve kullanılan inceleme yöntemleri gibi çeşitli faktörlerden etkilenmektedir.(Puleo & Nanci, 1999; Shah vd., 2019)

İmplant-kemik arayüzünün ekstraselüler matriksi, mineralize kollajen fibrillerin yanı sıra osteopontin (OPN), kemik sialoproteini ve osteokalsin gibi kollajen dışı matriks proteinlerini de içermektedir. Bu moleküller, kemik matriksinin organizasyonu ve mineralizasyon süreçlerinde rol oynamaktadır. Shah ve arkadaşları, arayüzün farklı mineralizasyon düzeylerine sahip bölgelerden oluştuğunu ve mineralize kollajen fibrillerin bu yapının temel bileşenlerinden biri olduğunu bildirmiştir. Ayrıca, implant-kemik arayüzünde osteopontin ve kemik sialoproteini gibi matriks proteinlerinin birikimi, bu bölgenin biyokimyasal özelliklerini ortaya koymaktadır.

İmplant çevresindeki kemik oluşumu, implant yüzeyinde başlayan temas osteogenezi (*contact osteogenesis*) ve cerrahi defektin mevcut kemik sınırlarından ilerleyen mesafe osteogenezi (*distance osteogenesis*) olmak üzere iki farklı mekanizma üzerinden gerçekleşebilmektedir. Temas osteogenezinde yeni kemik oluşumu implant yüzeyinde başlarken, mesafe osteogenezinde kemik oluşumu çevredeki mevcut kemik dokusundan implant yönüne doğru ilerlemektedir. Bu süreçler sonucunda başlangıçta oluşan örgümsü kemik zaman içerisinde yeniden şekillenerek lameller kemiğe dönüşebilmektedir (Shah vd., 2019)

3. İmplant Yüzey Özellikleri

3.1. Yüzey yapısı ve pürüzlülük

İmplant yüzey özellikleri, osseointegrasyonun başlangıç aşamalarında osteoblastların implant yüzeyiyle etkileşimini, yüzeye tutunmasını ve farklılaşmasını etkileyebilmektedir. Dental implant yüzeyleri, geometrik özelliklerinin boyutlarına göre makro, mikro ve nano ölçeklerde değerlendirilmektedir. Makro-topografi, implantın milimetre düzeyinde değerlendirilebilen genel geometrisini ve yapısal özelliklerini kapsamaktadır. İmplantın tasarımıyla birlikte implant yatağının uygun şekilde hazırlanması, implantın kemik içerisinde doğru konumlandırılması ve tedavi başarısının sağlanması bakımından önem taşımaktadır.

Mikro-topografi, implant yüzeyindeki mikrometre boyutundaki geometrik düzensizlikleri ve pürüzlülük özelliklerini ifade eder. Dental implantolojide uzun süre boyunca yaygın olarak kullanılan işlenmiş yüzeyler, tornalama, frezeleme ve polisaj gibi mekanik işlemler sonucunda elde edilmektedir. İşlenmiş yüzeylerde bulunan mikroskobik düzensizlikler, osteojenik hücrelerin yüzeye tutunması ve kemik dokusunun birikimi için uygun bir arayüz oluşumuna katkı sağlayabilir. Bu nedenle mikro-topografik özellikler, osseointegrasyonun hücresel süreçleri üzerinde etkili olabilen önemli yüzey parametreleri arasında yer almaktadır. Nano-topografik özellikler, hücrelerin yüzey üzerindeki davranışlarını etkileyerek hücresel yönelim, hizalanma, göç, çoğalma ve farklılaşma gibi süreçlerde rol oynayabilir. İmplant yüzeyi ile proteinler ve hücreler arasındaki etkileşimlerin nano ölçekte düzenlenmesi, osteoblastların farklılaşmasını destekleyerek osseointegrasyon sürecine katkıda bulunabilir nano-topografik düzenlemelerin titanyum implantların osteojenik potansiyelini ne ölçüde geliştirdiği henüz kesin olarak ortaya konmuş değildir. Bu nedenle nanometre düzeyindeki yüzey özellikleri ile hücresel yanıt ve klinik osseointegrasyon arasındaki ilişkinin açıklığa kavuşturulması için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır(Matós, 2021)

İmplant yüzey pürüzlülüğünün; osseointegrasyonu erken dönem fiksasyonunu ve biyomekanik stabiliteyi artırabildiğini gösteren çeşitli çalışmalar mevcuttur. Yüzey topografisindeki değişikliklerin kemik-implant temasını etkileyebildiği ve pürüzlü yüzeylerin bu temasın artmasına katkıda bulunabildiği bildirilmiştir Yüksek yüzey pürüzlülüğü, implant yüzeyi ile kemik arasında mekanik bağlantıyı desteklemektedir. Fakat, aşırı yüzey pürüzlülüğü peri-implantitis riskinde artışa ve iyon salınımının artmasına neden olabilir.(Le Guéhennec vd., 2007)

3.2. Yüzey kimyası ve bileşeni:

Titanyum, yüksek biyouyumluluğu; mekanik dayanım, korozyon direnci ve yorulma direnci gibi özellikleri nedeniyle dental implant ve implant dayanaklarının üretiminde en yaygın kullanılan malzemelerdendir. Yüksek korozyon direnci, titanyumun oksijene olan yüksek afinitesi ve yüzeyinde yaklaşık 30 milisaniye içerisinde ince bir titanyum oksit tabakası oluşturabilmesiyle ilişkilidir. Oksit tabaka temel olarak titanyum oksitten (TiO_2) oluşur. Kimyasal açıdan kararlı ve korozyona karşı dirençli olduğundan titanyum yüzeylerin fizyolojik koşullarda stabil bir materyal olarak davranmasına katkı sağlar. Ayrıca bu tabaka yerleştirilen implant yüzeyinde bir bariyer görevi görerek daha fazla oksidasyonu engeller.(Palmquist vd., 2010; Souza vd., 2020)

3.3. İslanabilirlik ve yüzey enerjisi:

Dental implantların yüzey enerjisi ve ıslanabilirlik özelliklerinin biyolojik yanıt üzerindeki olası etkileri, çeşitli araştırmalara konu olmuştur. İmplant yüzeyinde yüksek enerji düzeyinin ve hidrofilik özelliklerin oluşturulması farklı yüzey modifikasyon yöntemleriyle mümkün olsa da asıl güçlük, bu özelliklerin implantın işlem gördüğü ortamdan çıkarılmasının ardından korunmasıdır. Yüzey özelliklerindeki değişimin devamlılığı için Buser ve arkadaşları tarafından implantın cerrahi olarak yerleştirilmesine kadar sıvı bir ortamda saklanması önerilmiştir. Bu yaklaşımın temel amacı, implant kemik içerisine yerleştirilirken yüzeydeki sıvı tabakasının koruyucu etkisini sürdürmesini sağlamaktır. Yüzeyler arasında gözlenen nanometre ölçeğindeki yapısal farklılıkların, biyolojik yanıtta değişimlerle ilişkili olabileceği ve bu yanıtların yalnızca hidrofiliklik özelliğiyle açıklanamayabileceği düşünülmektedir. Hidrofilik SLActive yüzeyinin SLA yüzeyine kıyasla daha olumlu bir kemik yanıtı sağlayabileceği hayvan çalışmalarında bildirilmiş olmakla birlikte, bu olası avantajı destekleyen yeterli klinik kanıt bulunmamaktadır. TiUnite implantlarda da üretim serilerine bağlı hidrofiliklik farklılıkları bildirilmiş, ancak bu farklılıkların klinik sonuçlarla ilişkisi henüz netlik kazanmamıştır.(Albrektsson, 2008)

4. İMPLANT YÜZEY MODİFİKASYONLARI

4.1. Mekanik yöntemler

4.1.1. Kumlama

Dental implantlarda kumlama, yüzey pürüzlülüğünü artırarak kemik-implant temasını ve mekanik stabiliteyi desteklemeyi amaçlayan yaygın bir yüzey modifikasyon yöntemidir. İşlem sırasında kullanılan aşındırıcı partiküllerin türü, boyutu ve geometrisi, yüzey özelliklerini belirleyen temel faktörlerdir. Alüminyum oksit (Al_2O_3) partikülleriyle yapılan kumlamada, 25–75 μm partikül boyutuyla yaklaşık 1–3 μm yüzey pürüzlülüğü elde edilebildiği ve bu aralığın olumlu osseointegrasyon sonuçlarıyla ilişkili olduğu bildirilmiştir. Bununla birlikte, yüzeyde kalan aşındırıcı partiküller biyolojik yanıtı etkileyebilir; bu kalıntıların uzaklaştırılması için uygulanan kimyasal işlemler ise titanyum yüzeyinin özelliklerini de değiştirebilir. Kumlamada Al_2O_3 dışında titanyum dioksit (TiO_2), hidroksiapatit (HA) ve β -trikalsiyum fosfat (β -TCP) gibi materyaller de kullanılmakta olup partikül boyutundaki artışın yüzey pürüzlülüğünü artırabildiği belirtilmektedir.(Łosiewicz vd., 2025)

Alüminyum oksit (Al_2O_3) ve titanyum dioksit (TiO_2) ile kumlanan dental implantların karşılaştırıldığı bir çalışmada, Al_2O_3 grubunda daha yüksek yüzey pürüzlülüğü ve basma yönünde yüzey artık gerilmeleri saptanmıştır. Histolojik değerlendirmelerde de bu grupta osseointegrasyonun daha yüksek olduğu belirlenmiş; implantasyondan sonraki 6. haftada kemik-implant temas oranı (BIC) Al_2O_3 grubunda %63, TiO_2 grubunda ise %38 olarak bildirilmiştir. Araştırmacılar, Al_2O_3 ile oluşturulan yüzey topografisinin osteoblastların tutunmasını, çoğalmasını ve farklılaşmasını destekleyebileceğini, basma yönündeki artık gerilmelerin ise yorulma çatlaklarının oluşumunu geciktirerek mekanik dayanımı artırabileceğini belirtmiştir.(Gil vd., 2022)

4.1.2. Kesme ve tornalama:

Brånemark Sistemi implantları gibi tornalama gibi mekanik işlemlerle üretilen implantlar, klinik uygulamalarda uzun bir kullanım geçmişine sahiptir. Brånemark implantlarının insanlarda başarılı klinik sonuçlar verdiği gösterilmiş olsa da osseointegrasyonun düzeyini ve hızını artırmak, erken veya hemen yüklemeye olanak sağlamak ve kemik kalitesinin düşük ya da kemik miktarının yetersiz olduğu anatomik bölgelerde implantların doku ile bütünleşmesini desteklemek amacıyla farklı yüzey özelliklerine sahip implantlar geliştirilmeye devam edilmektedir. Çalışmalar ayrıca, tornalanmış yüzeylere kıyasla daha pürüzlü implantlarda kemik oluşumunun daha hızlı gerçekleşebildiğini ve daha yüksek düzeyde olabildiğini göstermiştir. (Puleo & Thomas, 2006)

4.2. Kimyasal yöntemler

4.2.1. Asitle dağlama

Titanyum, korozyona karşı dirençli bir metal olmakla birlikte, yüzeyinde çukurlar oluşturmak amacıyla az miktarda materyalin uzaklaştırılmasını sağlayan asitle aşındırma işlemlerine tabi tutulabilir. Bu amaçla sıklıkla hidroklorik asit (HCl), sülfürik asit (H_2SO_4) ve hidroflorik asit (HF) kullanılmaktadır. Asitle aşındırma işlemi yüzey alanını artırabilmekle birlikte, ortalama yükseklik sapmasında mutlaka bir artışa neden olmamaktadır. Ayrıca bu işlem, yüzeyin anizotropik özelliklerinin izotropik özelliklere dönüşmesine de katkıda bulunabilmektedir.(Wennerberg & Albrektsson, 2009)

4.3. Elektrokimyasal yöntemler

4.3.1. Anodizasyon:

Anodik oksidasyon, saf titanyum implantların yüzey özelliklerini değiştirerek biyouyumluluğunu ve kemik dokusuyla etkileşimini geliştirmeyi amaçlayan yüzey modifikasyon yöntemlerinden biridir. Anodik kıvılcım biriktirme (anodic spark deposition, ASD) yöntemiyle, kullanılan elektrolit, uygulanan gerilim ve işlem sıcaklığı değiştirilerek farklı pürüzlülük ve gözeneklilik özelliklerine sahip yüzeyler elde edilebilmektedir. Ayrıca yüzeyin belirli iyonlarla zenginleştirilmesi, implant ile çevre dokular arasındaki biyolojik etkileşimin geliştirilmesine katkıda bulunabilir. İmplant yüzeyi ile doku arasındaki ilk etkileşimler sırasında proteinler, iyonlar ve diğer biyomoleküller arasında gerçekleşen alışveriş, sonraki osseointegrasyon sürecini etkileyebilmektedir. Özellikle oksit tabakasının kalsiyum ve fosfat iyonlarıyla zenginleştirilmesinin, kemik-implant bağlantısını güçlendirebildiği ve implantın çıkarılması sırasında daha yüksek tork değerleri elde edilmesini sağlayabildiği bildirilmiştir. ASD yöntemiyle yüzey alanının artırılması, implantların kemikle temasını destekleyerek daha kısa ve daha küçük çaplı implantların geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Bu yüzeylere sahip mini implantlarla yapılan klinik çalışmalarda, özellikle erken iyileşme döneminde primer stabilitenin korunması ve artırılması açısından olumlu sonuçlar bildirilmiştir.(Kaluderovic vd., 2016)

4.3.2. Elektrokimyasal kaplama

Elektrokimyasal biriktirme (electrochemical deposition, ECD), metal iyonlarının veya metal komplekslerinin katodik bir altlık üzerinde indirgenerek biriktirilmesi yoluyla partiküler bir birikinti ya da sürekli bir film tabakası oluşturulmasını sağlayan elektrokimyasal bir yöntemdir. Metaller, yarı iletkenler ve kompozitler dâhil olmak üzere farklı malzemelerin yüzeylere kazandırılmasında kullanılabilir. Elektrolit ortamında partikül süspansiyonu kullanılan elektroforetik biriktirme (electrophoretic deposition, EPD) yönteminden farklı olarak ECD'de, biriktirilecek türleri iyonik formda içeren bir elektrolit çözeltisi kullanılmaktadır.(Yi vd., 2024)

ECD işlemi genellikle üç elektrotlu bir hücrede gerçekleştirilmektedir. Bu sistemde titanyum numune çalışma elektrodu, platin folyo karşı elektrot ve doymuş kalomel elektrot ise referans elektrot olarak görev yapabilmektedir. Biriktirme süreci; elektrolitin bileşimi, çözeltinin pH değeri ve sıcaklığı ile uygulanan potansiyel veya akım yoğunluğu gibi çeşitli parametrelerden etkilenmektedir.(Yi vd., 2024)

ECD yöntemi; nispeten düşük sıcaklıklarda ve düşük gerilimlerde uygulanabilmesi, işlem basamaklarının görece basit olması ve maliyet etkinliği sayesinde önemli avantajlar sunmaktadır. Ayrıca enerji tüketiminin ve çevresel etkinin azaltılmasına katkıda bulunabilmesi ve büyük ölçekli üretime uyarlanabilmesi, yöntemin öne çıkan özelliklerindendir. Bununla birlikte, biriktirme hızının düşük olması istenen kaplama kalınlığına ulaşmak için daha uzun işlem süreleri gerektirebilmektedir. Özellikle karmaşık geometrilere sahip implant yüzeylerinde homojen ve nanoyapılı kaplamaların elde edilmesi ise önemli bir teknik güçlük oluşturmaktadır.(Yi vd., 2024)

4.4. Fiziksel ve ileri teknolojiler

4.4.1. Lazerle yüzey modifikasyonu

Titanyum ve titanyum alaşımlarının lazerle yüzey modifikasyonu; yüzey pürüzlülüğü, topografisi, kimyasal bileşimi ve ıslanabilirliği gibi özellikleri değiştirerek implantların biyolojik performansını etkileyebilmektedir. Titanyum yüzeylerini modifiye etmek için kullanılabilecek lazerler arasında Nd:YAG lazerler, CO2 lazerler, Nd:YVO4 lazerler, Yb:KGW lazerler, Yb:KYW lazerler, Yb:YAG lazer ve femtosaniye lazerler bulunmaktadır. Elde edilen yüzey özellikleri, kullanılan lazerin türü, darbe süresi, frekansı, fluens değeri ve tarama hızı gibi parametrelere bağlıdır. Lazerle oluşturulan mikro ve nano ölçekli yüzey yapılarının osteoblastların tutunmasını, proliferasyonunu ve farklılaşmasını destekleyebildiği; yüzeyde oluşan oksit tabakalarının ise protein adsorpsiyonunu kolaylaştırabildiği bildirilmiştir. Bazı çalışmalarda lazerle modifiye edilmiş implantlarda kemik-implant teması, sökme torku ve canlı kemik oluşumu açısından olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca implant boynunun lazerle desenlendirilmesinin mukozal bariyer oluşumunu destekleyebileceği ve sondalama cep derinliğinin azalmasına katkıda bulunabileceği belirtilmiştir. Lazer modifikasyonunun hidroksiapatit veya kalsiyum fosfat kaplamalarıyla birleştirilmesi de kemik-implant etkileşimini geliştirmeye yönelik alternatif bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Sonuç olarak lazerle yüzey modifikasyonu, dental implant yüzey özelliklerinin kontrollü biçimde düzenlenmesi, biyolojik yanıtın iyileştirilmesi ve bakteriyel biyofilm oluşumunun sınırlandırılması açısından önemli bir potansiyel taşımaktadır. Bununla birlikte, biyolojik ve mekanik sonuçların kullanılan lazer parametrelerine ve elde edilen yüzey özelliklerine göre değişmesi, ayrıca bazı çalışmalarda geleneksel yüzey modifikasyonu yöntemlerine kıyasla anlamlı bir üstünlük gösterilememesi, yöntemin klinik etkinliğinin daha ileri çalışmalarla değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır.(Saran vd., 2023; Simões vd., 2023)

4.4.2. Plazma temelli yöntemler

Plazma temelli yüzey modifikasyonu, titanyum dental implantların yüzey özelliklerini geliştirerek biyolojik performanslarını artırmayı amaçlayan fiziksel ve kimyasal bir yaklaşımdır. Özellikle düşük sıcaklıklı plazma (low-temperature plasma, LTP) uygulamaları, implantın ana materyalinin mekanik özelliklerini ve genel geometrisini önemli ölçüde değiştirmeden yüzey kimyasının düzenlenmesine olanak tanımaktadır. Bu yöntemde gazlara elektrik enerjisi uygulanmasıyla elektronlar, iyonlar, serbest radikaller ve uyarılmış türler gibi reaktif bileşenler meydana gelir. Oluşan reaktif oksijen ve azot türleri (reactive oxygen and nitrogen species, RONS), titanyum yüzeyindeki organik kontaminantların uzaklaştırılmasına, yüzeyin aktive edilmesine ve hidroksil ($-OH$), karbonil ($C=O$) ve amino ($-NH_2$) gibi fonksiyonel grupların oluşmasına katkıda bulunur. Bu değişiklikler, yüzey enerjisini ve ıslanabilirliği artırarak implant ile biyolojik ortam arasındaki ilk etkileşimleri düzenleyebilir.(Sun vd., 2026)

Plazma ile modifiye edilmiş titanyum yüzeylerinde meydana gelen değişiklikler, implant yüzeyinde protein adsorpsiyonunu düzenleyerek osteoblastların adezyonunu, proliferasyonunu ve farklılaşmasını destekleyebilir. Özellikle fibronektin gibi hücre adezyonunda rol oynayan proteinlerin adsorpsiyonunun artması, hücrelerin yüzeye tutunmasını kolaylaştırarak osseointegrasyon sürecine katkıda bulunabilir. Bunun yanı sıra, düşük sıcaklıklı plazma uygulamalarının bakteriyel adezyonu ve biyofilm oluşumunu sınırlandırabileceği, aynı zamanda peri-implant dokulardaki immün-inflamatuvar yanıtı etkileyebileceği bildirilmektedir. Böylece osteojenik yanıtın desteklenmesi ile bakteriyel kolonizasyonun azaltılmasının bir arada sağlanması, dental implantların biyolojik performansının geliştirilmesi açısından umut verici bir yaklaşım sunmaktadır. Bununla birlikte, plazma uygulamalarının biyolojik etkileri kullanılan plazma kaynağına, işlem parametrelerine ve deneysel koşullara bağlı olarak değişebilmekte; işlem sonrasında elde edilen yüzey özelliklerinin uzun dönemli kararlılığı ve klinik koşullardaki devamlılığına ilişkin belirsizlikler bulunmaktadır. Bu nedenle, yöntemin klinik uygulamalardaki etkinliğinin ortaya konulabilmesi için işlem protokollerinin standardize edildiği ve uzun dönemli biyolojik sonuçların değerlendirildiği ileri çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. (Barausse vd., 2025)

4.5. Biyoaktif ve Fonksiyonel İmplant Yüzeyleri

4.5.1. Hidroksiapatit kaplamalar

Hidroksiapatit (HA), biyoseramik kaplama materyali olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır. Bir kalsiyum fosfat bileşiği olan HA'nın ($Ca_5(PO_4)_3OH$), diğer bazı kalsiyum fosfat

bileşiklerine kıyasla vücut sıvılarında daha yüksek stabilite gösterdiği bildirilmiştir.(Dommeti vd., 2024)

Kemiğin matriksindeki inorganik faza benzerlik gösteren HA'nın, implant stabilitesini artırabildiği bildirilmiştir. Bu etkinin, fizyolojik ortamda, özellikle kan ve sulkus sıvısında HA kaplamanın çözünmesiyle açığa çıkan kalsiyum ve fosfat gibi osteoindüktif iyonlarla ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Bu iyonların osteoblast proliferasyonunu ve kemik matriksi birikimini desteklediği belirtilmiştir. HA'nın termal genleşme katsayısının kemiğinkine benzer olması, kemik hücrelerinin implant yüzeyine tutunmasını destekleyebilecek özelliklerinden biridir. Ayrıca HA kaplamanın, fibroblastlar ve osteoblastlar gibi iyileşme sürecinde rol oynayan hücrelerin kemik dokusuyla bağlantısını destekleyebildiği ve doku gelişimini düzenleyen kemik morfogenetik proteinlerinin sitokin aracılı aktivasyonu için bir taşıyıcı işlevi görebildiği bildirilmiştir. Bununla birlikte, HA kaplamaların bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Kaplama işlemi sırasında moleküler yapının bozulması, kaplama ile implant yüzeyi arasında güçlü bir bağ oluşmasını engelleyerek adezyon başarısızlıklarına neden olabilir. Ayrıca termal sprey veya mikro ark oksidasyonu gibi ısıya dayalı kaplama yöntemlerinde, HA ile implant altlığı arasındaki termal genleşme katsayısı farklılıkları soğuma sırasında artık gerilmelerin oluşmasına ve kaplamada hasara yol açabilir(Neto vd., 2025)

4.5.2. Kalsiyum fosfat kaplamalar

Kalsiyum fosfat (Ca-P) kaplamalar, doğal kemik mineraline benzer kimyasal bileşimleri ve kemik dokusuyla doğrudan etkileşime girebilme özellikleri nedeniyle titanyum dental implantların yüzey modifikasyonunda yaygın olarak araştırılmaktadır. Bu kaplamalar, kemik oluşumunu destekleyen osteokondüktif özellikleri sayesinde implant ile kemik arasındaki biyolojik bütünleşmeye katkıda bulunabilir. Kaplamanın vücut sıvılarıyla etkileşimi sırasında kısmen çözünmesi ve biyolojik apatit oluşumunu desteklemesi, kemik hücrelerinin yüzeye tutunması ve gelişmesi için uygun bir ortam sağlayabilir. Bununla birlikte, kaplamanın çözünme hızı ve kararlılığı; kullanılan kalsiyum fosfat fazına, kimyasal bileşime ve üretim yöntemine bağlı olarak değişmektedir.(López-Valverde vd., 2021)

Kalsiyum fosfat kaplamaların elde edilmesinde plazma püskürtme, manyetik saçtırma, darbeli lazer biriktirme, elektrosprey, elektroforetik biriktirme, sol-jel ve elektrokimyasal biriktirme gibi farklı yöntemlerden yararlanılmaktadır. Plazma püskürtme, endüstriyel uygulanabilirliği nedeniyle yaygın kullanılan yöntemlerden biri olmakla birlikte, işlem sırasında ortaya çıkan yüksek sıcaklıklar hidroksiapatitin faz bileşiminde değişikliklere ve ikincil faz oluşumuna neden olabilir. Ayrıca kaplamanın kalınlığı, gözenekliliği ve yüzey morfolojisi; mekanik bütünlüğünü ve biyolojik performansını etkileyen önemli parametrelerdir. Kaplamanın metal

implant yüzeyine yeterli düzeyde tutunması, implantasyon sonrasında çatlak oluşumunun ve kaplamanın ayrılmasının önlenmesi açısından kritik öneme sahiptir. Özellikle kaplamanın çözünme özellikleri ile mekanik dayanıklılığı arasındaki dengenin sağlanması, uzun dönem performans bakımından önem taşımaktadır.(Drevet vd., 2023; López-Valverde vd., 2021)

Kalsiyum fosfat kaplamaların osseointegrasyon üzerindeki etkileri olumlu bulgularla ilişkilendirilmiş olsa da bu etkinin geleneksel implant yüzeylerine kıyasla üstünlük sağlayıp sağlamadığı kesin değildir. López-Valverde ve arkadaşlarının (2021) sistematik derleme ve meta-analizinde, hayvan deneylerinden elde edilen sekiz çalışma değerlendirilmiş ve kalsiyum fosfat kaplı titanyum implantlarla geleneksel asitle pürüzlendirilmiş (SLA tipi) implantlar arasında kemik-implant teması (BIC) bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamıştır. Bununla birlikte, çalışmalar arasındaki yüksek heterojenite, yanlışlık riski ve sınırlı çalışma sayısı, sonuçların yorumlanmasını güçleştirmiştir. Dolayısıyla, kalsiyum fosfat kaplamaların biyolojik açıdan önemli potansiyeli bulunmasına rağmen, osseointegrasyonu geleneksel pürüzlendirilmiş yüzeylerden daha fazla artırdığı sonucuna varmak için daha yüksek metodolojik kalitede ve uzun takip süreli çalışmalara ihtiyaç vardır.(Drevet vd., 2023; López-Valverde vd., 2021)

4.5.3. Biyoaktif moleküller

Biyoaktif moleküller, canlı dokularda biyolojik bir yanıt oluşturma yanısıra, daha hızlı, daha kaliteli ve uzun süreli bir osseointegrasyonun sağlanmasına katkıda bulunabilir. Böylece protetik rehabilitasyon öncesinde gereken bekleme süresinin kısaltılması ve yetersiz kemik kalitesine bağlı sorunların giderilmesi mümkün olabilir. Günümüzde biyoaktif özellik kazandırmak amacıyla biyoseramiklerden, iyonlardan ve biyomoleküllerden yararlanılmaktadır. Biyomoleküller; biyomakromoleküller (lipitler, proteinler, polinükleik asitler ve polisakkaritler) ile biyomikromolekülleri (oligopeptitler, deoksiribonükleotitler, amino asitler, monosakkaritler ve metabolik ürünler) kapsamaktadır. Bu moleküller, fizyolojik süreçlerin düzenlenmesi ve homeostazın sürdürülmesi açısından son derece önemli bir role sahiptir.(López-Valverde vd., 2022)

4.5.4. Antimikrobiyal kaplamalar

Titanyum alaşımları, implant materyali olarak birçok avantaj sunmalarına rağmen biyofilm oluşumu, korozyon ve aşırı duyarlılık reaksiyonları gibi çeşitli sorunlara yatkınlık gösterebilmektedir. Bu sorunların önlenmesine yönelik yaklaşımlardan biri, titanyum implant yüzeylerinin antimikrobiyal ajanlar içeren kaplamalarla modifiye edilmesidir. Antimikrobiyal kaplamalardan beklenen temel işlev yalnızca mikrobiyal kolonizasyonu ve biyofilm oluşumunu engellemekle sınırlı değildir. Bu kaplamaların aynı zamanda biyoyumlu olması, sitotoksik etki

göstermemesi ve çevre dokularla bütünleşmeyi desteklemesi gerekmektedir. Kaplama uygulamalarında, genellikle ana materyalin yapısal bütünlüğünü ve temel özelliklerini koruyarak yüzey üzerinde ilave bir tabaka oluşturulması amaçlanır. İmplantla ilişkili enfeksiyonların önlenmesi amacıyla bu kaplamalara inorganik elementler, antibiyotikler, antimikrobiyal peptitler, polimerler ve inorganik-organik hibrit bileşikler gibi çeşitli antimikrobiyal ajanlar entegre edilebilmektedir. Bu tür yüzey modifikasyonlarıyla biyofilm gelişiminin sınırlandırılması ve implant çevresindeki dokularla biyolojik bütünleşmenin desteklenmesi hedeflenmektedir.(Akshaya vd., 2022)

Polimer esaslı kaplamalar, titanyum implant yüzeylerinde bakteriyel adezyonu ve biyofilm oluşumunu sınırlandırmayı amaçlayan yüzey modifikasyonu yaklaşımları arasında yer almaktadır. Bu amaçla kullanılan polietilen glikol (PEG), hidrofilik ve esnek zincir yapısı sayesinde yüzeyde protein ve mikroorganizma birikimini azaltabilmektedir. Bununla birlikte, adezyonu engelleyici bu özellik, osteoblastlar gibi konak hücrelerinin yüzeye tutunmasını da sınırlandırabilir. Bu sorunun aşılmasına yönelik olarak PEG kaplamalara, hücre adezyonunu destekleyen arginin-glisin-aspartat (RGD) gibi peptit dizileri eklenebilmektedir. Polimer kaplamaların klinik uygulamadaki başlıca sınırlılıkları arasında üretim süreçlerinin teknik açıdan güç olması, uzun dönemli kararlılığın korunması ve implantın kemiğe yerleştirilmesi sırasında oluşabilecek mekanik hasarlar bulunmaktadır. Bu nedenle, bakteriyel kolonizasyonu sınırlandırırken konak hücreleriyle uyumu koruyan ve mekanik dayanıklılık gösteren kaplamaların geliştirilmesi önem taşımaktadır. Hücre adezyonunu destekleyen biyolojik bileşenlerle işlevselleştirilmiş polimerik yüzeyler, antimikrobiyal etkinlik ile osseointegrasyon gereksinimlerini birlikte karşılamaya yönelik umut verici bir yaklaşım sunmaktadır.(Esteves vd., 2022)

Ständert ve arkadaşlarının çalışmasında, gentamisin yüklü amfora biçimli gözeneklere sahip titanyum implant yüzeylerinin, osteoblast benzeri hücrelerin canlılığı ve mineralizasyonu üzerinde belirgin bir olumsuz etki oluşturmadan osseointegrasyonu desteklediği gösterilmiştir. Ayrıca, lokal gentamisin salımının antimikrobiyal etkinliği hem *in vitro* deneylerde hem de sıçan modelinde ortaya konmuş ve gentamisin yüklemesinin implantla ilişkili enfeksiyonların önlenmesinde etkili olduğu bildirilmiştir.(Ständert vd., 2021)

KAYNAKÇA

- Abraham, C. M. (2014). A Brief Historical Perspective on Dental Implants, Their Surface Coatings and Treatments. *The Open Dentistry Journal*, 8, 50-55. <https://doi.org/10.2174/1874210601408010050>
- Akshaya, S., Rowlo, P. K., Dukle, A., & Nathanael, A. J. (2022). Antibacterial Coatings for Titanium Implants: Recent Trends and Future Perspectives. *Antibiotics*, 11(12), 1719. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11121719>
- Albrektsson, T. (2008). Hard tissue implant interface. *Australian Dental Journal*, 53, S34-S38. <https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.2008.00039.x>
- Barausse, C., Tayeb, S., Pellegrino, G., Sansavini, M., Mancuso, E., Mazzitelli, C., & Felice, P. (2025). Cold Plasma Treatment on Titanium Implants and Osseointegration: A Systematic Review. *Applied Sciences*, 15(19), 10302. <https://doi.org/10.3390/app151910302>
- Dommeti, V. K., Pramanik, S., & Roy, S. (2024). Influence of hydroxyapatite composite coating on the textured surface of patient specific dental implant: An in silico 3D finite element study. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 31(3), 631-639. <https://doi.org/10.1080/15376494.2022.2116760>
- Drevet, R., Fauré, J., & Benhayoune, H. (2023). Bioactive Calcium Phosphate Coatings for Bone Implant Applications: A Review. *Coatings*, 13(6), 1091. <https://doi.org/10.3390/coatings13061091>
- Esteves, G. M., Esteves, J., Resende, M., Mendes, L., & Azevedo, A. S. (2022). Antimicrobial and Antibiofilm Coating of Dental Implants—Past and New Perspectives. *Antibiotics*, 11(2), 235. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11020235>
- Gil, F. J., Perez, R. A., Olmos, J., Herraez-Galindo, C., Gutierrez-Perez, J. L., & Torres-Lagares, D. (2022). The effect of using Al₂O₃ and TiO₂ in sandblasting of titanium dental implants. *Journal of Materials Research*, 37(16), 2604-2613. <https://doi.org/10.1557/s43578-022-00534-0>
- *In-Vitro Study of Osseointegration: Evaluating... : Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences.* (t.y.). Ovid. https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs_328_24
- Kaluderovic, M. R., Schreckenbach, J. P., & Graf, H.-L. (2016). Titanium dental implant surfaces obtained by anodic spark deposition—From the past to the future. *Materials Science & Engineering C-Materials for Biological Applications*, 69, 1429-1441. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2016.07.068>
- Le Guéhennec, L., Soueidan, A., Layrolle, P., & Amouriq, Y. (2007). Surface treatments of titanium dental implants for rapid osseointegration. *Dental Materials*, 23(7), 844-854. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2006.06.025>
- López-Valverde, N., Aragonese, J., López-Valverde, A., Quispe-López, N., Rodríguez, C., & Aragonese, J. M. (2022). Effectiveness of biomolecule-based bioactive surfaces, on osseointegration of titanium dental implants: A systematic review and meta-analysis of in vivo studies. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10, 986112. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.986112>
- López-Valverde, N., López-Valverde, A., Aragonese, J. M., Macedo de Sousa, B., Rodrigues, M. J., & Ramírez, J. M. (2021). Systematic Review and Meta-Analysis of the Effectiveness of

Calcium-Phosphate Coating on the Osseointegration of Titanium Implants. *Materials*, 14(11), 3015. <https://doi.org/10.3390/ma14113015>

- Łosiewicz, B., Osak, P., Nowińska, D., & Maszybrocka, J. (2025). Developments in Dental Implant Surface Modification. *Coatings*, 15(1), 109. <https://doi.org/10.3390/coatings15010109>
- Matos, G. R. M. (2021). Surface Roughness of Dental Implant and Osseointegration. *Journal of Maxillofacial & Oral Surgery*, 20(1), 1-4. <https://doi.org/10.1007/s12663-020-01437-5>
- Neto, J. V. C., Teixeira, A. B. V., & Cândido dos Reis, A. (2025). Hydroxyapatite coatings versus osseointegration in dental implants: A systematic review. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 134(1), 92-99. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2023.09.019>
- Palmquist, A., Omar, O. M., Esposito, M., Lausmaa, J., & Thomsen, P. (2010). Titanium oral implants: Surface characteristics, interface biology and clinical outcome. *Journal of the Royal Society Interface*, 7(Suppl 5), S515-S527. <https://doi.org/10.1098/rsif.2010.0118.focus>
- Pandey, C., Rokaya, D., & Bhattarai, B. P. (2022). Contemporary Concepts in Osseointegration of Dental Implants: A Review. *Biomed Research International*, 2022, 6170452. <https://doi.org/10.1155/2022/6170452>
- Puleo, D. A., & Nanci, A. (1999). Understanding and controlling the bone-implant interface. *Biomaterials*, 20(23), 2311-2321. [https://doi.org/10.1016/S0142-9612\(99\)00160-X](https://doi.org/10.1016/S0142-9612(99)00160-X)
- Puleo, D. A., & Thomas, M. V. (2006). Implant Surfaces. *Dental Clinics of North America, Implantology*, 50(3), 323-338. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2006.03.001>
- Saran, R., Ginjupalli, K., George, S. D., Chidangil, S., & V K, U. (2023). LASER as a tool for surface modification of dental biomaterials: A review. *Heliyon*, 9(6), e17457. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17457>
- Shah, F. A., Thomsen, P., & Palmquist, A. (2019). Osseointegration and current interpretations of the bone-implant interface. *Acta Biomaterialia*, 84, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2018.11.018>
- Simões, I. G., dos Reis, A. C., & da Costa Valente, M. L. (2023). Analysis of the influence of surface treatment by high-power laser irradiation on the surface properties of titanium dental implants: A systematic review. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 129(6), 863-870. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2021.07.026>
- Souza, J. C. M., Apaza-Bedoya, K., Benfatti, C. A. M., Silva, F. S., & Henriques, B. (2020). A Comprehensive Review on the Corrosion Pathways of Titanium Dental Implants and Their Biological Adverse Effects. *Metals*, 10(9), 1272. <https://doi.org/10.3390/met10091272>
- Ständert, V., Borchering, K., Bormann, N., Schmidmaier, G., Grunwald, I., & Wildemann, B. (2021). Antibiotic-loaded amphora-shaped pores on a titanium implant surface enhance osteointegration and prevent infections. *Bioactive Materials*, 6(8), 2331-2345. <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2021.01.012>
- Sun, M., Yang, C., Liu, C., Hu, J., Zhang, J., Chen, Z., Liu, Z., & Jiang, X. (2026). Low-temperature plasma surface modification of titanium dental implants: Mechanisms, biological effects and clinical perspectives. *Biomaterials Advances*, 185, 214884. <https://doi.org/10.1016/j.bioadv.2026.214884>
- Tuikampee, S., Chaijareenont, P., Rungsiyakull, P., & Yavirach, A. (2024). Titanium Surface Modification Techniques to Enhance Osteoblasts and Bone Formation for Dental Implants: A

Narrative Review on Current Advances. *Metals*, 14(5), 515. <https://doi.org/10.3390/met14050515>

- Wennerberg, A., & Albrektsson, T. (2009). Effects of titanium surface topography on bone integration: A systematic review. *Clinical Oral Implants Research*, 20(s4), 172-184. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2009.01775.x>
- Yi, J., Li, M., Zhu, J., Wang, Z., & Li, X. (2024). Recent development and applications of electrodeposition biocoatings on medical titanium for bone repair. *Journal of Materials Chemistry. B*, 12(39), 9863-9893. <https://doi.org/10.1039/d4tb01081g>

BÖLÜM 9

PERİODONTOLOJİDE YAPAY ZEKÂ: GÜNCEL UYGULAMALAR VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Sadife Gamze ÖNAL¹

¹ Araştırma Görevlisi, Erciyes Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Periodontoloji Ana Bilim Dalı, gamzeeonal@gmail.com , ORCID ID: 0009-0003-9445-3843

1.GİRİŞ

Beynin sahip olduğu karmaşık yapı ve işlevsel özellikler, bu organı uzun yıllardır yoğun biçimde araştırılan bir alan hâline getirmiştir. Ancak beynin bilgi işleme ve öğrenme mekanizmalarını bütünüyle yansıtabilecek yapay bir sistem geliştirilmesi, günümüzde de bilimsel açıdan önemli bir araştırma konusu olmaya devam etmektedir (Agrawal & Nikhade, 2022). Yapay zekâ (YZ), insanlara özgü öğrenme, akıl yürütme, problem çözme ve karar verme gibi bilişsel süreçlerin bilgisayar sistemleri aracılığıyla gerçekleştirilmesini amaçlayan teknolojik yaklaşımların bütünüdür (Mohammad-Rahimi vd., 2022a). Yapay zekânın bilimsel bir alan olarak temelleri, John McCarthy'nin 1956 yılında Dartmouth Konferansı'nda "yapay zekâ" terimini tanımlamasıyla atılmış ve bu alandaki araştırmalar teknolojik gelişmelere paralel olarak ilerleme göstermiştir (Xu vd., 2021).

Günümüzde YZ, sağlık başta olmak üzere eğitim, robotik ve otomotiv gibi birçok alanda yaygın biçimde kullanılmaktadır. İnsan bilişsel süreçlerini taklit etmeye yönelik geliştirilen YZ sistemleri, karmaşık görevlerin daha hızlı ve etkin biçimde gerçekleştirilmesine olanak sağlamaktadır (Shan vd., 2021). Diş hekimliğinde ise YZ tabanlı yaklaşımların kullanım alanı giderek genişlemektedir. Güncel çalışmalar, bu teknolojilerin çene-yüz bölgesindeki patolojik oluşumların görüntü analiziyle sınırlarının belirlenmesinden ortodontik ölçümlerde gerekli anatomik işaretlerin tanımlanmasına kadar farklı görevlerde kullanılabildiğini göstermektedir. Ayrıca radyografik çürük tanısı ve endodontik tedavi öncesinde olgunun karmaşıklığının değerlendirilmesi de YZ destekli yaklaşımların araştırıldığı alanlar arasındadır (Mohammad-Rahimi vd., 2022b). Periodontoloji de YZ teknolojilerinin giderek daha fazla araştırıldığı diş hekimliği alanlarından biridir. Periodontolojide YZ uygulamaları; periodontal olarak etkilenmiş dişlerin değerlendirilmesi, çekim gereksiniminin öngörülmesi, periodontal kemik kaybının belirlenmesi ve periodontitisin evrelendirilmesi gibi çeşitli klinik amaçlara yönelik olarak araştırılmaktadır (Şalgäu vd., 2024).

Bu gelişmeler, YZ tabanlı yöntemlerin periodontal tanı ve değerlendirme süreçlerinde klinisyenlere destek sağlayabilecek araçlar olarak potansiyelini ortaya koymaktadır.

Bu bölümde, yapay zekânın periodontolojideki güncel uygulamalarının periodontal tanı, radyografik değerlendirme, hastalık sınıflandırması, prognoz, risk değerlendirmesi ve klinik karar desteği açısından ele alınması; mevcut yaklaşımların sınırlılıklarının değerlendirilmesi ve gelecekteki olası kullanım alanlarının tartışılması amaçlanmaktadır.

2. YAPAY ZEKÂNIN TEMEL KAVRAMLARI

2.1. Yapay Zekâ ve Makine Öğrenme

Yapay zekâ, farklı yöntem ve algoritmaları kapsayan geniş bir kavram olup, günümüzde geliştirilen birçok YZ sistemi verilerden öğrenmeye dayalı makine öğrenmesi (machine learning, ML) yöntemlerinden yararlanmaktadır. Makine öğrenmesinde algoritmalar, eğitim amacıyla sunulan veri kümelerindeki ilişkileri ve örüntüleri belirleyerek daha önce karşılaşmadıkları veriler üzerinde sınıflandırma, çıkarım veya tahmin gerçekleştirebilecek şekilde geliştirilir. Bu yönüyle ML, verilerden elde edilen örüntülerin çeşitli görevlerin gerçekleştirilmesinde kullanılmasına olanak sağlayan YZ'nin temel alt alanlarından birini oluşturmaktadır (Mohammad-Rahimi vd., 2022c; Shan vd., 2021).

2.2. Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks)

Yapay sinir ağlarının temelleri, 1943 yılında Warren McCulloch ve Walter Pitts'in insan beynindeki sinir hücrelerinin çalışma biçiminden esinlenerek geliştirdikleri matematiksel bir modelle atılmıştır (Park & Park, 2018).

Yapay sinir ağları (YSA), mevcut verilerdeki örüntüleri öğrenerek daha önce karşılaşılmamış veriler üzerinde tahmin ve çıkarım yapılmasına olanak sağlayan makine öğrenmesi temelli modellerdir. İnsan beynindeki sinirsel bilgi işleme mekanizmalarından esinlenerek geliştirilen bu sistemler; sınıflandırma, örüntü tanıma, özellik çıkarımı, genelleme, optimizasyon ve tahmin gibi çeşitli görevlerin gerçekleştirilmesinde kullanılabilmektedir (Öztemel, 2006).

2.3. Derin Öğrenme ve Derin Sinir Ağı Mimarileri

Makine öğrenmesinin bir alt alanı olan derin öğrenme (deep learning, DL), birden fazla işlem katmanından oluşan yapay sinir ağlarını kullanarak verilerdeki karmaşık ilişkilerin ve örüntülerin belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Çok katmanlı mimarisi sayesinde DL yöntemleri; görüntüler, klinik kayıtlar ve proteomik veriler gibi yüksek hacimli, heterojen ve yapılandırılmamış veri kümelerinin analizinde önemli avantajlar sağlayabilmektedir. Bu modellerin veriler içerisindeki doğrudan fark edilmesi güç özellikleri öğrenebilmesi, özellikle karmaşık veri yapılarının değerlendirilmesinde geleneksel makine öğrenmesi yöntemlerine

kıyasla daha yüksek performans göstermelerine olanak sağlayabilmektedir (Mohammad-Rahimi vd., 2022a; Piccialli vd., 2021).

Derin öğrenmede kullanılan sinir ağı mimarileri, gerçekleştirilecek görevin ve analiz edilecek verinin özelliklerine göre farklılık gösterebilmektedir. Örneğin, tekrarlayan sinir ağları (recurrent neural networks, RNN) sıralı ve zamana bağlı verilerin değerlendirilmesine uygun yapıları nedeniyle özellikle konuşma ve dil uygulamalarında kullanılmaktadır. Evrişimli sinir ağları (convolutional neural networks, CNN) ise görüntülerdeki özelliklerin belirlenmesi ve analiz edilmesinde yaygın olarak kullanılan derin öğrenme mimarileri arasında yer almaktadır (Yasaka vd., 2018).

Derin öğrenme yöntemlerinin görüntü sınıflandırma ve karmaşık veri analizi gibi görevlerde gösterdiği performans, bu yöntemlerin sağlık alanındaki kullanımını da artırmıştır. Klinik verilerden anlamlı örüntülerin çıkarılması ve bu bilgilerin tanısal veya prognostik süreçlerde kullanılması, DL tabanlı sistemlerin klinik karar verme ve kişiselleştirilmiş tedavi yaklaşımlarına katkı sağlayabilecek potansiyel uygulamaları arasında yer almaktadır (Krittanawong vd., 2019).

2.4. Büyük Dil Modelleri ve Multimodal Yapay Zekâ

Büyük dil modelleri (LLM'ler), derin öğrenme yöntemlerini kullanarak insan dilini analiz edebilen, metinler arasındaki ilişkileri öğrenebilen ve yeni içerikler oluşturabilen yapay zekâ sistemleridir. Bu özellikleri sayesinde sağlık alanında da giderek daha fazla kullanılmaya başlanmıştır. LLM'ler; büyük miktardaki klinik verinin değerlendirilmesi, tıbbi terimlerin anlaşılması, klinik bilgilerin özetlenmesi ve tıbbi raporların hazırlanması gibi birçok süreçte sağlık profesyonellerine destek sağlayabilmektedir (Umer vd., 2024).

Tıp ve diş hekimliğinde klinik kayıtlar, konuşmadan elde edilen metinler ve bilimsel yayınlar gibi çok çeşitli kaynaklardan büyük miktarda dil tabanlı veri üretilmektedir. Yapay zekâ kapsamında yer alan doğal dil işleme (Natural Language Processing, NLP) teknikleri, çoğunlukla yapılandırılmamış biçimde bulunan bu verilerin bilgisayar sistemleri tarafından işlenebilir ve anlamlandırılabilir hale getirilmesini sağlamaktadır. NLP temel olarak insan dilinin yazılı veya sözlü biçimlerini analiz etmeye, içerdiği bilgileri belirlemeye ve bu bilgileri kullanılabilir bir yapıya dönüştürmeye yönelik yöntemleri kapsamaktadır (Agrawal & Nikhade, 2022).

Multimodal büyük dil modelleri (M-LLM'ler), farklı türlerdeki verileri aynı sistem içerisinde işleyebilme ve bunlar arasında ilişki kurabilme yeteneğine sahip modellerdir. Multimodalite, modelin yalnızca metinsel verilerle sınırlı kalmayarak görüntü gibi farklı veri türlerini de değerlendirebilmesini ifade etmektedir. Bu sistemlerde farklı veri türleri birlikte girdi olarak kullanılabileceği gibi, bir veri türünden başka bir veri türünde çıktı da oluşturulabilir. Örneğin, bir görüntünün metinsel olarak açıklanması veya metinsel bir girdiden görsel içerik üretilmesi multimodal işlemlere örnek olarak gösterilebilir. Ayrıca bazı sistemler, metin ve görüntü gibi birden fazla formatta çıktı oluşturabilecek şekilde geliştirilebilmektedir (AlSaad vd., 2024).

Diş hekimliğinde LLM tabanlı teknolojilerin kullanımına yönelik çalışmalar henüz erken aşamada olmakla birlikte, bu modeller klinik işleyişin farklı basamaklarını destekleme potansiyeline sahiptir. Özellikle hasta bilgilerinin düzenlenmesi ve klinik süreçlere ilişkin kayıtların oluşturulması gibi rutin işlemlerin LLM desteğiyle gerçekleştirilmesi, hekimlerin dokümantasyon yükünün azaltılmasına katkı sağlayabilir (Noorbakhsh-Sabet vd., 2019).

3. PERİODONTOLOJİDE YAPAY ZEKÂ UYGULAMALARI

Dişleri çevreleyen ve destekleyen dokular ile bu dokularda gelişen hastalıkları inceleyen periodontoloji, klinik verilerin ve tanısal değerlendirmelerin giderek daha fazla önem kazandığı yeni bir döneme girmektedir. Periodontal hastalıkların doğru şekilde değerlendirilmesi ve uygun tedavi yaklaşımının belirlenmesi, çok sayıda klinik ve hastaya özgü verinin birlikte ele alınmasını gerektirmektedir. Periodontal muayenede plak, sondalamada kanama, sondalama derinliği, klinik ataşman kaybı ve furkasyon tutulumu gibi parametreler değerlendirilirken, hastaya ait risk faktörleri ve radyografik bulgular da tanı ve prognoz belirlenmesinde dikkate alınmaktadır (Pitchika vd., 2024).

Yapay zekâ teknolojilerindeki gelişmeler, sağlık alanında tanı ve tedavi süreçlerine yeni olanaklar kazandırmış ve bu teknolojilerin diş hekimliğindeki kullanımını da artırmıştır. Tıp ve diş hekimliğinin farklı alanlarında YZ tabanlı uygulamalar giderek yaygınlaşmasına rağmen , periodontoloji alanındaki kullanımları henüz sınırlı düzeydedir (*Artificial Intelligence Techniques: Analysis, Application, and Outcome in Dentistry—A Systematic Review - Ahmed - 2021 - BioMed Research International - Wiley Online Library*, t.y.; Rajpurkar vd., 2022). Periodontal hastalıkların erken ve doğru tanısı ile etkili biçimde tedavi edilmesi, toplumun ağız ve diş sağlığının geliştirilmesinin yanı sıra tedavi giderlerinin ve hastalığa bağlı iş gücü

kayıplarının azaltılmasına da katkı sağlayabilir (*Global Economic Impact of Dental Diseases - S. Listl, J. Galloway, P.A. Mossey, W. Marcenes, 2015, t.y.*).

Periodontal hastalıkların değerlendirilmesinde klinik ve radyografik verilerden yararlanan yapay zekâ modellerinin, deneyimli klinisyenlerle karşılaştırılabilir düzeyde performans gösterebildiği bildirilmektedir. Bu sistemlerin klinik uygulamalara entegrasyonu, tanı ve tedavi süreçlerinin daha etkin yürütülmesine, gereksiz işlemlerin azaltılmasına ve buna bağlı olarak sağlık hizmetleriyle ilişkili ekonomik yükün hafifletilmesine katkı sağlayabilir (Erdoğan vd., 2026).

3.1 Periodontal hastalık teşhisi

Periodontal hastalıkların tanısında yapay zekâ uygulamalarının araştırıldığı alanlardan biri, intraoral fotoğraflar üzerinden gingival inflamasyonun belirlenmesidir. Bu kapsamda, 567 hastadan elde edilen intraoral fotoğraflar kullanılarak geliştirilen derin öğrenme tabanlı bir modelin gingival inflamasyonun saptanmasında %92 duyarlılık ve %94 özgüllük gösterdiği bildirilmiştir (Chau vd., 2023). Bu bulgular, derin öğrenme tabanlı görüntü analizinin gingival inflamasyonun saptanması ve lokalizasyonunda yardımcı bir tanısal yaklaşım olarak kullanılabileceğine işaret etmektedir.

Aynı araştırma grubu tarafından daha sonra gerçekleştirilen bir dış doğrulama çalışmasında, GumAI sisteminin toplum ortamındaki yaşlı bireylerde gingivitis tespitindeki performansı değerlendirilmiştir. Sistem %93 duyarlılık ve %85 genel doğruluk göstermiştir. Bu sonuçlar, yapay zekâ destekli mobil sistemlerin gingival inflamasyonun toplum temelli taramalarında yardımcı bir araç olarak kullanılabileceğini göstermektedir (Chau vd., 2025).

Benzer şekilde, kronik gingivitisin intraoral fotoğraflar üzerinden belirlenmesinde evrişimli sinir ağı (Convolutional Neural Network, CNN) tabanlı modellerin performansı değerlendirilmiştir. Çalışmada, CNN tabanlı modellerin gingivitisin saptanmasında yüksek performans gösterdiği ve bu sistemlerin klinik değerlendirmeyi destekleyici bir araç olarak kullanılabileceği bildirilmiştir (Li vd., 2024).

Periodontal kemik kaybının radyografik olarak değerlendirilmesinde de derin öğrenme tabanlı yaklaşımlardan yararlanılmaktadır. Panoramik radyografiler üzerinde geliştirilen evrişimli sinir ağı (Convolutional Neural Network, CNN) tabanlı bir modelin periodontal kemik kaybını

saptamada yaklaşık %81 doğruluk, duyarlılık ve özgüllük değerlerine ulaştığı ve performansının altı diş hekiminin ortalama performansı ile karşılaştırılabilir düzeyde olduğu bildirilmiştir (Krois vd., 2019). Elde edilen bulgular, CNN tabanlı modellerin periodontal kemik kaybının radyografik değerlendirilmesinde klinisyenlere destek sağlayabilecek potansiyele sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Periodontal hastalıkların değerlendirilmesinde yapay zekânın genel performansı sistematik derlemelerde de ele alınmıştır. Bu kapsamda değerlendirilen 33 çalışmada, yapay zekâ modellerinin periodontal hastalıkların tanısı, sınıflandırılması, derecelendirilmesi ve risk tahmininde %73 ile %99,4 arasında değişen doğruluk oranlarına ulaştığı; özellikle periodontal kemik kaybının değerlendirilmesi ve hastalık sınıflandırmasında yüksek performans sergilediği bildirilmiştir. Bununla birlikte, veri kalitesi, genellenebilirlik ve model açıklanabilirliğine ilişkin mevcut sınırlılıklar, bu sistemlerin bağımsız bir tanı aracı yerine klinik karar verme sürecini destekleyici nitelikte değerlendirilmesinin önemini ortaya çıkarmaktadır (Jafer vd., 2025).

Periapikal radyografilerde periodontal kemik kaybının belirlenmesine yönelik CNN tabanlı modellerin performansı da araştırılmıştır. Toplam 21.819 periapikal radyografinin değerlendirildiği bir çalışmada, modellerin doğruluk oranlarının %82,0 ile %84,8 arasında değiştiği bildirilmiştir. Model performansının dişlerin anatomik konumuna göre farklılık gösterdiği ve en yüksek doğruluğun mandibular anterior bölgede elde edildiği belirlenmiştir. Bu sonuçlar, CNN tabanlı modellerin periodontal kemik kaybının radyografik değerlendirilmesinde kullanılabilirliğini desteklemekle birlikte, anatomik bölgenin model performansını etkileyebilecek bir faktör olduğunu da ortaya koymaktadır (Hoss vd., 2023).

Periodontal kemik kaybının yalnızca varlığının değil, kemik kaybı paterninin ve furkasyon defektlerinin belirlenmesine yönelik yapay zekâ uygulamaları da araştırılmıştır. Panoramik radyografiler kullanılarak geliştirilen derin öğrenme tabanlı bir modelin, total alveoler ve horizontal kemik kaybının belirlenmesinde yüksek performans gösterdiği ve furkasyon defektlerinin tespitinde de başarılı sonuçlara ulaştığı bildirilmiştir. Buna karşılık, vertikal kemik kaybının belirlenmesinde model performansının daha düşük olduğu saptanmıştır. Bu sonuçlar, yapay zekâ tabanlı görüntü analizinin periodontal kemik kaybının tespitinin ötesinde, periodontal yıkımın farklı özelliklerinin daha ayrıntılı biçimde değerlendirilmesinde de potansiyel kullanım alanına sahip olduğunu göstermektedir (Kurt-Bayrakdar vd., 2024).

Son yıllarda büyük dil modellerinin periodontal tanı ve klinik karar verme süreçlerindeki potansiyeli de araştırılmaya başlanmıştır. Bu modellerin tanı, evreleme, tedavi planlaması ve prognoz değerlendirmesinde umut verici sonuçlar gösterdiği bildirilmekle birlikte, mevcut çalışmaların çoğunlukla metin tabanlı senaryolara dayanması gerçek klinik kullanımlarına ilişkin kanıtları sınırlamaktadır (Mayer vd., 2026).

3.2 Periodontal hastalığın sınıflandırılması

Önceki çalışmalar ağırlıklı olarak radyografik görüntüler üzerinden periodontal kemik kaybının belirlenmesine odaklanırken, Ertaş ve ark. klinik periodontal parametreleri de değerlendirmeye dahil ederek periodontitisin evre ve derecesinin belirlenmesine yönelik makine öğrenmesi modelleri geliştirmiştir. Klinik verilerin kullanıldığı modellerde periodontitis evrelemesinde %98,6'ya varan doğruluk elde edilirken, yalnızca panoramik radyografilerin kullanıldığı modelde en yüksek doğruluk %88,2 olarak bildirilmiştir. Bu bulgular, radyografik değerlendirmeye klinik verilerin de dahil edilmesinin yapay zekâ tabanlı periodontitis sınıflandırmasına önemli katkı sağlayabileceğini göstermektedir (Ertaş vd., 2023).

Benzer şekilde, başka bir çalışmada yaş, sigara kullanımı, plak varlığı, sondalamada kanama, klinik ataşman kaybı ve sondalama derinliği gibi klinik parametrelerden yararlanılarak periodontitis derecesinin belirlenmesinde yapay sinir ağlarının performansı değerlendirilmiştir. Geliştirilen model %84,2 doğruluk, %85,7 duyarlılık ve %80 özgüllük göstermiştir. Bu bulgular, rutin periodontal muayeneden elde edilen klinik verilerin yapay zekâ modelleriyle değerlendirilmesinin periodontitisin progresyon riskinin belirlenmesine katkı sağlayabileceğini göstermektedir (Ossowska vd., 2022).

Daha güncel bir çalışmada ise panoramik radyografilerin ve hasta kaynaklı risk faktörlerinin aynı otomatik değerlendirme sürecinde kullanıldığı bir yapay zekâ sistemi geliştirilmiştir. Bu sistemde radyografik kemik kaybı panoramik görüntüler üzerinden otomatik olarak hesaplanarak periodontitis evresi belirlenmiş; kemik kaybı ile hastanın yaşı, sigara kullanımı ve diyabet durumu gibi faktörlerin birlikte değerlendirilmesiyle hastalık derecesi sınıflandırılmıştır. Böylece yapay zekâ, yalnızca farklı veri kaynaklarından periodontitis sınıflandırması yapmak yerine, radyografik analizi ve hasta kaynaklı bilgileri bütünleştiren otomatik bir evreleme ve derecelendirme sürecinde kullanılmıştır (Do vd., 2025).

3.3 Risk tahmini, prognoz tahmini ve tedavi planlaması

Periodontal prognozun belirlenmesinde bireysel risk faktörlerinin birlikte değerlendirilmesine dayanan yaklaşımlardan biri Periodontal Risk Assessment (PRA) modelidir. Uzun dönem takip verileri, yüksek risk grubunda yer alan hastalarda periodontitis nüksü ve diş kaybının daha fazla olduğunu göstermiştir. Ayrıca destekleyici periodontal tedaviye düzensiz uyumun daha yüksek diş kaybı ile ilişkili olduğu bildirilmiştir. Bu sonuçlar, bireysel risk değerlendirmesinin hastalık seyrinin ve uzun dönem periodontal prognozun öngörülmesindeki önemini ortaya koymaktadır (Matuliene vd., 2010).

Periodontal hastalıkların tanı ve sınıflandırılmasının yanı sıra, yapay zekâ modellerinin diş prognozunun ve tedavi gereksiniminin öngörülmesindeki potansiyeli de araştırılmıştır. Periapikal radyografiler kullanılarak geliştirilen derin öğrenme tabanlı bir evrişimli sinir ağı (Convolutional Neural Network, CNN) modelinin, periodontal açıdan problemli dişlerin belirlenmesinde premolarlarda %81,0, molarlarda ise %76,7 doğruluğa ulaştığı bildirilmiştir. Şiddetli periodontal olarak etkilenmiş dişlerde çekim gereksiniminin öngörülmesinde ise doğruluk oranları premolarlar için %82,8, molarlar için %73,4 olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar, yapay zekâ tabanlı görüntü analizinin periodontal prognoz ve tedavi gereksiniminin değerlendirilmesinde klinik karar verme sürecine katkı sağlayabilecek potansiyele sahip olduğunu göstermektedir (Lee vd., 2018).

Periodontitis progresyonunun öngörülmesinde klinik ve demografik verilerin yanı sıra biyolojik belirteçlerden yararlanan yapay zekâ modelleri de değerlendirilmiştir. On iki aylık takip verilerine dayanan bir çalışmada, klinik bulguların yaş, cinsiyet ve tükürük IL-1 β düzeyi ile birlikte kullanıldığı modelin en yüksek tahmin performansına ulaştığı bildirilmiştir. Klinik verilerin biyolojik belirteçlerle bütünleştirilmesi, periodontitis progresyon riski yüksek bireylerin önceden belirlenmesine yönelik yapay zekâ modellerinin geliştirilmesinde önemli bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir (Furquim vd., 2025).

Periodontitisli hastalarda uzun dönem diş kaybının öngörülmesine yönelik makine öğrenmesi modelleri de geliştirilmiştir. Dört farklı merkezden 515 hastaya ait 3.157 molar dişin klinik ve radyografik verilerinin değerlendirildiği bir çalışmada, lojistik regresyon ile yapay sinir ağını birleştiren modelin 10 yıllık molar kaybının tahmininde en yüksek performansa ulaştığı bildirilmiştir. Bu yaklaşım, klinik ve radyografik verilerin birlikte analiz edilmesinin

periodontal olarak etkilenmiş dişlerin uzun dönem prognozunun öngörülmesinde klinik karar desteği sağlayabileceğini düşündürmektedir (Troiano vd., 2023).

Periodontal tedaviye bireysel yanıtın öngörülmesinde de makine öğrenmesi tabanlı yaklaşımlardan yararlanılmaktadır. Hastaların demografik, klinik, mikrobiyolojik ve tedaviyle ilişkili verilerinin birlikte değerlendirildiği bir çalışmada, geliştirilen modelin tedavi sonrası klinik yanıtın tahmininde başarılı bir performans sergilediği bildirilmiştir. Farklı hasta ve hastalık özelliklerinin birlikte analiz edilmesi, yapay zekâ modellerinin bireysel tedavi yanıtının öngörülmesi ve kişiselleştirilmiş periodontal tedavi planlamasının desteklenmesi açısından önemli bir potansiyel sunmaktadır (Feher vd., 2025).

3.4. Uzaktan Hasta Takibi ve Kişiselleştirilmiş Periodontal Sağlık Uygulamaları

Daha önce gingivitisin yapay zekâ destekli tespitinde değerlendirilen GumAI sistemi, kişiselleştirilmiş periodontal sağlık uygulamaları açısından da dikkat çekmektedir. Chau ve ark., sistem tarafından şüpheli veya hastalıklı olarak belirlenen gingival bölgelere göre katılımcılara kişiselleştirilmiş oral hijyen önerileri sunmuştur. Katılımcıların tamamı, sistemin gingival sağlıklarını değerlendirmelerine yardımcı olduğunu ve sunulan kişiselleştirilmiş oral hijyen önerilerinden memnun olduklarını bildirmiştir. Bu bulgular, yapay zekâ destekli mobil sağlık uygulamalarının hastaların kendi ağız sağlıklarının yönetimine katılımını destekleyebileceğini göstermektedir (Chau vd., 2025).

Periodontal tedavi sürecinde dijital sağlık uygulamalarının hasta eğitimi ve öz bakımın desteklenmesindeki rolü de araştırılmıştır. Gingivitis ve periodontitisli hastalarda eğitim, motivasyon ve günlük oral hijyen hatırlatmaları sağlayan mobil uygulama destekli periodontal bakımın, bazı klinik periodontal bulguların yanı sıra hastaların oral sağlık bilgisi ve uygulama becerilerinde de iyileşme sağladığı bildirilmiştir. Mobil sağlık uygulamaları, bu yönüyle periodontal tedavi sürecinde hasta uyumunun artırılması ve günlük öz bakım davranışlarının desteklenmesi açısından tamamlayıcı bir yaklaşım olarak değerlendirilebilir (Hartono vd., 2024).

Bununla birlikte, periodontitisli hastalarda mobil uygulama destekli oral hijyen eğitiminin değerlendirildiği bir başka çalışmada, periodontal parametrelerde iyileşme gözlenmesine rağmen geleneksel oral hijyen eğitimi verilen grupla karşılaştırıldığında anlamlı bir farklılık saptanmamıştır. Bu bulgu, söz konusu uygulamaların hasta eğitimi ve oral hijyen

uygulamalarını destekleyebileceğini, ancak geleneksel yaklaşımlara kıyasla ek klinik yararlarının henüz kesin olarak ortaya konulamadığını göstermektedir (Purba vd., 2024).

4. PERİODONTOLOJİDE YAPAY ZEKÂNIN SINIRLILIKLARI VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Periodontolojide yapay zekâ uygulamaları umut verici sonuçlar göstermekle birlikte, veri setlerindeki sınırlı çeşitlilik, metodolojik farklılıklar ve dış doğrulama eksikliği modellerin genellenebilirliğini ve klinik uygulanabilirliğini kısıtlamaktadır. Bu nedenle modellerin gelecekte çok merkezli ve prospektif çalışmalarla farklı popülasyonlarda doğrulanması gerekmektedir (Tichy vd., 2026).

Periodontolojide yapay zekâ çalışmalarının büyük bölümü retrospektif tasarıma sahip olup ağırlıklı olarak radyografik verilere dayanmaktadır. Ayrıca, yüksek tanısal performansın klinik yarara ve hasta sonuçlarına ne ölçüde yansıdığına ilişkin kanıtlar sınırlıdır. Bu nedenle yapay zekâ sistemlerinin gerçek klinik ortamlarda prospektif çalışmalarla değerlendirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır (Herz & Bartha, 2026).

Son yıllarda büyük dil modelleri ve multimodal yapay zekâ sistemlerinin diş hekimliği ve periodontolojide kullanımı araştırılmaya başlanmıştır. Bu modeller, periodontal tanı, sınıflandırma ve klinik karar verme süreçlerinin desteklenmesi açısından potansiyel göstermektedir. Bununla birlikte, mevcut kanıtların sınırlı olması ve hatalı yanıt üretme riski nedeniyle klinik kullanımlarının uzman denetiminde olması ve daha kapsamlı çalışmalarla doğrulanması gerekmektedir (Chatzopoulos vd., 2025; Mayer vd., 2026).

5. SONUÇ

Yapay zekâ, periodontolojide tanı, hastalık sınıflandırması, risk ve prognoz değerlendirmesi ile tedavi planlaması gibi birçok alanda giderek daha fazla kullanılmaktadır. Mevcut çalışmalar umut verici sonuçlar ortaya koysa da bu sistemlerin klinik uygulamadaki etkinliğinin daha kapsamlı çalışmalarla değerlendirilmesine ihtiyaç vardır. Özellikle farklı klinik ve görüntüleme verilerini birlikte değerlendirebilen modellerin geliştirilmesi, gelecekte daha kapsamlı ve kişiselleştirilmiş periodontal değerlendirmelere katkı sağlayabilir. Bununla birlikte, yapay zekâ sistemleri klinisyenin yerini alan değil, klinik karar verme sürecini destekleyen yardımcı araçlar olarak değerlendirilmelidir.

KAYNAKLAR

- Agrawal, P., & Nikhade, P. (2022). Artificial Intelligence in Dentistry: Past, Present, and Future. *Cureus*, 14(7), e27405. <https://doi.org/10.7759/cureus.27405>
- AlSaad, R., Abd-alrazaq, A., Boughorbel, S., Ahmed, A., Renault, M.-A., Damseh, R., & Sheikh, J. (2024). Multimodal Large Language Models in Health Care: Applications, Challenges, and Future Outlook. *Journal of Medical Internet Research*, 26(1), e59505. <https://doi.org/10.2196/59505>
- Artificial Intelligence Techniques: Analysis, Application, and Outcome in Dentistry—A Systematic Review—Ahmed—2021—BioMed Research International—Wiley Online Library.* (t.y.). Geliş tarihi 03 Ekim 2026, gönderen <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/2021/9751564>
- Chatzopoulos, G. S., Koidou, V. P., Tsalikis, L., & Kaklamanos, E. G. (2025). Large language models in periodontology: Assessing their performance in clinically relevant questions. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 134(6), 2328-2336. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2024.10.020>
- Chau, R. C. W., Cheng, A. C. C., Mao, K., Thu, K. M., Ling, Z., Tew, I. M., Chang, T. H., Tan, H. J., McGrath, C., Lo, W.-L., Hsung, R. T.-C., & Lam, W. Y. H. (2025). External Validation of an AI mHealth Tool for Gingivitis Detection among Older Adults at Daycare Centers: A Pilot Study. *International Dental Journal*, 75(3), 1970-1978. <https://doi.org/10.1016/j.identj.2025.01.008>
- Chau, R. C. W., Li, G.-H., Tew, I. M., Thu, K. M., McGrath, C., Lo, W.-L., Ling, W.-K., Hsung, R. T.-C., & Lam, W. Y. H. (2023). Accuracy of Artificial Intelligence-Based Photographic Detection of Gingivitis. *International Dental Journal*, 73(5), 724-730. <https://doi.org/10.1016/j.identj.2023.03.007>

- Do, K. Q., Thai, T. T., Lam, V. Q., & Nguyen, T. T. (2025). Development and validation of artificial intelligence models for automated periodontitis staging and grading using panoramic radiographs. *BMC Oral Health*, 25(1), 1623. <https://doi.org/10.1186/s12903-025-07025-8>
- Erdoğan, E., Yılmaz, B., Emingil, G., & Gürkan, A. (2026). Periodontolojide Yapay Zeka Kullanımı: Günümüzdeki Uygulamalar, Yenilikler ve Gelecek. *Türk Diş Hekimliği Araştırma Dergisi*, 5(1), 61-78. <https://doi.org/10.58711/turkishjdentres.vi.1691244>
- Ertaş, K., Pence, I., Cesmeli, M. S., & Ay, Z. Y. (2023). Determination of the stage and grade of periodontitis according to the current classification of periodontal and peri-implant diseases and conditions (2018) using machine learning algorithms. *Journal of Periodontal & Implant Science*, 53(1), 38-53. <https://doi.org/10.5051/jpis.2201060053>
- Feher, B., de Souza Oliveira, E. H., Mendes Duarte, P., Werdich, A. A., Giannobile, W. V., & Feres, M. (2025). Machine learning-assisted prediction of clinical responses to periodontal treatment. *Journal of Periodontology*, 96(11), 1199-1212. <https://doi.org/10.1002/JPER.24-0737>
- Furquim, C. P., Caruth, L., Chandrasekaran, G., Cucchiara, A., Kallan, M. J., Martin, L., Feres, M., Bittinger, K., Divaris, K., Glessner, J., Kantarci, A., Giannobile, W., Verma, S. S., & Teles, F. (2025). Developing Predictive Models for Periodontitis Progression Using Artificial Intelligence: A Longitudinal Cohort Study. *Journal of Clinical Periodontology*, 52(10), 1478-1490. <https://doi.org/10.1111/jcpe.14194>
- Global Economic Impact of Dental Diseases—S. Listl, J. Galloway, P.A. Mossey, W. Marcenes, 2015. (t.y.).* Geliş tarihi 03 Ekim 2026, gönderen <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0022034515602879>
- Hartono, V., Setiadharm, Y., Rizany, A. K., Sulijaya, B., Lessang, R., Haerani, N., Tadjoeidin, E. S., Masulili, S. L. C., Tadjoeidin, F. M., Soeroso, Y., & Lachica, M. R. C. T. (2024).

- Mobile Application-Based Support for Periodontal Treatment Improves Clinical, Cognitive, and Psychomotor Outcomes: A Randomized Controlled Trial Study. *Dentistry Journal*, 12(3), 63. <https://doi.org/10.3390/dj12030063>
- Herz, M. M., & Bartha, V. (2026). Artificial Intelligence in Periodontology: From Automated Diagnosis to Prediction and Clinical Decision Support—A Narrative Review. *Dentistry Journal*, 14(8), 531. <https://doi.org/10.3390/dj14080531>
- Hoss, P., Meyer, O., Wölfle, U. C., Wülk, A., Meusburger, T., Meier, L., Hickel, R., Gruhn, V., Hesenius, M., Kühnisch, J., & Dujic, H. (2023). Detection of Periodontal Bone Loss on Periapical Radiographs—A Diagnostic Study Using Different Convolutional Neural Networks. *Journal of Clinical Medicine*, 12(22), 7189. <https://doi.org/10.3390/jcm12227189>
- Jafer, M., Ibraheem, W., Dawood, T., Abbas, A., Hakami, K., Khurayzi, T., Hakami, A. J., Alqahtani, S., Aldosari, M., Ageely, K., Khanagar, S. B., Vishwanathaiah, S., & Maganur, P. C. (2025). The Application and Performance of Artificial Intelligence (AI) Models in the Diagnosis, Classification, and Prediction of Periodontal Diseases: A Systematic Review. *Diagnostics*, 15(24), 3247. <https://doi.org/10.3390/diagnostics15243247>
- Krittanawong, C., Johnson, K. W., Rosenson, R. S., Wang, Z., Aydar, M., Baber, U., Min, J. K., Tang, W. H. W., Halperin, J. L., & Narayan, S. M. (2019). Deep learning for cardiovascular medicine: A practical primer. *European Heart Journal*, 40(25), 2058-2073. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz056>
- Krois, J., Ekert, T., Meinhold, L., Golla, T., Kharbot, B., Wittemeier, A., Dörfer, C., & Schwendicke, F. (2019). Deep Learning for the Radiographic Detection of Periodontal Bone Loss. *Scientific Reports*, 9(1), 8495. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44839-3>

- Kurt-Bayrakdar, S., Bayrakdar, İ. Ş., Yavuz, M. B., Sali, N., Çelik, Ö., Köse, O., Uzun Saylan, B. C., Kuleli, B., Jagtap, R., & Orhan, K. (2024). Detection of periodontal bone loss patterns and furcation defects from panoramic radiographs using deep learning algorithm: A retrospective study. *BMC Oral Health*, 24(1), 155. <https://doi.org/10.1186/s12903-024-03896-5>
- Lee, J.-H., Kim, D., Jeong, S.-N., & Choi, S.-H. (2018). Diagnosis and prediction of periodontally compromised teeth using a deep learning-based convolutional neural network algorithm. *Journal of Periodontal & Implant Science*, 48(2), 114-123. <https://doi.org/10.5051/jpis.2018.48.2.114>
- Li, W., Guo, E., Zhao, H., Li, Y., Miao, L., Liu, C., & Sun, W. (2024). Evaluation of transfer ensemble learning-based convolutional neural network models for the identification of chronic gingivitis from oral photographs. *BMC Oral Health*, 24(1), 814. <https://doi.org/10.1186/s12903-024-04460-x>
- Matuliene, G., Studer, R., Lang, N. P., Schmidlin, K., Pjetursson, B. E., Salvi, G. E., Brägger, U., & Zwahlen, M. (2010). Significance of Periodontal Risk Assessment in the recurrence of periodontitis and tooth loss. *Journal of Clinical Periodontology*, 37(2), 191-199. <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2009.01508.x>
- Mayer, Y., Demetriou, B., Rasperini, G., Gabay, E., Gašperšič, R., Božić, D., Calatrava, J., Ginesin, O., Giladi, H. Z., & Almeida, R. F. (2026). Large Language Models and Retrieval-Augmented Platforms for the Diagnosis and Management of Periodontal Diseases: A Blinded Expert-Rated Comparative Study of 11 Systems. *Journal of Clinical Periodontology*, 53(10), 1546-1556. <https://doi.org/10.1111/jcpe.70160>
- Mohammad-Rahimi, H., Motamedian, S. R., Pirayesh, Z., Haiat, A., Zahedrozegar, S., Mahmoudinia, E., Rohban, M. H., Krois, J., Lee, J.-H., & Schwendicke, F. (2022a).

- Deep learning in periodontology and oral implantology: A scoping review. *Journal of Periodontal Research*, 57(5), 942-951. <https://doi.org/10.1111/jre.13037>
- Mohammad-Rahimi, H., Motamedian, S. R., Pirayesh, Z., Haiat, A., Zahedrozegar, S., Mahmoudinia, E., Rohban, M. H., Krois, J., Lee, J.-H., & Schwendicke, F. (2022b). Deep learning in periodontology and oral implantology: A scoping review. *Journal of Periodontal Research*, 57(5), 942-951. <https://doi.org/10.1111/jre.13037>
- Mohammad-Rahimi, H., Motamedian, S. R., Pirayesh, Z., Haiat, A., Zahedrozegar, S., Mahmoudinia, E., Rohban, M. H., Krois, J., Lee, J.-H., & Schwendicke, F. (2022c). Deep learning in periodontology and oral implantology: A scoping review. *Journal of Periodontal Research*, 57(5), 942-951. <https://doi.org/10.1111/jre.13037>
- Noorbakhsh-Sabet, N., Zand, R., Zhang, Y., & Abedi, V. (2019). Artificial Intelligence Transforms the Future of Health Care. *The American Journal of Medicine*, 132(7), 795-801. <https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2019.01.017>
- Ossowska, A., Kusiak, A., & Świetlik, D. (2022). Evaluation of the Progression of Periodontitis with the Use of Neural Networks. *Journal of Clinical Medicine*, 11(16), 4667. <https://doi.org/10.3390/jcm11164667>
- Öztemel, E. (2006). *Yapay Sinir Ağları*. Papatya Yayıncılık.
- Park, W. J., & Park, J.-B. (2018). History and application of artificial neural networks in dentistry. *European Journal of Dentistry*, 12(4), 594-601. https://doi.org/10.4103/ejd.ejd_325_18
- Piccialli, F., Somma, V. D., Giampaolo, F., Cuomo, S., & Fortino, G. (2021). A survey on deep learning in medicine: Why, how and when? *Information Fusion*, 66, 111-137. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2020.09.006>

- Pitchika, V., Büttner, M., & Schwendicke, F. (2024). Artificial intelligence and personalized diagnostics in periodontology: A narrative review. *Periodontology 2000*, 95(1), 220-231. <https://doi.org/10.1111/prd.12586>
- Purba, M. R., Putra, M. M., Sulijaya, B., Widaryono, A., Hartono, V., Setiadharm, Y., Rizany, A. K., Tadjoeidin, F. M., & Lachica, M. R. C. T. (2024). Effect of mobile app-based oral hygiene instructions on clinical parameters, oral bacterial diversity, and composition of subgingival microbiota in periodontitis patients. *Journal of Oral Microbiology*, 16(1), 2372206. <https://doi.org/10.1080/20002297.2024.2372206>
- Rajpurkar, P., Chen, E., Banerjee, O., & Topol, E. J. (2022). AI in health and medicine. *Nature Medicine*, 28(1), 31-38. <https://doi.org/10.1038/s41591-021-01614-0>
- Şalgâu, C. A., Morar, A., Zgarta, A. D., Ancuța, D.-L., Rădulescu, A., Mitrea, I. L., & Tănase, A. O. (2024). Applications of Machine Learning in Periodontology and Implantology: A Comprehensive Review. *Annals of Biomedical Engineering*, 52(9), 2348-2371. <https://doi.org/10.1007/s10439-024-03559-0>
- Shan, T., Tay, F. R., & Gu, L. (2021). Application of Artificial Intelligence in Dentistry. *Journal of Dental Research*, 100(3), 232-244. <https://doi.org/10.1177/0022034520969115>
- Tichy, A., Werner, N., Dujic, H., Wetzel, C., Pitchika, V., Bumm, C. V., Folwaczny, M., & Schwendicke, F. (2026). Artificial Intelligence in Periodontology: A Systematic Review. *Journal of Periodontal Research*, 61(6), 639-661. <https://doi.org/10.1111/jre.70107>
- Troiano, G., Nibali, L., Petsos, H., Eickholz, P., Saleh, M. H. A., Santamaria, P., Jian, J., Shi, S., Meng, H., Zhurakivska, K., Wang, H.-L., & Ravidà, A. (2023). Development and international validation of logistic regression and machine-learning models for the prediction of 10-year molar loss. *Journal of Clinical Periodontology*, 50(3), 348-357. <https://doi.org/10.1111/jcpe.13739>

- Umer, F., Batool, I., & Naved, N. (2024). Innovation and application of Large Language Models (LLMs) in dentistry – a scoping review. *BDJ Open*, 10(1), 90. <https://doi.org/10.1038/s41405-024-00277-6>
- Xu, Y., Liu, X., Cao, X., Huang, C., Liu, E., Qian, S., Liu, X., Wu, Y., Dong, F., Qiu, C.-W., Qiu, J., Hua, K., Su, W., Wu, J., Xu, H., Han, Y., Fu, C., Yin, Z., Liu, M., ... Zhang, J. (2021). Artificial intelligence: A powerful paradigm for scientific research. *The Innovation*, 2(4), 100179. <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2021.100179>
- Yasaka, K., Akai, H., Kunitatsu, A., Kiryu, S., & Abe, O. (2018). Deep learning with convolutional neural network in radiology. *Japanese Journal of Radiology*, 36(4), 257-272. <https://doi.org/10.1007/s11604-018-0726-3>

BÖLÜM 10

DİJİTAL PERİODONTOLOJİ: TANIDAN TEDAVİYE GÜNCEL YAKLAŞIMLAR

Turan Emre KUZU¹ , Sadife Gamze ÖNAL²

¹ Doç. Dr., Erciyes Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Periodontoloji AD., turanemrekuzu@erciyes.edu.tr, ORCID iD: 0000-0002-9478-1578

² Arş. Gör., Erciyes Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Periodontoloji AD., gamzeeonal@gmail.com, ORCID iD: 0009-0003-9445-3843

1.GİRİŞ

Dijital teknolojilerde yaşanan hızlı gelişmeler, diş hekimliğinde tanıdan tedavi planlamasına ve hasta takibine kadar birçok klinik sürecin dönüşümüne katkı sağlamıştır. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından da ele alınan dijital diş hekimliği kavramı, ağız ve diş sağlığına ilişkin sorunların değerlendirilmesi ve yönetiminde dijital teknolojilerden yararlanılmasını ifade eden geniş kapsamlı bir yaklaşımı tanımlamaktadır (Lam vd., 2025a). Günümüzde bu yaklaşım; dijital tarama ve görüntüleme sistemleri, bilgisayar destekli tasarım ve üretim (CAD-CAM), bilgisayar destekli cerrahi, mobil sağlık uygulamaları ve yapay zekâ gibi çok çeşitli teknolojileri kapsamaktadır. Bu teknolojilerin klinik iş akışlarına entegrasyonu; daha hassas değerlendirmelerin yapılması, tedavi süreçlerinin etkinleştirilmesi, iletişimin geliştirilmesi ve hastaya özgü, daha öngörülebilir tedavi yaklaşımlarının oluşturulması açısından önemli olanaklar sunmaktadır (Lam vd., 2025a).

Dijital diş hekimliğinin gelişimi, yalnızca farklı teknolojilerin klinik uygulamalarda kullanılmasını değil, bu teknolojiler aracılığıyla elde edilen verilerin ortak bir dijital iş akışı içerisinde bütünleştirilmesini de beraberinde getirmiştir. Farklı görüntüleme ve tarama yöntemlerinden elde edilen iki ve üç boyutlu verilerin bir araya getirilmesi, hastaya ait anatomik yapıların daha kapsamlı biçimde değerlendirilmesine ve tanıdan tedavi planlamasına kadar farklı klinik aşamalarda kullanılabilecek dijital hasta modellerinin oluşturulmasına olanak sağlamaktadır (Shujaat vd., 2021).

Periodontal hastalıkların başarılı bir şekilde yönetilmesinde, hastalığın erken dönemde saptanması ve periodontal durumun doğru biçimde değerlendirilmesi kritik öneme sahiptir. Erken ve güvenilir tanı, hastalığın mevcut durumunun belirlenmesinin yanı sıra uygun tedavi yaklaşımının planlanmasına ve periodontal sağlığın uzun dönem korunmasına da katkı sağlamaktadır (Ramseier, 2024).

Periodontal değerlendirmede klinik sondlama ve konvansiyonel radyografik incelemeler temel tanı yöntemleri olmaya devam etmektedir. Bununla birlikte, bu yöntemlerin özellikle hastalığın erken dönemlerinde ortaya çıkan sınırlı periodontal değişiklikleri belirlemedeki duyarlılığının yetersiz kalabilmesi, erken ve doğru tanının sağlanmasında önemli bir sınırlılık oluşturmaktadır (Farina vd., 2025).

Periodontitis riskinin belirlenmesinde çeşitli değerlendirme araçlarından yararlanılmakla birlikte, hastalığın çok faktörlü ve karmaşık yapısı geleneksel yaklaşımların öngörü gücünü

sınırlandırabilmektedir. Bu doğrultuda, farklı türdeki verilerin işlenmesine ve birlikte değerlendirilmesine olanak sağlayan dijital teknolojiler, periodontal tarama, tanı ve risk değerlendirmesinin geliştirilmesi açısından önemli bir potansiyel taşımaktadır. Bununla birlikte, bu teknolojilerin rutin periodontal uygulamalardaki kullanımı henüz gelişim aşamasındadır (Chow vd., 2024; Farina vd., 2025; Pitchika vd., 2024).

Bu bölümde, dijital diş hekimliğinde yaşanan güncel gelişmeler doğrultusunda bu teknolojilerin periodontoloji alanındaki kullanımının ele alınması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, dijital teknolojilerin periodontal tanı, değerlendirme, tedavi planlaması ve klinik uygulamalardaki kullanım alanları ile sağladığı avantajlar ve mevcut sınırlılıkları değerlendirilerek gelecekteki olası kullanım alanlarının ortaya konulması hedeflenmiştir.

2. PERİODONTOLOJİDE DİJİTAL TANI VE DEĞERLENDİRME

2.1. Dijital Radyografik Görüntüleme ve Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi (KIBT)

Periodontal hastalıkların değerlendirilmesinde radyografik görüntüleme, klinik muayeneyi tamamlayarak alveoler kemikte meydana gelen değişikliklerin belirlenmesine katkı sağlamaktadır. Bununla birlikte, periapikal ve panoramik radyografilerin iki boyutlu yapısı ve anatomik yapıların süperpozisyonu, periodontal kemik kaybının gerçek boyutlarının ve morfolojisinin değerlendirilmesini sınırlandırabilmektedir. KIBT ise periodontal yapıların üç boyutlu olarak incelenmesine olanak sağlayarak özellikle intrabony defektlerin, furkasyon tutulumlarının ve bukkal-lingual yöndeki kemik değişikliklerinin değerlendirilmesinde ek tanısal bilgiler sunabilmektedir (Acar & Kamburoğlu, 2014).

Üç boyutlu görüntülemenin seçilmiş olduğu olgularda periodontal defektlerin değerlendirilmesini geliştirerek klinik karar verme ve tedavi planlama süreçlerine katkı sağlayabileceği gösterilmiştir (Walter vd., 2020).

Bu bulgularla uyumlu olarak, KIBT'nin periodontal yapıların değerlendirilmesinde yüksek doğruluk sağlayabildiği ve özellikle kompleks anatomik bölgelerde ayrıntılı üç boyutlu bilgiler sunduğu bildirilmiştir. Bununla birlikte, KIBT ile elde edilen ek tanısal bilgilerin her durumda klinik sonuçlara doğrudan yansımadığı ve mevcut kanıtların rutin kullanımını desteklemek için yeterli olmadığı belirtilmektedir. Bu nedenle KIBT'nin periodontal değerlendirmede rutin bir görüntüleme yöntemi olarak kullanılmasından ziyade, özellikle kompleks periodontal olgularda

ve elde edilecek üç boyutlu bilginin tedavi planlamasını etkileyebileceği durumlarda tercih edilmesi önerilmektedir (“Accuracy and Usefulness of CBCT in Periodontology”, t.y.).

2.2. İntraoral Tarayıcılar ve Üç Boyutlu Dijital Modeller

İntraoral tarayıcılar (IOS), dişlerin ve çevre yumuşak dokuların üç boyutlu dijital olarak kaydedilmesine olanak sağlayarak periodontal yapıların objektif ve tekrarlanabilir biçimde değerlendirilmesine yönelik yeni olanaklar sunmaktadır. IOS ile elde edilen üç boyutlu dijital modellerin özellikle gingival kalınlık, keratinize doku boyutları ve gingival resesyonların değerlendirilmesinde kullanılabileceği bildirilmiştir (Caron vd., 2025a; Kuralt vd., 2022). Bununla birlikte, plak varlığının belirlenmesi ve periodontal cep derinliğinin değerlendirilmesi gibi bazı klinik parametrelerde IOS kullanımına ilişkin mevcut kanıtlar henüz sınırlıdır (Caron vd., 2025b).

Bunun yanı sıra, farklı zaman noktalarında gerçekleştirilen dijital taramalar, periodontal tedavi sürecinde gingival resesyon ve çevre yumuşak dokularda meydana gelen değişikliklerin üç boyutlu olarak izlenmesine olanak sağlamaktadır. Tedavi öncesinde ve sonrasında elde edilen dijital modellerin karşılaştırılmasıyla bu değişiklikler; doğrusal ölçümlerin yanı sıra yüzey alanı, kalınlık ve hacim açısından nicel olarak değerlendirilebilmekte ve geleneksel periodontal değerlendirmelerle fark edilmesi güç olan küçük boyutsal değişiklikler belirlenebilmektedir (Kuralt vd., 2022; Vallejos-Juárez vd., 2024).

IOS kullanımı doğal dişlerin çevresindeki periodontal dokularla sınırlı olmayıp, peri-implant yumuşak dokuların üç boyutlu değerlendirilmesinde de kullanım alanı bulmaktadır. Dijital taramalar ve üç boyutlu modellerin karşılaştırılması, peri-implant mukozanın kontur ve hacminde zaman içerisinde meydana gelen değişikliklerin objektif ve tekrarlanabilir biçimde izlenmesine olanak sağlayabilmektedir. Bununla birlikte, bu alandaki klinik çalışmaların sınırlı sayıda olması nedeniyle IOS ile yapılan peri-implant yumuşak doku değerlendirmelerinin klinik geçerliliğinin daha kapsamlı çalışmalarla desteklenmesi gerekmektedir (Shomurodov vd., 2026).

2.3. Dijital Periodontal Kayıt ve Ölçüm Sistemleri

Periodontal hastalıkların tanısı ve takibinde sondlama derinliği ve klinik ataşman düzeyi gibi klinik ölçümler temel öneme sahiptir. Bu ölçümlerde uygulayıcıya bağlı değişkenliği azaltmak ve daha standart ölçümler elde etmek amacıyla basınca duyarlı ve elektronik periodontal

sondalar geliştirilmiştir. Bu sistemlerin değerlendirici içi ve değerlendiriciler arası ölçümlerde daha yüksek tekrarlanabilirlik sağlama eğiliminde olduğu bildirilmekle birlikte, mevcut kanıtlar elektronik sondların manuel periodontal sondlara belirgin bir üstünlük sağladığını göstermemektedir. Bu nedenle manuel periodontal sondlar, periodontitisin tanısı ve takibinde günümüzde klinik standart olmaya devam etmektedir (Stødle vd., 2025a).

Sabit kuvvet uygulayan elektronik periodontal sondların ise sondlama kuvvetini standardize ederek ölçüm değişkenliğini azaltması amaçlanmaktadır. Bununla birlikte, bu sistemlerin ölçüm hatasını azaltmadaki etkisinin uygulayıcılar arasında farklılık gösterebildiği bildirilmiştir (Osborn vd., 1992).

Florida Probe ve ParoTrack gibi dijital periodontal sond sistemleri, kontrollü sondlama kuvvetiyle gerçekleştirilen klinik ölçümlerin otomatik olarak kaydedilmesine ve sondlama derinliği, klinik ataşman düzeyi ve sondlamada kanama gibi periodontal parametrelerin eş zamanlı olarak dijital ortama aktarılmasına olanak sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, optik ve ultrasonik ölçüm teknolojileri gingival kalınlık ve gingival çekilme gibi yumuşak doku özelliklerinin invaziv olmayan yöntemlerle değerlendirilmesine imkân sağlamakla birlikte, pigmentasyon ve inflamasyon gibi dokuya bağlı faktörler bu yöntemlerin ölçüm doğruluğunu etkileyebilmektedir (Ahmed vd., 2024; Renaud vd., 2024).

2.4. Dijital Fotoğrafçılık ve Görüntü Analizi

Dijital fotoğrafçılık, periodontal dokuların başlangıç durumunun belgelenmesine ve tedavi sürecinde meydana gelen değişikliklerin görsel olarak izlenmesine olanak sağlayan yardımcı bir değerlendirme yöntemidir. Standardize edilmiş intraoral fotoğraflar, tanı ve tedavi planlamasının yanı sıra tedavi sonuçlarının karşılaştırılması, hasta eğitimi ve klinik iletişim amacıyla da kullanılabilir (Ong vd., 2022).

Standardize intraoral fotoğraflar, gingival resesyonların değerlendirilmesinde de kullanılabilir. Fotoğrafik değerlendirmelerin resesyon derinliği, keratinize doku genişliği ve resesyon tipinin belirlenmesinde tekrarlanabilir sonuçlar sağlayabildiği bildirilmiştir. Bununla birlikte, gingival kalınlık ve mine-sement sınırı gibi bazı anatomik özelliklerin yalnızca fotoğraflar üzerinden değerlendirilmesinde daha düşük uyum görülebilmektedir (Di Gianfilippo vd., 2025; Kuralt vd., 2022).

Dijital fotoğraflar üzerinden gerçekleştirilen görüntü analizleri, gingival dokulardaki renk değişikliklerinin objektif olarak değerlendirilmesine de olanak sağlamaktadır. Periodontal tedavinin farklı aşamalarında elde edilen standardize görüntülerin analiziyle gingival renkte meydana gelen değişikliklerin nicel olarak belirlenebildiği ve bu yaklaşımın tedaviye verilen doku yanıtının değerlendirilmesinde kullanılabileceği bildirilmiştir (Ginesin vd., 2022).

3. PERİODONTAL TEDAVİ PLANLAMASINDA DİJİTAL TEKNOLOJİLER

3.1. Dijital Verilerin Entegrasyonu ve Sanal Hasta Modeli

Dijital teknolojilerin tedavi planlamasındaki temel avantajlarından biri, farklı yöntemlerle elde edilen hasta verilerinin ortak bir dijital ortamda bir araya getirilebilmesidir. KIBT ile kraniyofasiyal yapıların üç boyutlu görüntülenmesi sağlanırken, IOS ile dişler ve çevre yumuşak dokulara ilişkin ayrıntılı dijital modeller oluşturulabilmektedir (Angelone vd., 2023; Kaasalainen vd., 2021). Bu verilerin bütünleştirilmesi, hastaya ait anatomik yapıların daha kapsamlı değerlendirilmesine ve bireyselleştirilmiş tedavi planlarının oluşturulmasına katkı sağlayabilmektedir (Frąckiewicz vd., 2024).

Farklı kaynaklardan elde edilen dijital verilerin bir araya getirilmesi, hastanın anatomik özelliklerini bütüncül olarak yansıtan sanal hasta modellerinin oluşturulmasına olanak sağlamaktadır. KIBT, IOS ve yüz taramalarından elde edilen verilerin aynı dijital model üzerinde bütünleştirilmesiyle dişler, çevre dokular ve yüz yapıları arasındaki ilişkiler üç boyutlu olarak değerlendirilebilmekte ve tedavi planlaması sanal ortamda gerçekleştirilebilmektedir (Joda & Gallucci, 2015).

Periodontal tedavi planlamasında bu bütünlüklü dijital yaklaşım, gingival dokuların ve alveoler kemik yapısının dişler ve çevre anatomik yapılarla birlikte değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Böylece özellikle estetik bölgede planlanan periodontal girişimlerde mevcut sert ve yumuşak doku ilişkileri üç boyutlu olarak incelenerek uygulanacak tedavinin sınırları ve hedefleri işlem öncesinde daha ayrıntılı biçimde belirlenebilmektedir (Liu vd., 2018a).

3.2. Dijital Estetik ve Periodontal Tedavi Planlaması

Periodontal estetik tedavilerin planlanmasında dişlerin şekil ve boyutlarının yanı sıra gingival kontur, gülme hattı ve diş-gingiva-yüz arasındaki ilişkinin birlikte değerlendirilmesi önem taşımaktadır (Morley & Eubank, 2001). Dijital gülüş tasarımı (Digital Smile Design, DSD), bu

estetik bileşenlerin dijital ortamda analiz edilmesine ve planlanan değişikliklerin tedavi öncesinde görselleştirilmesine olanak sağlamaktadır (Omar & Duarte, 2018). Bu yaklaşım, özellikle gingival konturun yeniden düzenlenmesini gerektiren olgularda tedavi hedeflerinin belirlenmesini kolaylaştırırken hasta-hekim iletişimine de katkı sağlayabilmektedir (Meereis vd., 2016).

Dijital gülüş tasarımı, periodontal plastik cerrahi planlamasında da kullanılabilmekte; diş boyutları, gingival zenitler ve gingival konturların yüz ve gülüş özellikleriyle birlikte değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu sayede planlanan gingival değişiklikler cerrahi işlem öncesinde dijital ortamda görselleştirilebilmekte ve tedavi hedefleri hastayla birlikte değerlendirilebilmektedir (Santos vd., 2017).

4. PERİODONTAL CERRAHİDE DİJİTAL TEKNOLOJİLER

4.1. Bilgisayar Destekli Periodontal Cerrahi ve Cerrahi Rehberler

Dijital ortamda oluşturulan periodontal tedavi planlarının klinik uygulamaya aktarılmasında bilgisayar destekli cerrahi rehberlerden yararlanılabilmektedir. Hastaya ait dijital veriler doğrultusunda tasarlanan bu rehberler, planlanan gingival ve kemik rezeksiyon sınırlarının cerrahi işlem sırasında belirlenmesine yardımcı olarak dijital planın klinik uygulamaya daha kontrollü biçimde aktarılmasına olanak sağlamaktadır (Liu vd., 2018b). Farklı rehber tasarımlarının değerlendirildiği bir çalışmada, dijital rehberler kullanılarak gerçekleştirilen gingival rezeksiyonlarda planlanan gingival zenit konumundan sapmanın serbest el tekniğine göre daha düşük olduğu bildirilmiştir (Li vd., 2024). Dijital cerrahi rehberlerin klinik kullanımını değerlendiren randomize kontrollü bir çalışmada, bilgisayar destekli estetik kron boyu uzatma yaklaşımının konvansiyonel yöntemle benzer klinik sonuçlar sağladığı, bununla birlikte cerrahi işlem süresini kısaltabildiği bildirilmiştir (Borham vd., 2024).

Dijital cerrahi rehberlerin periodontal kullanımı kron boyu uzatma işlemleriyle sınırlı değildir. Gingival resesyonların cerrahi tedavisinde de dijital olarak tasarlanan rehberler, flep insizyonlarının konumlandırılması ve bağ dokusu greftinin alınacağı donör bölgenin sınırlarının belirlenmesi amacıyla kullanılabilmektedir (Santamaria vd., 2025). Dijital iş akışıyla gerçekleştirilen rehberli koronale kaydırılan flep uygulamasının bildirildiği bir olguda, cerrahi rehberlerin hem alıcı hem de donör bölgedeki işlemlerin önceden planlanan konum ve boyutlarda gerçekleştirilmesine yardımcı olduğu ve tam kök yüzeyi örtülmesinin elde edildiği bildirilmiştir (Santamaria vd., 2025).

4.2. Dijital İmplant Planlaması ve Bilgisayar Destekli İmplant Cerrahisi

Dijital teknolojilerin implant cerrahisine entegrasyonu, implantların anatomik yapıların ve planlanan protetik restorasyonun dikkate alındığı üç boyutlu bir ortamda planlanmasına olanak sağlamaktadır. KIBT ile elde edilen anatomik verilerin dijital yüzey taramalarıyla birleştirilmesi sayesinde implantın konumu, açısı ve derinliği cerrahi işlem öncesinde belirlenebilmekte ve oluşturulan dijital plan bilgisayar destekli cerrahi sistemler aracılığıyla klinik uygulamaya aktarılabilmektedir (Wismeijer vd., 2018).

Dijital ortamda planlanan implant konumunun cerrahi sahaya aktarılmasında statik bilgisayar destekli implant cerrahisinden (static computer-assisted implant surgery, s-CAIS) yararlanılabilmektedir (Tahmaseb vd., 2018). Bu yaklaşımda, dijital plan doğrultusunda hazırlanan cerrahi rehberler osteotominin ve implant yerleşiminin önceden belirlenen konum, açı ve derinliğe uygun biçimde gerçekleştirilmesini yönlendirmektedir. Sistematiik derleme ve meta-analizlerden elde edilen bulgular, statik bilgisayar destekli implant cerrahisinin çoğu klinik durumda kabul edilebilir düzeyde doğruluk sağlayabildiğini göstermektedir (Tahmaseb vd., 2018).

Statik cerrahi rehberlere alternatif olarak kullanılan dinamik bilgisayar destekli implant cerrahisi (dynamic computer-assisted implant surgery, d-CAIS), cerrahi enstrümanların konumunun işlem sırasında gerçek zamanlı olarak izlenmesine olanak sağlamaktadır (Wei vd., 2021). Navigasyon sistemleri aracılığıyla frezin mevcut konumu ve yönelimi dijital olarak planlanan implant pozisyonuyla eş zamanlı biçimde karşılaştırılabilmektedir (Wei vd., 2021). Dinamik navigasyonun serbest el implant yerleşimine kıyasla daha düşük konumsal sapmalar sağlayabildiği ve implant yerleştirme doğruluğunun statik bilgisayar destekli sistemlerle benzer düzeyde olduğu bildirilmiştir (Pellegrino vd., 2021).

Bilgisayar destekli implant cerrahisi, implantın planlanan konuma daha kontrollü biçimde yerleştirilmesine katkı sağlamakla birlikte tamamen hatasız bir uygulama olarak değerlendirilmemelidir. Görüntülerin elde edilmesi ve birleştirilmesi, dijital planlama, cerrahi rehberin üretimi ve ağız içerisindeki stabilitesi ile cerrahi uygulama sırasında ortaya çıkabilecek teknik değişkenler planlanan ve gerçek implant konumları arasında sapmalara neden olabilmektedir. Ayrıca maliyet, kullanılan sistemlere ilişkin öğrenme süreci ve bazı klinik durumlarda cerrahi erişimin kısıtlanması bu yaklaşımların başlıca sınırlılıkları arasındadır. Bu nedenle dijital sistemler, klinik ve radyografik değerlendirmelerin yerine geçen yöntemler

olarak değil, implant cerrahisinin planlanmasını ve uygulanmasını destekleyen araçlar olarak değerlendirilmelidir (Michelinakis vd., 2024; Tahmaseb vd., 2018).

4.3. Periodontal Rejenerasyonda Dijital Yaklaşımlar

Periodontal rejeneratif tedavilerin planlanmasında defektin morfolojisinin doğru biçimde değerlendirilmesi, uygulanacak cerrahi yaklaşımın belirlenmesi açısından önem taşımaktadır (Palkovics vd., 2020). KIBT verilerinden oluşturulan üç boyutlu sanal modeller, intrabony periodontal defektlerin derinlik, genişlik ve morfolojik özelliklerinin cerrahi öncesinde ayrıntılı olarak incelenmesine olanak sağlamaktadır. Bu modeller kullanılarak gerçekleştirilen dijital ölçümlerin intraoperatif ölçümlerle yüksek düzeyde uyum gösterebildiği ve geleneksel klinik ve radyografik değerlendirmelerle tam olarak belirlenemeyen defekt morfolojisinin üç boyutlu olarak ortaya konulabildiği bildirilmiştir (Palkovics vd., 2020).

Dijital teknolojilerin periodontal rejenerasyondaki kullanımı, defekt morfolojisinin değerlendirilmesinin yanı sıra defekte özgü rejeneratif yapıların tasarlanmasına da olanak sağlamaktadır. Üç boyutlu görüntüleme verilerinden yararlanılarak periodontal defektin boyut ve morfolojisine uygun scaffoldlar dijital ortamda tasarlanabilmekte ve eklemeli imalat yöntemleriyle üretilmektedir. Bunun yanı sıra, farklı yapısal özelliklere sahip bölmeler içeren scaffold tasarımlarıyla alveoler kemik, periodontal ligament ve sement gibi periodontal dokuların kompleks organizasyonunun taklit edilmesi ve bu dokuların rejenerasyonunun desteklenmesi amaçlanmaktadır (Raveau & Jordana, 2020).

Periodontal doku mühendisliğinde araştırılan ileri yaklaşımlardan biri de üç boyutlu biyobaskıdır. Geleneksel üç boyutlu baskıdan farklı olarak biyobaskı, biyoyumlu materyallerin hücreler ve çeşitli biyolojik bileşenlerle birlikte kontrollü biçimde konumlandırılmasına olanak sağlayarak periodontal dokuların kompleks organizasyonunu taklit eden yapılar oluşturmayı amaçlamaktadır (Almeida vd., 2024). Bu yaklaşımın alveoler kemik, periodontal ligament ve diğer periodontal dokuların rejenerasyonunda önemli bir potansiyel taşıdığı düşünülmekle birlikte, uygun biyomürekkep özelliklerinin belirlenmesi, hücre canlılığının ve farklılaşmasının korunması, vaskülarizasyon ve uzun dönem biyolojik stabilitenin sağlanması gibi sorunlar klinik uygulamaya geçişin önündeki başlıca sınırlılıklar arasında yer almaktadır (Almeida vd., 2024).

5. DİJİTAL HASTA TAKİBİ VE TELEDİŞ HEKİMLİĞİ

Dijital iletişim teknolojilerinin sağlık hizmetlerine entegrasyonu, hastaların klinik ortam dışında değerlendirilmesine ve takip edilmesine yönelik yeni yaklaşımların gelişmesini sağlamıştır (Estai vd., 2018). Telediş hekimliği, hastaya ait klinik bilgilerin ve dijital görüntülerin uzaktan paylaşılması yoluyla tarama, konsültasyon ve takip süreçlerinin gerçekleştirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu yaklaşım, özellikle düzenli kontrol gerektiren hastalarda klinik ziyaretleri tamamlayıcı bir yöntem olarak hasta takibinin sürekliliğinin sağlanmasına katkıda bulunabilir (Estai vd., 2018).

Periodontal hastalıkların değerlendirilmesinde telediş hekimliği uygulamaları, hastaya ait intraoral görüntülerin ve klinik bilgilerin uzaktan incelenmesine olanak sağlayarak periodontal durumun ön değerlendirilmesi ve takip edilmesinde kullanılabilmektedir. Bununla birlikte, periodontal sondlama derinliği, klinik ataşman düzeyi ve sondlamada kanama gibi doğrudan klinik ölçüm gerektiren parametrelerin uzaktan değerlendirilmesindeki sınırlılıklar nedeniyle telediş hekimliği, kapsamlı periodontal muayenenin yerine geçen bir yöntemden çok klinik değerlendirmeyi destekleyen tamamlayıcı bir yaklaşım olarak ele alınmalıdır (Steinmeier vd., 2020; Stødle vd., 2025b).

Mobil sağlık (mHealth) uygulamaları, hastaların klinik ziyaretler arasındaki süreçte ağız hijyeni davranışlarının desteklenmesi ve tedaviye uyumlarının sürdürülmesi amacıyla kullanılabilecek dijital yaklaşımlardan biridir. Mobil uygulamalar ve kısa mesajlar aracılığıyla sunulan eğitim, motivasyon ve hatırlatmaların plak kontrolünün geliştirilmesine ve gingival inflamasyonun azaltılmasına katkı sağlayabileceği bildirilmiştir. Bu nedenle mHealth uygulamaları, geleneksel ağız hijyeni eğitiminin yerine geçmekten çok hasta motivasyonunu ve günlük ağız bakımını destekleyen tamamlayıcı araçlar olarak değerlendirilebilir (Toniazzo vd., 2019).

Mobil teknolojiler, periodontal hastalarda belirli ağız hijyeni uygulamalarına uyumun sürdürülmesi amacıyla da kullanılabilmektedir. Periodontitis hastalarında interdental fırçalama önerilerinin düzenli mobil mesajlarla desteklendiği randomize bir klinik çalışmada, bu yaklaşımın hasta uyumunu ve plak kontrolünü geliştirdiği ve bazı periodontal klinik parametrelerde standart eğitime kıyasla daha fazla iyileşme sağladığı bildirilmiştir. Bu sonuçlar, dijital hatırlatmaların özellikle klinik ziyaretler arasındaki dönemde hastaların ağız hijyeni davranışlarının sürdürülmesine katkı sağlayabileceğini göstermektedir (Yadav vd., 2025).

Periodontitis hastalarında mobil uygulamaların geleneksel ağız hijyeni eğitime ek olarak kullanımı da araştırılmıştır. Mobil uygulama destekli ağız hijyeni eğitiminin değerlendirildiği randomize bir çalışmada, tedavi sonrasında plak, sondlamada kanama ve sondlama derinliği gibi periodontal parametrelerde iyileşme gözlenmiş; ancak mobil uygulama kullanılan grup ile yalnızca geleneksel ağız hijyeni eğitimi verilen grup arasında anlamlı bir üstünlük saptanmamıştır. Bu bulgular, mobil uygulamaların periodontal hasta eğitimi destekleme potansiyeli bulunmakla birlikte klinik etkinliklerinin ve uzun dönem katkılarının daha kapsamlı çalışmalarla değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir (Purba vd., 2024).

6. DİJİTAL TEKNOLOJİLERİN SINIRLILIKLARI VE KLİNİK UYGULAMAYA ENTEGRASYONU

Dijital teknolojiler periodontal tanı, tedavi planlaması ve hasta takibinde önemli olanaklar sunmakla birlikte, bu sistemlerin rutin klinik uygulamalara entegrasyonu çeşitli sınırlılıkları da beraberinde getirmektedir. Kullanılan cihaz ve yazılımlar arasındaki farklılıklar, başlangıç ve bakım maliyetleri, teknik altyapı gereksinimi ve sağlık profesyonellerinin bu teknolojilerin kullanımı konusunda yeterli eğitim ve deneyime sahip olma gerekliliği yaygın klinik kullanımın önündeki başlıca faktörler arasında yer almaktadır (Lam vd., 2025b). Ayrıca dijital uygulamaların klinik yararlarının uzun dönem hasta sonuçları üzerindeki etkisini ortaya koyan yüksek kaliteli kanıtların halen sınırlı olması, bu teknolojilerin klinik gereksinimler ve mevcut bilimsel kanıtlar doğrultusunda değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır (Lam vd., 2025a).

Dijital iş akışlarının doğruluğu, yalnızca kullanılan cihazın performansına değil, veri elde edilmesinden nihai klinik uygulamaya kadar gerçekleştirilen tüm aşamalara bağlıdır. KIBT görüntülerinin elde edilmesi, anatomik yapıların segmentasyonu, intraoral ve yüzey taramalarının gerçekleştirilmesi ve farklı veri setlerinin çakıştırılması sırasında ortaya çıkabilecek hatalar süreç boyunca birikerek oluşturulan üç boyutlu modelin doğruluğunu ve buna bağlı tedavi planlamasını etkileyebilmektedir. Bu nedenle dijital iş akışlarının değerlendirilmesinde yalnızca tek bir teknolojinin doğruluğundan ziyade tüm sürecin oluşturduğu toplam hata dikkate alınmalıdır (Shujaat vd., 2021).

Dijital teknolojilerin başarılı biçimde klinik uygulamaya aktarılması, uygun cihaz ve yazılımların temin edilmesinin ötesinde kapsamlı bir altyapı ve eğitim sürecini gerektirmektedir. Sağlık profesyonellerinin yeni sistemlerin kullanımı konusunda eğitilmesi, dijital verilerin mevcut yazılımlarla uyumlu biçimde yönetilebilmesi ve farklı cihazlar ile laboratuvarlar arasında kesintisiz veri aktarımının sağlanması klinik entegrasyonun önemli

bileşenleridir. Özellikle yoğun hasta hizmeti sunulan kurumlarda bu gereksinimler, dijital iş akışlarının uygulanmasını daha karmaşık hâle getirebilmektedir (Jahangiri vd., 2020).

Dijital teknolojilerin yaygınlaşması, hasta verilerinin güvenliği ve mahremiyetine ilişkin yeni gereksinimleri de beraberinde getirmektedir. Dijital radyografiler, üç boyutlu taramalar, klinik fotoğraflar ve diğer sağlık verilerinin elektronik ortamda saklanması ve paylaşılması sırasında yetkisiz erişimin önlenmesi, verilerin güvenli biçimde aktarılması ve hasta gizliliğinin korunması önem taşımaktadır. Özellikle telediş hekimliği ve bulut tabanlı sistemlerin kullanıldığı uygulamalarda hasta verilerinin farklı dijital platformlar arasında aktarılması, veri güvenliğine ilişkin risklerin dikkate alınmasını ve uygun koruyucu önlemlerin uygulanmasını gerekli kılmaktadır (Favaretto vd., 2020; Mariño & Zaror, 2024).

7. GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Periodontolojide dijital teknolojilerin kullanımının giderek artması beklenmektedir. Gelecekte farklı dijital sistemlerin ortak iş akışları içerisinde bütünleştirilmesi ön plana çıkabilir. KIBT, intraoral taramalar, elektronik sağlık kayıtları ve hasta takibinden elde edilen verilerin birlikte değerlendirilmesi, daha kapsamlı dijital hasta modellerinin oluşturulmasına katkı sağlayabilir. Bu gelişmeler, hastaya özgü tanı, tedavi planlaması ve takip yaklaşımlarının geliştirilmesini destekleyebilir. Bununla birlikte, dijital sistemlerin klinik kullanımının yaygınlaşması için veri uyumluluğunun ve standardizasyonun geliştirilmesi ve klinik etkinliklerinin uzun dönem çalışmalarla doğrulanması gerekmektedir (Lam vd., 2025a).

Mobil sağlık uygulamaları ve telediş hekimliğinin gelişmesiyle birlikte periodontal hastaların klinik ziyaretler arasındaki süreçte daha düzenli takip edilmesi mümkün olabilir. Uzaktan takip sistemleri, hasta eğitiminin ve ağız hijyeni davranışlarının desteklenmesine katkı sağlayabilir. Gelecekte bu uygulamaların klinik iş akışlarına daha fazla entegre edilmesi, periodontal bakımın sürekliliğini destekleyebilir (Toniazzo vd., 2019).

8.SONUÇ

Dijital teknolojiler, periodontolojide tanı ve değerlendirmeden tedavi planlamasına, cerrahi uygulamalardan hasta takibine kadar birçok alanda kullanılmaktadır. Bu teknolojiler, periodontal dokuların daha ayrıntılı değerlendirilmesine, tedavilerin daha planlı yürütülmesine ve hastaların takip süreçlerinin desteklenmesine katkı sağlamaktadır. Bununla birlikte, dijital yöntemlerin klinik muayenenin ve hekimin deneyiminin yerine geçmediği unutulmamalıdır. Mevcut sınırlılıkların azaltılması ve klinik kanıtların güçlenmesiyle birlikte dijital teknolojilerin periodontolojideki kullanımının gelecekte daha da yaygınlaşması beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- Acar, B., & Kamburoğlu, K. (2014). Use of cone beam computed tomography in periodontology. *World Journal of Radiology*, 6(5), 139-147. <https://doi.org/10.4329/wjr.v6.i5.139>
- Accuracy and Usefulness of CBCT in Periodontology: A Systematic Review of the Literature | Request PDF. (t.y.). *ResearchGate*. <https://doi.org/10.11607/prd.2751>
- Ahmed, S., Hawsah, A., Rustom, R., Alamri, A., Althomairy, S., Alenezi, M., Shaker, S., Alrawsaa, F., Althumairy, A., & Alteraigi, A. (2024). Digital Impressions Versus Conventional Impressions in Prosthodontics: A Systematic Review. *Cureus*, 16(1), e51537. <https://doi.org/10.7759/cureus.51537>
- Almeida, N. D., Carneiro, C. A., de Marco, A. C., Porto, V. C., & França, R. (2024). 3D Bioprinting Techniques and Bioinks for Periodontal Tissues Regeneration-A Literature Review. *Biomimetics*, 9(8), 480. <https://doi.org/10.3390/biomimetics9080480>
- Angelone, F., Ponsiglione, A. M., Ricciardi, C., Cesarelli, G., Sansone, M., & Amato, F. (2023). Diagnostic Applications of Intraoral Scanners: A Systematic Review. *Journal of Imaging*, 9(7), 134. <https://doi.org/10.3390/jimaging9070134>
- Borham, E., Abuel-Ela, H. A., Mohamed, I. S., & Fouad, Y. A. (2024). Treatment of excessive gingival display using conventional esthetic crown lengthening versus computer guided esthetic crown lengthening: (A randomized clinical trial). *BMC Oral Health*, 24(1), 317. <https://doi.org/10.1186/s12903-024-04080-5>
- Caron, T., Decup, F., Grosgeat, B., & Chacun, D. (2025a). The relevance of intraoral scanner (IOS) for periodontal diagnosis: A scoping review. *Journal of Dentistry*, 160, 105824. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2025.105824>

- Caron, T., Decup, F., Grosgeat, B., & Chacun, D. (2025b). The relevance of intraoral scanner (IOS) for periodontal diagnosis: A scoping review. *Journal of Dentistry*, 160, 105824. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2025.105824>
- Chow, D. Y., Tay, J. R. H., & Nascimento, G. G. (2024). Systematic Review of Prognosis Models in Predicting Tooth Loss in Periodontitis. *Journal of Dental Research*, 103(6), 596-604. <https://doi.org/10.1177/00220345241237448>
- Di Gianfilippo, R., Pini Prato, G., Franceschi, D., Castelluzzo, W., Barbato, L., Bandel, A., Di Martino, M., Pannuti, C. M., Chambrone, L., & Cairo, F. (2025). Diagnostic reproducibility of the 2018 Classification of Gingival Recessions: Comparing photographic and in-person diagnoses. *Journal of Periodontology*, 96(5), 467-477. <https://doi.org/10.1002/JPER.24-0173>
- Estai, M., Kanagasingam, Y., Tennant, M., & Bunt, S. (2018). A systematic review of the research evidence for the benefits of teledentistry. *Journal of Telemedicine and Telecare*, 24(3), 147-156. <https://doi.org/10.1177/1357633X16689433>
- Farina, R., Simonelli, A., Trombelli, L., Ettmayer, J. B., Schmid, J. L., & Ramseier, C. A. (2025). Emerging Applications of Digital Technologies for Periodontal Screening, Diagnosis and Prognosis in the Dental Setting. *Journal of Clinical Periodontology*, 52(S29), 211-245. <https://doi.org/10.1111/jcpe.14156>
- Favaretto, M., Shaw, D., De Clercq, E., Joda, T., & Elger, B. S. (2020). Big Data and Digitalization in Dentistry: A Systematic Review of the Ethical Issues. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(7), 2495. <https://doi.org/10.3390/ijerph17072495>
- Frąckiewicz, W., Jankowska, A., & Machoy, M. E. (2024). CBCT and modern intraoral scanners as tools for developing comprehensive, interdisciplinary treatment plans.

- Advances in Clinical and Experimental Medicine: Official Organ Wroclaw Medical University*, 33(11), 1267-1276. <https://doi.org/10.17219/acem/175817>
- Ginesin, O., Zigdon-Giladi, H., Gabay, E., Machtei, E. E., Mijiritsky, E., & Mayer, Y. (2022). Digital photometric analysis of gingival response to periodontal treatment. *Journal of Dentistry*, 127, 104331. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2022.104331>
- Jahangiri, L., Akiva, G., Lakhia, S., & Turkyilmaz, I. (2020). Understanding the complexities of digital dentistry integration in high-volume dental institutions. *British Dental Journal*, 229(3), 166-168. <https://doi.org/10.1038/s41415-020-1928-5>
- Joda, T., & Gallucci, G. O. (2015). The virtual patient in dental medicine. *Clinical Oral Implants Research*, 26(6), 725-726. <https://doi.org/10.1111/clr.12379>
- Kaasalainen, T., Ekholm, M., Siiskonen, T., & Kortensniemi, M. (2021). Dental cone beam CT: An updated review. *Physica Medica: PM: An International Journal Devoted to the Applications of Physics to Medicine and Biology: Official Journal of the Italian Association of Biomedical Physics*, 88, 193-217. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2021.07.007>
- Kuralt, M., Gašperšič, R., & Fidler, A. (2022). Methods and parameters for digital evaluation of gingival recession: A critical review. *Journal of Dentistry*, 118, 103793. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2021.103793>
- Lam, W. Y. H., Ling, Z., Mao, K., Park, J.-M., Zandinejad, A., Carreiro, A. da F. P., Mangano, F. G., Platt, J. A., & Schwendicke, F. (2025a). Digital Dentistry in Clinical Practice: A Scoping Review of Current Capabilities and Future Directions. *International Dental Journal*, 76(1), 109296. <https://doi.org/10.1016/j.identj.2025.109296>
- Lam, W. Y. H., Ling, Z., Mao, K., Park, J.-M., Zandinejad, A., Carreiro, A. da F. P., Mangano, F. G., Platt, J. A., & Schwendicke, F. (2025b). Digital Dentistry in Clinical Practice: A

- Scoping Review of Current Capabilities and Future Directions. *International Dental Journal*, 76(1), 109296. <https://doi.org/10.1016/j.identj.2025.109296>
- Li, Y., Liu, M., Zhou, T., Lyu, J., Tan, J., & Liu, X. (2024). Accuracy of three types of digital guides for crown lengthening surgery: An in vitro study. *Journal of Dental Sciences*, 19(1), 39-45. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2023.06.007>
- Liu, X., Yu, J., Zhou, J., & Tan, J. (2018a). A digitally guided dual technique for both gingival and bone resection during crown lengthening surgery. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 119(3), 345-349. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2017.04.018>
- Liu, X., Yu, J., Zhou, J., & Tan, J. (2018b). A digitally guided dual technique for both gingival and bone resection during crown lengthening surgery. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 119(3), 345-349. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2017.04.018>
- Mariño, R. J., & Zaror, C. (2024). Legal issues in digital oral health: A scoping review. *BMC Health Services Research*, 24, 6. <https://doi.org/10.1186/s12913-023-10476-w>
- Meereis, C. T. W., de Souza, G. B. F., Albino, L. G. B., Ogliari, F. A., Piva, E., & Lima, G. S. (2016). Digital Smile Design for Computer-assisted Esthetic Rehabilitation: Two-year Follow-up. *Operative Dentistry*, 41(1), E13-22. <https://doi.org/10.2341/14-350-S>
- Michelinakis, G., Apostolakis, D., Nikolidakis, D., & Blum, I. R. (2024). A comprehensive review and update on the current state of computer-assisted rehabilitation in implant dentistry. *Primary Dental Journal*, 13(1), 64-73. <https://doi.org/10.1177/20501684241231672>
- Morley, J., & Eubank, J. (2001). Macroesthetic elements of smile design. *Journal of the American Dental Association*, 132(1), 39-45. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2001.0023>

- Omar, D., & Duarte, C. (2018). The application of parameters for comprehensive smile esthetics by digital smile design programs: A review of literature. *The Saudi Dental Journal*, 30(1), 7-12. <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2017.09.001>
- Ong, J. M. D., Crasto, G. J., Anwar, E. J., Brooke, R., & Kang, P. (2022). A Standardized Approach to Extra-Oral and Intra-Oral Digital Photography. *Journal of Visualized Experiments: JoVE*, (185). <https://doi.org/10.3791/63627>
- Osborn, J. B., Stoltenberg, J. L., Huso, B. A., Aepli, D. M., & Pihlstrom, B. L. (1992). Comparison of measurement variability in subjects with moderate periodontitis using a conventional and constant force periodontal probe. *Journal of Periodontology*, 63(4), 283-289. <https://doi.org/10.1902/jop.1992.63.4.283>
- Palkovics, D., Mangano, F. G., Nagy, K., & Windisch, P. (2020). Digital three-dimensional visualization of intrabony periodontal defects for regenerative surgical treatment planning. *BMC Oral Health*, 20(1), 351. <https://doi.org/10.1186/s12903-020-01342-w>
- Pellegrino, G., Ferri, A., Del Fabbro, M., Prati, C., Gandolfi, M. G., & Marchetti, C. (2021). Dynamic Navigation in Implant Dentistry: A Systematic Review and Meta-analysis. *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 36(5), e121-e140. <https://doi.org/10.11607/jomi.8770>
- Pitchika, V., Büttner, M., & Schwendicke, F. (2024). Artificial intelligence and personalized diagnostics in periodontology: A narrative review. *Periodontology 2000*, 95(1), 220-231. <https://doi.org/10.1111/prd.12586>
- Purba, M. R., Putra, M. M., Sulijaya, B., Widaryono, A., Hartono, V., Setiadharm, Y., Rizany, A. K., Tadjoedin, F. M., & Lachica, M. R. C. T. (2024). Effect of mobile app-based oral hygiene instructions on clinical parameters, oral bacterial diversity, and composition of subgingival microbiota in periodontitis patients. *Journal of Oral Microbiology*, 16(1), 2372206. <https://doi.org/10.1080/20002297.2024.2372206>

- Ramseier, C. A. (2024). Diagnostic measures for monitoring and follow-up in periodontology and implant dentistry. *Periodontology* 2000, 95(1), 129-155. <https://doi.org/10.1111/prd.12588>
- Raveau, S., & Jordana, F. (2020). Tissue Engineering and Three-Dimensional Printing in Periodontal Regeneration: A Literature Review. *Journal of Clinical Medicine*, 9(12), 4008. <https://doi.org/10.3390/jcm9124008>
- Renaud, M., Gette, M., Delpierre, A., Calle, S., Levassort, F., Denis, F., & Rochefort, G. Y. (2024). Intraoral Ultrasonography for the Exploration of Periodontal Tissues: A Technological Leap for Oral Diagnosis. *Diagnostics*, 14(13), 1335. <https://doi.org/10.3390/diagnostics14131335>
- Santamaria, M. P., Rossato, A., Miguel, M. M. V., Mathias-Santamaria, I. F., Nunes, M. P., & Queiroz, L. A. (2025). Guided coronally advanced flap to treat gingival recession: Digital workflow and case report. *Clinical Advances in Periodontics*, 15(1), 7-13. <https://doi.org/10.1002/cap.10282>
- Santos, F. R., Kamarowski, S. F., Lopez, C. A. V., Storrer, C. L. M., Neto, A. T., & Deliberador, T. M. (2017). The use of the digital smile design concept as an auxiliary tool in periodontal plastic surgery. *Dental Research Journal*, 14(2), 158-161.
- Shomurodov, K., Mirkhusanova, R., Bekturodov, E., & Idiev, O. (2026). Intraoral Scanners for Three-Dimensional Assessment of Peri-Implant Soft Tissues: A Systematic Review of Clinical Studies. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 18(6), e833-e841. <https://doi.org/10.4317/jced.64074>
- Shujaat, S., Bornstein, M. M., Price, J. B., & Jacobs, R. (2021). Integration of imaging modalities in digital dental workflows—Possibilities, limitations, and potential future developments. *Dentomaxillofacial Radiology*, 50(7), 20210268. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20210268>

- Steinmeier, S., Wiedemeier, D., Hämmerle, C. H. F., & Mühlemann, S. (2020). Accuracy of remote diagnoses using intraoral scans captured in approximate true color: A pilot and validation study in teledentistry. *BMC Oral Health*, 20(1), 266. <https://doi.org/10.1186/s12903-020-01255-8>
- Stødle, I. H., Imber, J.-C., Shanbhag, S. V., Salvi, G. E., Verket, A., & Stähli, A. (2025a). Methods for Clinical Assessment in Periodontal Diagnostics: A Systematic Review. *Journal of Clinical Periodontology*, 52 Suppl 29, 58-73. <https://doi.org/10.1111/jcpe.14145>
- Stødle, I. H., Imber, J.-C., Shanbhag, S. V., Salvi, G. E., Verket, A., & Stähli, A. (2025b). Methods for Clinical Assessment in Periodontal Diagnostics: A Systematic Review. *Journal of Clinical Periodontology*, 52 Suppl 29, 58-73. <https://doi.org/10.1111/jcpe.14145>
- Tahmaseb, A., Wu, V., Wismeijer, D., Coucke, W., & Evans, C. (2018). The accuracy of static computer-aided implant surgery: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Oral Implants Research*, 29 Suppl 16, 416-435. <https://doi.org/10.1111/clr.13346>
- Toniazzo, M. P., Nodari, D., Muniz, F. W. M. G., & Weidlich, P. (2019). Effect of mHealth in improving oral hygiene: A systematic review with meta-analysis. *Journal of Clinical Periodontology*, 46(3), 297-309. <https://doi.org/10.1111/jcpe.13083>
- Vallejos-Juárez, I., Fons-Font, A., Agustín-Panadero, R., González-Angulo, E., Alonso-Pérez-Barquero, J., & Fons-Badal, C. (2024). Digital quantification of soft tissue volumetric changes after scaling and root planning. *Medicina Oral, Patología Oral y Cirugía Bucal*, 29(6), e815-e821. <https://doi.org/10.4317/medoral.26766>
- Walter, C., Schmidt, J. C., Rinne, C. A., Mendes, S., Dula, K., & Sculean, A. (2020). Cone beam computed tomography (CBCT) for diagnosis and treatment planning in periodontology:

Systematic review update. *Clinical Oral Investigations*, 24(9), 2943-2958.

<https://doi.org/10.1007/s00784-020-03326-0>

Wei, S.-M., Zhu, Y., Wei, J.-X., Zhang, C.-N., Shi, J.-Y., & Lai, H.-C. (2021). Accuracy of dynamic navigation in implant surgery: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Oral Implants Research*, 32(4), 383-393. <https://doi.org/10.1111/clr.13719>

Wismeijer, D., Joda, T., Flügge, T., Fokas, G., Tahmaseb, A., Bechelli, D., Böhner, L., Bornstein, M., Burgoyne, A., Caram, S., Carmichael, R., Chen, C.-Y., Coucke, W., Derksen, W., Donos, N., El Kholy, K., Evans, C., Fehmer, V., Fickl, S., ... Wu, V. (2018). Group 5 ITI Consensus Report: Digital technologies. *Clinical Oral Implants Research*, 29 Suppl 16, 436-442. <https://doi.org/10.1111/clr.13309>

Yadav, J., Tanwar, N., Sharma, R. K., & Sangwan, A. (2025). Mobile Health to Improve Efficacy of Interdental Brushing Among Periodontitis Patients: A Randomized Clinical Trial. *Journal of Periodontal Research*, 60(6), 559-569. <https://doi.org/10.1111/jre.13362>

BÖLÜM 11

PERİ-İMLANTİTİS: TANIDAN TEDAVİYE GÜNCEL YAKLAŞIMLAR

Venhar AYTEKELİ¹

¹ Araştırma Görevlisi, Erciyes Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Periodontoloji Abd. ORCID: 0009-0002-7942-4203

1.GİRİŞ

Dental implantlar, kısmi veya tam dişsizlik durumlarının fonksiyonel ve estetik rehabilitasyonunda yaygın olarak kullanılan tedavi seçeneklerinden biridir. Bununla birlikte, implant tedavisinin uzun dönem başarısı yalnızca osseointegrasyonun sağlanmasına değil, implant çevresindeki yumuşak ve sert dokuların sağlığının korunmasına da bağlıdır. Peri-implant dokularda gelişen biyofilm ilişkili inflamatuvar hastalıklar, zaman içerisinde doku bütünlüğünü bozarak implantın uzun dönem prognozunu olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle peri-implant hastalıkların doğru tanımlanması, erken dönemde saptanması ve kanıta dayalı yaklaşımlarla yönetilmesi klinik açıdan önem taşımaktadır (Berglundh vd., 2018; Schwarz vd., 2018).

2017 World Workshop kapsamında peri-implant sağlık, peri-implant mukozitis ve peri-implantitis ayrı klinik durumlar olarak tanımlanmıştır. Bu sınıflandırmaya göre peri-implant mukozitis, peri-implant mukozada inflamasyon bulunmasına karşın destekleyici kemikte ilerleyici kaybın olmadığı bir durumdur. Peri-implantitis ise implant çevresindeki mukozal inflamasyona destekleyici peri-implant kemikte ilerleyici kaybın eşlik etmesiyle karakterizedir. Klinik olarak sondlamada kanama ve/veya süpürasyon, sondlama derinliğinde artış ve/veya mukozal marjinde çekilme görülebilir; radyografik kemik kaybının değerlendirilmesi tanısal yaklaşımın temel bileşenlerinden biridir (Berglundh vd., 2018).

Peri-implantitisin gelişimi ve ilerlemesi, dental biyofilm ile konak yanıtının etkileşimi çerçevesinde değerlendirilmelidir. Bununla birlikte hastalığın klinik seyri yalnızca biyofilm varlığıyla açıklanamaz; hastaya ve implant bölgesine özgü faktörler de hastalığın ortaya çıkışını ve ilerlemesini etkileyebilir. Ayrıca implantlar arasında tasarım, yüzey özellikleri, cerrahi uygulama ve protetik rehabilitasyon bakımından farklılıklar bulunması, peri-implant dokuların klinik değerlendirilmesinde standart bir yaklaşımın önemini artırmaktadır. Bu bağlamda, başlangıç klinik sondlama ölçümlerinin ve radyografik kemik seviyesinin kaydedilmesi, sonraki takiplerde ortaya çıkan değişikliklerin yorumlanmasını kolaylaştırır (Berglundh vd., 2018; Schwarz vd., 2018).

Peri-implant hastalıkların önlenmesi ve tedavisi, yalnızca hastalık ortaya çıktıktan sonra müdahale edilmesine dayanmamalıdır. Avrupa Periodontoloji Federasyonu tarafından yayımlanan S3 düzeyindeki klinik uygulama kılavuzu, koruyucu yaklaşımın implant tedavisinin planlanması aşamasında başlamasını; cerrahi yerleştirme, protetik yükleme ve uzun

dönem takip boyunca sürdürülmesini önermektedir. İmplant fonksiyona girdikten sonra düzenli destekleyici peri-implant bakımın uygulanması ve peri-implant dokuların belirli aralıklarla değerlendirilmesi, hastalıkların önlenmesi ve gelişen lezyonların uygun şekilde yönetilmesi açısından önemlidir. Peri-implantitis saptandığında ise tedavi yaklaşımı mevcut klinik bulgular ve hastalığın özellikleri dikkate alınarak belirlenmelidir (Herrera vd., 2023).

Bu bölümde peri-implantitisin tanımı ve sınıflandırılması, etiyopatogenezi ve risk faktörleri, klinik ve radyografik tanı kriterleri ile peri-implant kemik defektlerinin morfolojisi ele alınacaktır. Ayrıca güncel bilimsel kanıtlar doğrultusunda cerrahi olmayan ve cerrahi tedavi yaklaşımları, implant yüzeyinin dekontaminasyonu ve uzun dönem destekleyici bakımın hastalığın yönetimindeki yeri değerlendirilecektir.

2. PERİ-İMLANT HASTALIKLARIN TANIMI VE SINIFLANDIRILMASI

Peri-implant hastalıklar, dental implant çevresindeki dokularda gelişen biyofilm ilişkili inflamatuvar durumları kapsar. 2017 World Workshop kapsamında peri-implant sağlık, peri-implant mukozitis ve peri-implantitis birbirinden ayrılmıştır. Bu sınıflandırma, klinik bulguların standart biçimde değerlendirilmesi ve hastalıkların doğru tanımlanması açısından temel bir çerçeve sunmaktadır (Berglundh vd., 2018; Herrera vd., 2023).

2.1. Peri-implant sağlık

Peri-implant sağlık, implant çevresindeki mukozada klinik inflamasyon bulgularının bulunmaması ile karakterizedir. Sağlıklı peri-implant dokularda sondlamada kanama ve süpürasyon beklenmez. Bununla birlikte, peri-implant sağlık için tüm implantlarda geçerli tek bir sondlama derinliği aralığı tanımlanamaz; implantın konumu, yumuşak doku özellikleri ve önceki kemik değişiklikleri değerlendirmeyi etkileyebilir. Bu nedenle klinik muayene bulgularının, mümkün olduğunda başlangıç sondlama ölçümleri ve radyografik kayıtlarla birlikte değerlendirilmesi gerekir (Berglundh vd., 2018; Herrera vd., 2023).

2.2. Peri-implant mukozitis

Peri-implant mukozitis, implant çevresindeki mukozada inflamasyon bulunmasına karşın devam eden marjinal kemik kaybının görülmediği biyofilm ilişkili bir lezyondur. En önemli klinik bulgu, hafif sondlama sonrasında ortaya çıkan sondlamada kanamadır. Eritem, şişlik, süpürasyon ve inflamasyona bağlı sondlama derinliği artışı da görülebilir. Bununla birlikte, tek

başına sondlama derinliğindeki artış kemik yıkımını göstermez; ödem ve dokunun sondlamaya karşı direncindeki değişiklikler de bu bulguya neden olabilir (Heitz-Mayfield & Salvi, 2018; Herrera vd., 2023).

Peri-implant mukozitisin temel etiyolojik faktörü, implant ve implant üstü restorasyon yüzeylerinde biriken mikrobiyal biyofilmdir. Biyofilm birikimi, implant-mukoza ara yüzündeki konak-mikrobiyal dengenin bozulmasına ve inflamatuvar hücrelerin peri-implant bağ dokusunda birikmesine yol açar. Histolojik olarak inflamatuvar infiltrat, birleşim epiteli veya cep epiteli komşuluğundaki bağ dokusunda yer alır. Deneysel çalışmalar, biyofilm kontrolü yeniden sağlandığında lezyonun biyolojik düzeyde geri döndürülebileceğini göstermektedir; ancak klinik inflamasyon bulgularının tamamen gerilemesi daha uzun sürebilir (Heitz-Mayfield & Salvi, 2018; Kormas vd., 2020).

2.3. Peri-implantitis

Peri-implantitis, implant çevresindeki mukozal inflamasyona destekleyici peri-implant kemikte ilerleyici kaybın eşlik ettiği biyofilm ilişkili patolojik bir durumdur. Klinik bulgular arasında sondlamada kanama ve/veya süpürasyon, sondlama derinliğinde artış ve/veya mukozal marjinin apikal yönde yer değiştirmesi bulunabilir. Tanının önemli bileşenlerinden biri, radyografik kemik seviyesindeki değişimin değerlendirilmesidir. Bu nedenle yalnızca kanama veya artmış sondlama derinliğine dayanarak peri-implantitis tanısı koymak uygun değildir (Berglundh vd., 2018; Kormas vd., 2020).

Peri-implantitis tanısında başlangıç klinik ve radyografik kayıtlar, fizyolojik başlangıç kemik remodelingi ile daha sonra gelişen patolojik kemik kaybını ayırt etmeye yardımcı olur. Önceki kayıtlar mevcut değilse, sondlamada kanama ve/veya süpürasyon, artmış sondlama derinliği ve radyografik kemik kaybı birlikte değerlendirilmelidir. Hastalığın ilerleme potansiyeli nedeniyle erken tanı ve uygun tedavi planlaması, implant çevresindeki destekleyici dokuların korunması açısından önemlidir (Berglundh vd., 2018; Herrera vd., 2023).

3. ETİYOLOJİ VE RİSK FAKTÖRLERİ

Peri-implantitis, biyofilmle ilişkili; konak yanıtı, sistemik durum, davranışsal özellikler ve lokal anatomik koşullardan etkilenen multifaktöriyel bir hastalıktır (Berglundh vd., 2024; Dreyer vd., 2018).

Başlıca risk faktörleri:

- **Periodontitis öyküsü:** Periodontitis öyküsü bulunan bireylerde peri-implantitis insidansı daha yüksek bildirilmiştir; ancak kanıt kesinliği sınırlıdır (Dreyer vd., 2018; Serroni vd., 2024).
- **Sigara kullanımı:** Peri-implantitis ile ilişkili önemli risk faktörlerinden biridir (Dreyer vd., 2018; Galarraga-Vinueza vd., 2025).
- **Sistemik faktörler:** Diabetes mellitus ve hiperglisemi hastalıkla ilişkilendirilmiştir; ancak bu faktörlere ilişkin kanıtların gücü farklılık göstermektedir (Giok vd., 2024; Galarraga-Vinueza vd., 2025).
- **Biyofilm kontrolü ve destekleyici bakım:** Yetersiz plak kontrolü ve düzenli destekleyici bakımın sağlanamaması, hastalık riskinin yönetimini güçleştirir (Dreyer vd., 2018; Kumar vd., 2025).
- **Lokal ve protetik faktörler:** İmplantın konumu, protetik restorasyonun özellikleri ve peri-implant yumuşak dokular biyofilm kontrolünü etkileyebilir. Keratinize mukoza genişliği gibi faktörlere ilişkin kanıtlar ise periodontitis öyküsü ve sigara kullanımına ilişkin kanıtlarla aynı düzeyde değildir (Dreyer vd., 2018; Giok vd., 2024; Kumar vd., 2025).

Bu doğrultuda risk yönetiminin temelini periodontal hastalığın kontrolü, etkili biyofilm kontrolü ve düzenli destekleyici peri-implant bakım oluşturur (Berglundh vd., 2024; Galarraga-Vinueza vd., 2025; Kumar vd., 2025).

4. PERİ-İMLANTİTİS PATOGENEZİ

Peri-implantitis, biyofilm ile konak bağışıklık yanıtı arasındaki etkileşim sonucunda gelişen inflamasyon ve ilerleyici kemik yıkımıyla karakterizedir. Süregelen inflamatuvar yanıt, nötrofiller, makrofajlar ve plazma hücrelerinin birikmesine ve lezyonun bağ dokusu boyunca yayılmasına katkıda bulunur (Berglundh vd., 2018, 2024; Elemek vd., 2017).

İmplant çevresinde periodontal ligamentin bulunmaması ve bağ dokusu liflerinin implant yüzeyine farklı yönelimde uzanması, inflamasyonun yayılımını etkileyen anatomik özelliklerdir. Histopatolojik incelemelerde peri-implantitis lezyonlarının geniş inflamatuvar alanlar oluşturabildiği ve kemik kretine yakın uzanabildiği gösterilmiştir (Elemek vd., 2017; Berglundh vd., 2018; Berglundh vd., 2024).

İnflamasyonun sürmesi, osteoklast aracılı kemik rezorpsiyonuna katkıda bulunabilir. Hastalığın ilerleme hızı bireyler arasında değişir ve kemik kaybı doğrusal olmayan bir seyir gösterebilir. Bu nedenle peri-implantitis, biyofilm, konak yanıtı ve anatomik özelliklerin birlikte rol oynadığı dinamik bir patolojik süreçtir (Berglundh vd., 2018; Berglundh vd., 2024).

5. PERİ-İMLANTİTİSİN KLİNİK VE RADYOGRAFİK TANISI

Peri-implantitisin tanısı, klinik muayene ve radyografik değerlendirmenin birlikte yapılmasına dayanır. Klinik incelemede peri-implant mukozanın inflamasyon bulguları, sondalama derinliği ve sondalamada kanama değerlendirilirken radyografik inceleme ile implant çevresindeki marjinal kemik seviyesi incelenir. Tanı sırasında mevcut bulguların önceki klinik ve radyografik kayıtlarla karşılaştırılması, hastalığın ilerleyici niteliğinin belirlenmesi açısından önemlidir (Berglundh vd., 2018; Renvert vd., 2018).

5.1. Klinik Muayene ve Göstergeler

Peri-implant dokuların klinik değerlendirmesinde aşağıdaki parametreler incelenir:

Sondalama derinliği (PD):

- İmplant çevresinde periodontal sond kullanılarak ölçülür.
- Ölçümlerin implant çevresinde altı noktadan yapılması, mümkün olduğunda başlangıç kayıtlarıyla karşılaştırılması önerilir.
- Sondalama derinliğindeki artış, inflamasyona bağlı doku değişikliklerinden veya destekleyici kemik kaybından kaynaklanabilir. Bu nedenle tek başına peri-implantitis tanısı koydurmaz.

Sondalamada kanama (BOP):

- Peri-implant mukozadaki inflamasyonun değerlendirilmesinde kullanılan temel klinik göstergelerden biridir.
- Hafif sondalama sonrasında kanama görülmesi inflamasyonu düşündürür.
- Kanamanın bulunması tek başına peri-implantitis tanısı için yeterli değildir; kemik seviyesi ve diğer klinik bulgularla birlikte değerlendirilmelidir.

Süpürasyon (SOP):

- Sondalama sırasında veya peri-implant mukozaya hafif basınç uygulandığında püy çıkışı görülmesidir.
- Aktif inflamatuvar durumla ilişkili bir bulgudur ve diğer klinik parametrelerle birlikte değerlendirilir.

Klinik ölçümlerin tekrarlanabilir olması için sondalama sırasında hafif ve kontrollü kuvvet uygulanmalı, ölçümler mümkün olduğunca aynı noktalardan yapılmalı ve bulgular düzenli olarak kaydedilmelidir (Herrera vd., 2023; Monje & Salvi, 2024).

5.2. Radyografik Değerlendirme

Radyografik incelemenin temel amacı, implant çevresindeki marjinal kemik seviyesini belirlemek ve zaman içerisinde meydana gelen kemik kaybını değerlendirmektir.

Periapikal radyografi:

- Marjinal kemik seviyesinin değerlendirilmesinde ve takip görüntülerinin karşılaştırılmasında tercih edilen yöntemdir.
- Standardize edilmiş görüntüler, zaman içerisindeki kemik seviyesi değişikliklerinin daha güvenilir biçimde değerlendirilmesini sağlar.

Panoramik radyografi:

- Genel implant ve çene kemiği değerlendirmesinde kullanılabilir.
- Görüntü büyütmesi ve geometrik distorsiyon nedeniyle küçük kemik seviyesi değişikliklerinin hassas ölçümünde sınırlılıkları vardır.

Konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (CBCT/KIBT):

- Seçilmiş olgularda kemik defektinin üç boyutlu morfolojisini değerlendirmek amacıyla kullanılabilir.
- Metal kaynaklı artefaktlar görüntü kalitesini etkileyebilir.
- Rutin peri-implantitis tanısında her olgu için gerekli değildir; kullanım kararı klinik gerekliliklere göre verilmelidir.

Radyografik değerlendirmede mümkün olduğunda başlangıç görüntüleri esas alınmalı ve mevcut kemik seviyesi önceki kayıtlarla karşılaştırılmalıdır. Böylece başlangıçtaki fizyolojik kemik remodelasyonu ile ilerleyici patolojik kemik kaybının birbirinden ayrılması kolaylaşır (Berglundh vd., 2018; Herrera vd., 2023; Monje & Salvi, 2024).

5.3. Peri-implant Sağlık, Mukozitis ve Peri-implantitisin Ayırıcı Tanısı

- **Peri-implant sağlık:** Klinik inflamasyon bulguları yoktur; sondalamada kanama veya süpürasyon görülmez ve patolojik kemik kaybı saptanmaz.
- **Peri-implant mukozitis:** Sondalamada kanama ve/veya diğer inflamasyon bulguları görülebilir; ancak başlangıç remodelasyonunun ötesinde ilerleyici kemik kaybı bulunmaz.
- **Peri-implantitis:** Klinik inflamasyon bulgularına, başlangıç kemik remodelasyonunun ötesinde destekleyici kemik kaybı eşlik eder. Sondalama derinliğinde artış da tanıyı destekler.

Bu ayırmada en önemli nokta, sondalamada kanama ve sondalama derinliği artışının tek başına peri-implantitisi göstermemesidir. Tanı, inflamasyonun kemik kaybıyla birlikte değerlendirilmesiyle konulur (Berglundh vd., 2018; Renvert vd., 2018).

6. PERİ-İMLANTİTİSTE KEMİK DEFECT MORFOLOJİSİ VE MONJE SINIFLAMASI

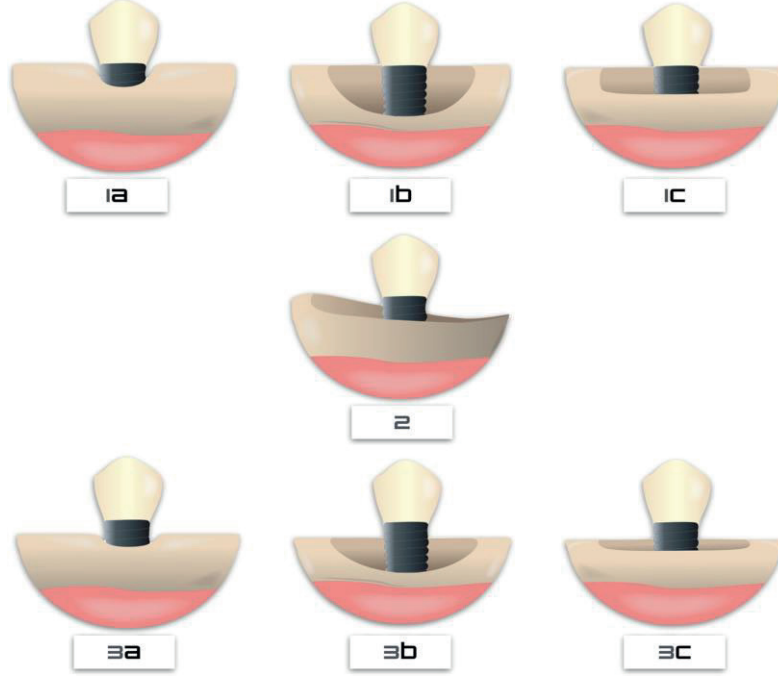
Peri-implantitis tedavisinin planlanmasında kemik defektinin morfolojik özelliklerinin ve kemik kaybının şiddetinin belirlenmesi önemlidir. Monje ve arkadaşları (2019), peri-implantitisle ilişkili kemik defektlerini defektin anatomik konfigürasyonuna ve dikey kemik kaybının şiddetine göre sınıflandırmıştır.

6.1. Kemik defektlerinin morfolojik sınıflandırılması

Monje sınıflamasında kemik defektleri üç temel morfolojik grupta değerlendirilir:

- **Sınıf I – İntraosseöz defektler:** Kemik kaybının implant çevresinde ağırlıklı olarak dikey yönde ilerlediği ve defektin kemik içerisinde uzandığı gruptur. Kalan kemik duvarlarının yapısına göre alt tiplere ayrılır.

- **Sınıf II – Supraosseöz defektler:** Kemik kaybının ağırlıklı olarak yatay yönde gerçekleştiği ve defekt tabanının çevredeki kemik seviyesine göre daha koronal konumlandığı gruptur.
- **Sınıf III – Kombine defektler:** İntraosseöz ve supraosseöz kemik kaybı bileşenlerinin birlikte bulunduğu defektlerdir.



Şekil 1: Peri-implantitis Defektlerinin Morfolojiye Göre Sınıflandırması(Monje vd., 2019)

İntraosseöz ve kombine defektlerde kemik duvarlarının sayısı ve defektin implant çevresindeki dağılımı, morfolojik alt tipin belirlenmesinde dikkate alınır. Bu nedenle yalnızca kemik kaybının derinliğini ölçmek yeterli değildir; defektin çevresel konfigürasyonunun da değerlendirilmesi gerekir (Monje vd., 2019).

6.2. Kemik kaybının şiddeti

Monje sınıflamasında dikey kemik kaybının şiddeti, implant uzunluğuna oranlanarak üç grupta değerlendirilir:

- **Hafif (Slight):** İmplant uzunluğunun %25'inden azı.
- **Orta (Moderate):** İmplant uzunluğunun %25–50'si.
- **İleri (Advanced):** İmplant uzunluğunun %50'sinden fazlası.

Morfolojik tip ile şiddet sınıflamasının birlikte kullanılması, defektin hem anatomik yapısının hem de kemik kaybının boyutunun ifade edilmesini sağlar. Bununla birlikte, şiddet sınıflaması tek başına cerrahi tedavi seçimini belirlemez; kalan kemik duvarları ve defektin rekonstrüksiyona uygunluğu da değerlendirilmelidir (Monje vd., 2019).

7. PERİ-İMLANTİTİSİN TEDAVİSİ

Peri-implantitis tedavisinin amacı, inflamasyonu kontrol altına almak, kemik kaybının ilerlemesini durdurmak ve implantın fonksiyonunu sürdürmektir. Tedavi başarısı; klinik inflamasyon bulguları, kemik stabilitesi, hastanın plak kontrolü ve uzun dönem takibi birlikte değerlendirilerek belirlenmelidir. Tedavi planında hastalığın şiddeti, defekt morfolojisi, implant ve protetik özellikler ile sistemik ve davranışsal risk faktörleri dikkate alınmalıdır (Herrera vd., 2023; Monje vd., 2024).

Tedavi; biyofilm kontrolü ve risk faktörlerinin yönetimiyle başlar, klinik yeniden değerlendirme sonrasında gerekli durumlarda cerrahi veya rekonstrüktif yaklaşımlarla sürdürülür. Tedavi sonrası hastalığın tekrarlama veya ilerleme riskini azaltmak için kişiye özgü destekleyici peri-implant bakım devam ettirilmelidir (Herrera vd., 2023; Stiesch vd., 2023).

7.1. Tedavi Planlaması ve Başlangıç Tedavisi

Tedavi planlamasında implantın tedavi edilebilirliği; kemik kaybının yaygınlığı ve defekt morfolojisi, inflamasyonun şiddeti, implant stabilitesi, restorasyonun temizlenebilirliği ve hastanın ağız hijyeni alışkanlıkları birlikte değerlendirilerek belirlenmelidir. İleri destek kaybı, kontrol edilemeyen inflamasyon veya sürdürülebilir bakımın sağlanamaması durumlarında implantın prognozu ayrıca ele alınmalıdır (Herrera vd., 2023; Monje vd., 2024).

Başlangıç tedavisi; biyofilm kontrolü, ağız hijyeni eğitimi, değiştirilebilir risk faktörlerinin yönetimi ve profesyonel birikim uzaklaştırılmasını kapsar. Eşlik eden periodontitis kontrol altına alınmalı ve hastanın restorasyona uygun hijyen araçlarıyla günlük bakımını sürdürebilmesi sağlanmalıdır (Herrera vd., 2023).

Protetik restorasyonun temizliği veya tedaviye erişimi güçleştirdiği durumlarda kontur ve konum değerlendirilerek gerekli düzeltmeler ya da restorasyonun geçici olarak çıkarılması düşünülebilir. Restorasyonun temizlenebilirliği, tedavi sonrası etkili plak kontrolü ve uzun dönem stabilite açısından önemlidir (Herrera vd., 2023; Wang vd., 2025).

7.2. Cerrahi Olmayan Tedavi

Cerrahi olmayan tedavi, peri-implantitis yönetiminin ilk basamağını oluşturur. Bu aşamadaki temel hedef; supra ve submukozal biyofilm birikimini azaltmak, mineralize birikimleri uzaklaştırmak, inflamasyonu kontrol etmek ve cerrahi tedavi gereksinimini yeniden değerlendirebilecek klinik koşulları sağlamaktır. Cerrahi olmayan tedavi, özellikle başlangıç tedavisi olarak önemlidir; ancak peri-implantitisin kemik kaybıyla karakterize olması nedeniyle tek başına her hastada hastalığın kontrolünü sağlayamayabilir. Bu nedenle tedavi sonrasında klinik yanıtın sistematik biçimde değerlendirilmesi gerekir (Cosgarea vd., 2023; Herrera vd., 2023).

7.2.1. Submukozal enstrümantasyon

Submukozal enstrümantasyon, implant çevresindeki biyofilm ve birikimlerin mekanik olarak uzaklaştırılmasını amaçlar. Uygun el aletleri ile sonik veya ultrasonik cihazlar kullanılabilir; alet seçimi ve uygulama, implant yüzeyine zarar vermeden yeterli temizliği sağlayacak şekilde yapılmalıdır. Ancak yüzey özellikleri, implantın konumu ve defekt anatomisi nedeniyle mekanik temizlik, tam dekontaminasyonu her zaman sağlayamayabilir (Cosgarea vd., 2023; Herrera vd., 2023).

Temizliğin etkinliği, kullanılan aletin yanı sıra erişilebilen yüzey alanına ve çevre dokuların anatomisine bağlıdır. Yeterli klinik yanıt alınamayan, cep derinliği ve inflamasyonun devam ettiği durumlarda cerrahi erişim değerlendirilebilir. Cerrahi olmayan tedavinin amacı, mümkün olduğunda daha az invaziv biçimde inflamasyonu kontrol etmek ve sonraki tedavi basamağına karar vermektir (Cosgarea vd., 2023; Herrera vd., 2023).

7.2.2. Yardımcı fiziksel ve kimyasal uygulamalar

İmplant yüzeyi dekontaminasyonunda hava tozlu sistemler, lazerler, fotodinamik tedavi ve kimyasal ajanlar gibi yardımcı yöntemler değerlendirilmiştir. Ancak biyofilm üzerindeki etkileri, klinik sonuçları iyileştirdiklerini tek başına kanıtlamaz; cep derinliği, kanama ve uzun dönem stabilite üzerindeki yararları ayrıca değerlendirilmelidir (Cosgarea vd., 2023; Herrera vd., 2023).

EFP S3 kılavuzu, cerrahi olmayan tedavide mekanik enstrümantasyon ve biyofilm kontrolünü temel yaklaşım olarak benimser. Lazer, hava tozlu sistemler, fotodinamik tedavi, lokal

antimikrobiyaller ve probiyotiklerin rutin kullanımını destekleyen yeterli kanıt bulunmadığından, bu yöntemler standart tedavinin yerine geçmemelidir. Sistemik antimikrobiyallerin de rutin ek kullanımı önerilmemektedir. Bu durum, yöntemlerin tamamen etkisiz olduğunu değil, rutin kullanımlarını destekleyen kanıtların yetersiz olduğunu gösterir (Herrera vd., 2023).

7.2.3. Cerrahi olmayan tedavi sonrası yeniden değerlendirme

Cerrahi olmayan tedavinin ardından klinik yanıtın yeniden değerlendirilmesi, tedavi basamaklarının belirlenmesinde kritik öneme sahiptir. Değerlendirmede sondlama derinliği, sondlamada kanama, süpürasyon, yumuşak doku bulguları ve başlangıç radyografileriyle karşılaştırıldığında kemik seviyesindeki değişim dikkate alınmalıdır. Hastanın plak kontrolü ve restorasyonun temizlenebilirliği de klinik ölçümlerle birlikte değerlendirilmelidir. Yeniden değerlendirme, yalnızca başlangıç değerleriyle son değerleri karşılaştırmak için değil, inflamasyonun devam edip etmediğini ve cerrahi tedavi gereksinimini belirlemek için yapılır (Herrera vd., 2023).

EFP kılavuzunda cerrahi olmayan tedavi sonrasında hedeflenen klinik sonuçlar, sondlama derinliğinin 5 mm veya altında olması ve en fazla bir bölgede sondlamada kanama bulunması şeklinde tanımlanmıştır. Bu hedeflere ulaşılamayan, özellikle derin ceplerin kanama veya süpürasyonla birlikte devam ettiği bölgelerde cerrahi tedavi değerlendirilmelidir. Bununla birlikte karar yalnızca tek bir ölçüme dayandırılmamalı; defektin morfolojisi, implantın prognozu, hastanın bakım yeterliliği ve tedavi hedefleri birlikte ele alınmalıdır (Herrera vd., 2023).

7.3. Cerrahi Tedavi

Cerrahi tedavi, implant yüzeyine doğrudan erişim sağlayarak inflamatuvar dokuların uzaklaştırılmasını ve yüzey temizliğini kolaylaştırır. Cerrahi olmayan tedaviye rağmen derin sondlama cepleri, kanama veya süpürasyon devam ediyorsa değerlendirilebilir. Ancak yeterli ağız hijyeni sağlanması, cerrahi tedavinin uzun dönem başarısı için temel bir koşuldur (Herrera vd., 2023).

Cerrahinin temel aşamaları; flebin kaldırılması, granülasyon dokusunun uzaklaştırılması, implant yüzeyinin temizlenmesi ve defektin özelliklerine uygun tedavinin uygulanmasıdır.

Amaç, çevre dokulara gereksiz zarar vermeden inflamasyonu kontrol altına almak ve uzun dönem bakımın sürdürülebilirliğini sağlamaktır (Herrera vd., 2023; Ramanauskaite vd., 2023).

7.3.1. Erişim Flebi Cerrahisi

Erişim flebi cerrahisi, implant yüzeyine doğrudan ulaşarak inflamatuvar dokuların uzaklaştırılmasını ve yüzey temizliğini kolaylaştırır. Cerrahi olmayan tedaviye rağmen inflamasyonun devam ettiği veya implant yüzeyine yeterli erişimin sağlanamadığı durumlarda değerlendirilebilir (Herrera vd., 2023; Ramanauskaite vd., 2023).

Flebin kaldırılması tek başına hastalık kontrolünü garanti etmez. Başarı; inflamasyonun azalması, sondlama derinliğinin kontrolü, kemik seviyesinin stabilitesi ve hastanın etkili ağız hijyeni sağlayabilmesiyle değerlendirilmelidir. Bu nedenle cerrahi planlamada iyileşme sonrası implant çevresinin temizlenebilirliği de dikkate alınmalıdır (Herrera vd., 2023; Stiesch vd., 2023).

7.3.2. İmplant Yüzeyinin Dekontaminasyonu

İmplant yüzeyinin dekontaminasyonu, cerrahi peri-implantitis tedavisinde biyofilmin ve birikimlerin uzaklaştırılarak inflamasyonun kontrolüne katkı sağlamasını amaçlar. Ancak implantın makro- ve mikro-topografisi, yüzeyin erişilebilirliği ve kemik defektinin morfolojisi tam temizliği güçleştirebilir. Bu nedenle dekontaminasyonda yüzeye erişim, etkili mekanik temizlik ve çevre dokuların korunması temel ilkelerdir (Baima vd., 2022; Ramanauskaite vd., 2023).

7.3.2.1. Mekanik dekontaminasyon

Mekanik dekontaminasyon, implant yüzeyindeki biyofilm ve birikimlerin uygun aletlerle uzaklaştırılmasını amaçlar. Alet seçiminde implant yüzeyine zarar verme riski, yüzeyin erişilebilirliği ve defekt anatomisi dikkate alınmalıdır. Bununla birlikte, tüm implant yüzeyleri ve defekt tipleri için üstünlüğü kanıtlanmış tek bir yöntem bulunmamaktadır (Baima vd., 2022; Ramanauskaite vd., 2023).

Titanyum fırçalar, cerrahi koşullarda yüzey temizliğini destekleyebilir; ancak kullanımları olası yüzey etkileri ve klinik yararları göz önünde bulundurularak planlanmalıdır. Yöntem seçiminde

yalnızca yüzey temizliği değil, tedavi sonrası inflamasyon kontrolü ve klinik parametrelerdeki değişim de değerlendirilmelidir (Herrera vd., 2023; Ramanauskaite vd., 2023).

7.3.2.2. Kimyasal dekontaminasyon

Kimyasal dekontaminasyon, implant yüzeyindeki biyofilm ve kontaminasyonu azaltmak amacıyla çeşitli ajanların kullanılmasını içerir. Ancak antimikrobiyal etkinlik, tek başına daha iyi klinik sonuçları kanıtlamaz; ajanların implant yüzeyi ve çevre dokularla etkileşimi ile olası istenmeyen etkileri de dikkate alınmalıdır (Wilensky vd., 2023).

Farklı protokoller incelenmiş olsa da üstünlüğü kesin olarak gösterilmiş tek bir standart yöntem bulunmamaktadır. Bu nedenle kimyasal dekontaminasyon mekanik temizliğin yerine geçmemeli, klinik endikasyon ve mevcut kanıtlar doğrultusunda değerlendirilmelidir. EFP kılavuzu, klorheksidin ve fotodinamik tedavi gibi yardımcı uygulamaların cerrahi dekontaminasyonda, sistemik antimikrobiyallerin ise cerrahi tedaviye ek olarak rutin kullanımını desteklememektedir (Herrera vd., 2023; Wilensky vd., 2023).

7.3.2.3. Fotomekanik ve fiziksel dekontaminasyon

Fotomekanik ve fiziksel dekontaminasyon yöntemleri, implant yüzeyindeki biyofilmi uzaklaştırmayı amaçlar; ancak etkinlikleri cihaz özellikleri, uygulama protokolü, implant yüzeyi ve cerrahi koşullara bağlıdır. Biyofilmin azaltılması, bu yöntemlerin uzun dönem klinik başarı açısından üstün olduğunu tek başına göstermez (Ramanauskaite vd., 2023).

EFP S3 kılavuzu, hava tozlu sistemler ve Er lazerin cerrahi dekontaminasyonda rutin kullanımını destekleyen yeterli kanıt bulunmadığını belirtmektedir. Bu nedenle yöntem seçiminde teknolojik yenilikten ziyade mevcut kanıtların gücü ve tutarlılığı ile olası yarar ve riskler dikkate alınmalıdır (Herrera vd., 2023; Ramanauskaite vd., 2023).

7.3.3. Rezektif Cerrahi

Rezektif cerrahi, peri-implant ceplerin azaltılması ve implant çevresindeki dokuların temizlenebilirliğinin artırılması amacıyla yumuşak dokuların ve gerektiğinde kemik konturlarının şekillendirilmesini içerir. Bu yaklaşımda inflamatuvar dokular uzaklaştırılır ve klinik gereklilik doğrultusunda defekt anatomisi düzenlenebilir. Bununla birlikte kemik ve

yumuşak dokuların şekillendirilmesi, mukozal çekilmeye ve estetik değişikliklere neden olabileceğinden, özellikle estetik bölgelerde dikkatli planlama gerektirir (Herrera vd., 2023).

Erişim flebi ile rezektif cerrahi arasındaki seçim; cep derinliği, defektin morfolojisi, implantın konumu ve tedavi sonrasında oluşabilecek doku değişiklikleri dikkate alınarak yapılmalıdır. Bu iki yaklaşım, cerrahi olmayan tedavi sonrasında hedeflenen klinik sonuçlara ulaşamadığında değerlendirilebilir. Ancak bir yöntemin bütün klinik koşullarda diğerinden üstün olduğu varsayılmamalı; karar hastaya ve defektin özelliklerine göre bireyselleştirilmelidir (Herrera vd., 2023).

7.3.4. Rekonstrüktif Cerrahi ve Biyomateryal Seçimi

Rekonstrüktif cerrahi, peri-implantitis nedeniyle oluşan kemik defektinin doldurulmasını ve mümkün olduğu ölçüde destek dokularının yeniden kazanılmasını hedefler. Bu yaklaşımda kemik greftleri veya kemik yerine geçen materyaller, bariyer membranlar ve belirli biyolojik ajanlar tek başına ya da kombinasyonlar hâlinde kullanılabilir. Bununla birlikte rekonstrüktif tedavinin amacı yalnızca radyografide kemik dolumu elde etmek değildir; inflamasyonun kontrol edilmesi, peri-implant dokuların klinik stabilitesinin sağlanması ve hastanın uzun dönem bakımını sürdürebilmesi de tedavi başarısının temel bileşenleridir (Herrera vd., 2023; Monje vd., 2024).

7.3.4.1. Biyomateryal seçimi

Rekonstrüktif tedavide biyomateryal seçimi; defektin morfolojisi ve tedavi hedeflerine göre yapılmalıdır. Kemik greftleri, kemik yerine geçen materyaller ve bariyer membranlar değerlendirilirken hacim koruma, stabilite ve defekt içinde tutulabilme özellikleri dikkate alınmalıdır. Ancak bu özellikler tek başına üstün klinik sonuçları garanti etmez (Monje vd., 2024).

Başarılı rekonstrüksiyon için implant yüzeyinin dekontaminasyonu ve inflamasyonun kontrolü temel öneme sahiptir. Bu nedenle uygun cerrahi erişim, inflamatuvar dokuların uzaklaştırılması, yüzey temizliği ve defekt morfolojisine uygun biyomateryal seçimi birlikte ele alınmalıdır (Herrera vd., 2023; Monje vd., 2024).

7.3.5. Defekt morfolojisinin tedavi kararındaki rolü

Rekonstrüktif cerrahi kararı verilirken kemik defektinin morfolojisi dikkate alınmalıdır. Defektin duvar sayısı, çevre kemik desteği, defektin derinliği ve genişliği, implantın konumu ve yumuşak doku koşulları, rekonstrüktif yaklaşımın uygulanabilirliğini etkiler. Çevre kemik duvarlarının daha fazla korunduğu defektlerde greft materyalinin stabilizasyonu ve defektin korunması daha elverişli olabilirken, geniş ve sınırlı kemik desteğine sahip defektlerde öngörülebilirlik azalabilir. Bu nedenle rekonstrüktif tedavi, yalnızca kemik kaybının miktarına değil, defektin üç boyutlu şekline göre planlanmalıdır (Monje vd., 2024).

Rekonstrüktif yaklaşımın erişim flebi cerrahisine kıyasla her durumda daha üstün klinik sonuç sağladığını gösteren yeterli kanıt bulunmamaktadır. Cerrahi tedavi sırasında erişim flebi ile birlikte rekonstrüktif işlemler uygulanabilir veya uygun olgularda rekonstrüktif işlem yapılmadan cerrahi temizlik tercih edilebilir. Bu seçenekler arasında karar verilirken kemik defektinin anatomisi, yumuşak doku koşulları, estetik beklentiler, implantın konumu ve hastanın bakım yeterliliği birlikte değerlendirilmelidir (Herrera vd., 2023; Monje vd., 2024).

7.3.6. Cerrahi Sonrası Takip ve Tedavi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Cerrahi sonrası takipte yumuşak doku iyileşmesi, inflamasyon bulguları, sondlama derinliği ve hastanın ağız hijyeni uygulamaları başlangıç kayıtlarıyla karşılaştırılarak değerlendirilmelidir. Klinik iyileşmeye rağmen nüks riski devam ettiğinden, tedavi sonrası bakım sürdürülmelidir (Herrera vd., 2023; Stiesch vd., 2023).

Tedavi sonuçları sondlama derinliği, sondlamada kanama, süpürasyon ve radyografik kemik seviyesi birlikte değerlendirilerek belirlenmelidir. Sondlama derinliğinin azalması veya radyografik kemik dolumu tek başına inflamasyonun tamamen kontrol edildiğini ya da kaybedilen kemiğin geri kazanıldığını göstermez. Bu nedenle klinik stabilite, hastalık öyküsü dikkate alınarak düzenli kontrollerle izlenmelidir (Herrera vd., 2023).

7.4. Destekleyici Peri-implant Bakım ve Hastalığın Tekrarlamasının Önlenmesi

Destekleyici peri-implant bakım, tedavi sonrası biyofilm birikiminin ve risk faktörlerinin kontrolü yoluyla hastalığın tekrarlama veya ilerleme riskini azaltmayı amaçlar. Düzenli profesyonel bakım, etkili evde ağız hijyeni ve restorasyonun temizlenebilirliğinin değerlendirilmesi bu sürecin temel bileşenleridir (Herrera vd., 2023; Stiesch vd., 2023).

EFP kılavuzu, peri-implantitis tedavisinden sonraki ilk 12 ayda 3–4 aylık aralıklarla destekleyici bakım yapılmasını, sonraki kontrol aralıklarının ise hastaya, implanta ve restorasyona ilişkin risk faktörlerine göre bireyselleştirilmesini önermektedir. Kontrollerde klinik dokular değerlendirilmeli, profesyonel biyofilm kontrolü sağlanmalı ve ağız hijyeni eğitimi pekiştirilmelidir (Herrera vd., 2023; Stiesch vd., 2023).

Hastanın düzenli kontrollere katılması ve günlük plak kontrolünü sürdürmesi uzun dönem sonuçların korunması açısından önemlidir. İnflamasyonun yeniden ortaya çıkması, sondlama derinliğinde artış veya süpürasyon görülmesi durumunda hastalık yeniden değerlendirilerek gerekirse ek tedavi planlanmalıdır (Herrera vd., 2023; Stiesch vd., 2023).

8. SONUÇ

Peri-implantitis, biyofilm ilişkili inflamasyon ve ilerleyici destekleyici kemik kaybıyla karakterize, multifaktöriyel bir hastalıktır. Yönetiminde biyofilm kontrolü, risk faktörlerinin belirlenmesi ve kontrolü temel öneme sahiptir (Berglundh vd., 2018; Dreyer vd., 2018).

Doğru tanı; klinik bulguların, radyografik kemik seviyesinin ve mevcutsa önceki kayıtların birlikte değerlendirilmesini gerektirir (Berglundh vd., 2018; Herrera vd., 2023). Tedavi seçiminde kemik defektinin morfolojisi ve şiddetinin yanı sıra implantın konumu, kalan kemik desteği ve protetik koşullar dikkate alınmalıdır (Monje vd., 2019; Wang vd., 2025). Cerrahi olmayan tedaviye yetersiz yanıt alınan vakalarda cerrahi yaklaşımlar değerlendirilebilir; ancak tüm vakalarda üstünlüğü kesin olarak gösterilmiş tek bir cerrahi yöntem veya dekontaminasyon protokolü bulunmamaktadır. Rekonstrüktif tedavinin başarısı da defekt özellikleri ve uygulanan yöneme bağlıdır (Baima vd., 2022; Herrera vd., 2023; Ramanauskaite vd., 2023; Monje vd., 2024; Stiesch vd., 2023).

Sonuç olarak peri-implantitisin yönetimi, kanıta dayalı tedavi kararlarının yanı sıra düzenli destekleyici peri-implant bakım ve hasta uyumunun sürdürülmesini gerektirir. Temel hedef, inflamasyonun kontrol altına alınmasının ötesinde klinik stabiliteyi korumak ve hastalığın tekrarlama veya ilerleme riskini azaltmaktır.

KAYNAKÇA

- Berglundh, T., Armitage, G., Araujo, M. G., Avila-Ortiz, G., Blanco, J., Camargo, P. M., Chen, S., Cochran, D., Derks, J., Figuero, E., Hämmerle, C. H. F., Heitz-Mayfield, L. J. A., Huynh-Ba, G., Iacono, V., Koo, K., Lambert, F., McCauley, L., Quirynen, M., Renvert, S., ... Zitzmann, N. (2018). Peri-implant diseases and conditions: Consensus report of workgroup 4 of the 2017 World Workshop on the Classification of Periodontal and Peri-Implant Diseases and Conditions. *Journal of Clinical Periodontology*, 45(S20). <https://doi.org/10.1111/jcpe.12957>
- Berglundh, T., Mombelli, A., Schwarz, F., & Derks, J. (2024). Etiology, pathogenesis and treatment of peri-implantitis: A European perspective. *Periodontology 2000*, prd.12549. <https://doi.org/10.1111/prd.12549>
- Cosgarea, R., Rocuzzo, A., Jepsen, K., Sculean, A., Jepsen, S., & Salvi, G. E. (2023). Efficacy of mechanical/physical approaches for implant surface decontamination in non-surgical submarginal instrumentation of peri-implantitis. A systematic review. *Journal of Clinical Periodontology*, 50(S26), 188-211. <https://doi.org/10.1111/jcpe.13762>
- Elemek, E., Agrali, O. B., Yildirim, H. S., & Kuru, L. (2017). Peri-implant Tissues and Diseases. *Clinical and Experimental Health Sciences*, 7(2), 64-70. <https://doi.org/10.5152/clinexphealthsci.2017.167>
- Heitz-Mayfield, L. J. A., & Salvi, G. E. (2018). Peri-implant mucositis. *Journal of Clinical Periodontology*, 45(S20). <https://doi.org/10.1111/jcpe.12953>
- Herrera, D., Berglundh, T., Schwarz, F., Chapple, I., Jepsen, S., Sculean, A., Kebschull, M., Papapanou, P. N., Tonetti, M. S., Sanz, M., & the EFP workshop participants and methodological consultant. (2023). Prevention and treatment of peri-implant

- diseases—The EFP S3 level clinical practice guideline. *Journal of Clinical Periodontology*, 50(S26), 4-76. <https://doi.org/10.1111/jcpe.13823>
- Kormas, I., Pedercini, C., Pedercini, A., Raptopoulos, M., Alassy, H., & Wolff, L. F. (2020). Peri-Implant Diseases: Diagnosis, Clinical, Histological, Microbiological Characteristics and Treatment Strategies. A Narrative Review. *Antibiotics*, 9(11), 835. <https://doi.org/10.3390/antibiotics9110835>
- Monje, A., Pons, R., Insua, A., Nart, J., Wang, H., & Schwarz, F. (2019). Morphology and severity of peri-implantitis bone defects. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 21(4), 635-643. <https://doi.org/10.1111/cid.12791>
- Monje, A., Pons, R., Nart, J., Miron, R. J., Schwarz, F., & Sculean, A. (2024). Selecting biomaterials in the reconstructive therapy of PERI-IMPLANTITIS. *Periodontology 2000*, 94(1), 192-212. <https://doi.org/10.1111/prd.12523>
- Monje, A., & Salvi, G. E. (2024). Diagnostic methods/parameters to monitor peri-implant conditions. *Periodontology 2000*, 95(1), 20-39. <https://doi.org/10.1111/prd.12584>
- Renvert, S., Persson, G. R., Pirih, F. Q., & Camargo, P. M. (2018). Peri-implant health, peri-implant mucositis, and peri-implantitis: Case definitions and diagnostic considerations. *Journal of Clinical Periodontology*, 45(S20). <https://doi.org/10.1111/jcpe.12956>
- Schwarz, F., Derks, J., Monje, A., & Wang, H. (2018). Peri-implantitis. *Journal of Clinical Periodontology*, 45(S20). <https://doi.org/10.1111/jcpe.12954>

BÖLÜM 12

KADINLARDA HORMONAL VE SİSTEMİK DEĞİŞİMLERİN PERİODONTAL İZİ

Zeynep KURTARAN¹

¹ Araştırma Görevlisi, Erciyes Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Periodontoloji Anabilim Dalı, ORCID: 0009-0005-2607-7086

Seks steroid hormonları, üreme sisteminin gelişimi ve fonksiyonlarının sürdürülmesindeki temel rollerinin yanı sıra oral dokular üzerinde de çeşitli biyolojik etkilere sahiptir. Özellikle östrojen, progesteron ve androjenlerin periodontal dokularla etkileşiminin ortaya konması, hormonal etkinin yalnızca üreme sistemiyle sınırlı olmadığını göstermiştir. Periodontal dokularda steroid hormon reseptörlerinin bulunması ve bu hormonların lokal olarak metabolize edilebilmesi, periodontal dokuların hormonal değişimlere duyarlı olduğunu desteklemektedir (Mariotti & Mawhinney, 2013).

Seks steroid hormonlarının periodontal dokular üzerindeki etkileri hem sistemik hem de lokal mekanizmalar aracılığıyla ortaya çıkabilmektedir. Sistemik düzeyde bu hormonlar immün yanıt, vasküler fonksiyonlar ve kemik metabolizması üzerinde etkili olurken, lokal olarak periodontal dokulardaki hücresel fonksiyonları da modüle edebilmektedir. Örneğin östradiolün gingival fibroblastların proliferasyonu ve sitokin üretimi üzerinde etkili olduğu, periodontal ligament fibroblastlarında ise alkalin fosfatase aktivitesini artırabildiği ve lipopolisakkarit ile indüklenen sitokin salınımını baskılayabildiği bildirilmiştir (Romandini et al., 2020a).

Seks steroid hormonlarının periodontal dokular üzerindeki klinik önemi güncel hastalık sınıflamasına da yansımıştır. Nitekim 2017 periodontal ve peri-implant hastalıklar sınıflamasında seks steroid hormonları; puberte, menstrüel siklus, gebelik ve oral kontraseptif kullanımı kapsamında, dental plak kaynaklı gingivitisin şiddetini modifiye edebilen sistemik modifiye edici faktörler arasında tanımlanmıştır. Bu hormonal etkilerin periodontal dokulardaki yansımaları, kadınlarda farklı fizyolojik ve patolojik süreçlerde değişkenlik gösterebilmektedir (I. L. C. Chapple et al., 2018; Murakami, 2018).

Bu biyolojik ve klinik ilişkilerin yanı sıra, doğurganlık çağındaki kadınlarda periodontitisin oluşturduğu hastalık yükü de dikkat çekicidir. 2021 yılı verilerine göre dünya genelinde yaklaşık 25,7 milyon doğurganlık çağındaki kadının şiddetli periodontitisten etkilendiği ve yeni tanı alan şiddetli periodontitis olgularının yaklaşık %30'unun bu yaş grubundaki kadınlardan oluştuğu bildirilmiştir. Ayrıca 1990–2021 yılları arasında bu popülasyonda şiddetli periodontitisin yaşa standardize insidans ve prevalans oranlarının arttığı, bu artışın daha genç kadınlarda daha hızlı gerçekleştiği gösterilmiştir. Şiddetli periodontitis insidansının 2040 yılına kadar artmaya devam edeceğinin öngörülmesi, doğurganlık çağındaki kadınlarda periodontal sağlığın önemini ortaya koymaktadır (Dai et al., 2024).

1. PUBERTE

Fizyolojik puberte, gonadotropin salgılatıcı hormonun (GnRH) pulsatil salınımındaki artışla hipotalamus-hipofiz-gonad (HPG) aksının yeniden aktive olmasıyla başlamaktadır. Hem kızlarda hem de erkeklerde artan GnRH sekresyonu, hipofizden luteinizan hormon (LH) ve folikül stimülan hormonun (FSH) salınımını uyararak gonadal olgunlaşmayı ve seks steroidlerinin üretimini artırmaktadır. Kızlarda artan gonadotropin sekresyonuyla birlikte over kaynaklı östrojen üretimi artarken, LH etkisiyle teka hücrelerinde üretilen testosteron, granüloza hücrelerinde FSH tarafından indüklenen aromataz aracılığıyla östradiole dönüştürülmektedir. Oluşan östradiol ise hedef dokulardaki östrojen reseptörlerine bağlanarak etkilerini göstermektedir (Bangalore Krishna & Witchel, 2024; Hansen et al., 2021).

Puberte dönemindeki hormonal değişikliklerin etkileri gingival dokulara da yansımaktadır. Güncel konsensus raporunda puberteyle ilişkili gingivitis, dental biyofilm kaynaklı gingivitisin sistemik faktörler tarafından modifiye edilen bir formu olarak ele alınmaktadır. Puberte sırasında artan östrojen ve progesteron düzeylerinin dental plağa karşı gingival inflamatuvar yanıtı artırabildiği bildirilmektedir. Genellikle 11–14 yaşları arasında gözlenen puberteyle ilişkili gingivitis, belirgin gingival inflamasyon ve kanama ile karakterize olup bu dönemde gingivitisin prevalans ve şiddetinde artış görülebilmektedir (I. Chapple et al., 2026). Bununla birlikte, güncel sistematik değerlendirmelerde plak düzeylerinin yeterli şekilde kontrol edildiği durumlarda puberte süresince gingival inflamasyonda anlamlı değişiklik gösterilememiş olması, hormonal etkinin plak kontrolü ve bireysel inflamatuvar yanıtla birlikte değerlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir (Gosset, 2026).

Puberte dönemindeki hormonal değişikliklere, subgingival mikrobiyal kompozisyondaki farklılıkların da eşlik edebileceği bildirilmiştir. Fizyolojik gelişimin farklı evrelerinin karşılaştırıldığı çalışmalarda, *Prevotella intermedia* düzeylerinin puberte döneminde erken çocukluk ve prepubertal döneme kıyasla arttığı gösterilmiştir (Nakagawa et al., 1994).

2. MENSTRÜEL SIKLUS

Menstrüel siklus boyunca meydana gelen hormonal dalgalanmalar gingival dokuların inflamatuvar yanıtını etkileyebilmektedir. Özellikle ovulasyon ve premenstrüel dönemde plak miktarında eşlik eden bir artış olmaksızın gingival inflamasyonun şiddetlenebildiği ve gingival indeks değerlerinde artış görülebildiği bildirilmiştir. Ovulasyon döneminde değerlendirilen

kadınların %75'inden fazlasında diş eti oluğu sıvısı akışının en az %20 oranında arttığı gösterilmiştir. Bu dönemlerde hormonal değişikliklere IL-6 ve TNF- α gibi inflamatuvar mediyatörlerdeki değişikliklerin de eşlik edebildiği belirtilmektedir. Bununla birlikte, periodontal açıdan sağlıklı kadınlarda menstrüel siklusla ilişkili periodontal değişikliklerin genellikle hafif ve geçici olduğu ve diş mobilitesi veya sondalama derinliğinde anlamlı klinik değişikliklere yol açmadığı bildirilmiştir (Lopes Cardoso et al., 2026; Murakami, 2018).

Güncel sistematik derleme bulguları da menstrüel siklus fazlarını kapsayan hormonal dalgalanmaların, plak düzeylerinde değişiklik olmaksızın artmış gingival inflamasyonla ilişkili olabileceğini göstermektedir. Bu ilişkinin özellikle önceden dental biyofilm kaynaklı gingivitis bulunan bireylerde daha belirgin olması, hormonal dalgalanmaların mevcut gingival inflamatuvar yanıtı şiddetlendirebileceğini düşündürmektedir. Bununla birlikte, mevcut kanıtların sınırlı ve heterojen olması nedeniyle bu ilişkinin dikkatli yorumlanması gerekmektedir (Gosset, 2026).

3. GEBELİK

Gebelik döneminde kadın seks hormonlarındaki artış, periodontal dokuların inflamatuvar yanıtını etkileyerek gingival inflamasyonun şiddetlenmesiyle ilişkilendirilmektedir. Gingival inflamasyonun, hormon düzeylerinin daha yüksek olduğu üçüncü trimesterde daha sık ve daha şiddetli görülebildiği bildirilmektedir (Lopes Cardoso et al., 2026). Gebelikle ilişkili gingival inflamasyon temel olarak dental plak kaynaklı olmakla birlikte, artan seks hormonu düzeylerinin bu inflamatuvar yanıtı şiddetlendirebildiği belirtilmektedir. Bu hormonal etkinin altında yatan olası mekanizmalar arasında subgingival mikrobiyotadaki değişiklikler, periodontal ligament hücrelerinin bütünlüğünün etkilenmesi ve maternal immün yanıtındaki değişimler yer almakla birlikte, söz konusu mekanizmalar henüz tam olarak açıklığa kavuşturulamamıştır (Raju & Berens, 2021).

Gebelik süresince gözlenen gingival inflamatuvar değişikliklerin klinik seyri longitudinal çalışmalarda da gösterilmiştir. Gebe kadınlarda gingival kanama ve sondalama derinliğinin özellikle ikinci ve üçüncü trimesterlerde arttığı, gingival inflamasyondaki artışın plak miktarından bağımsız olarak ortaya çıkabildiği bildirilmiştir. Buna karşılık, klinik ataşman düzeylerinin gebelik boyunca değişmediği ve takip süresince periodontitise progresyon gözlenmediği belirtilmiştir.

Doğum ve laktasyon sonrasında ise gingival inflamasyon ve artmış sondalama derinliklerinin azalarak gebe olmayan kontrol grubundaki düzeylere yaklaştığı gösterilmiştir. Bu bulgular, gebelikle ilişkili periodontal değişikliklerin geri dönüşümsüz periodontal doku yıkımından ziyade, ataşman kaybının eşlik etmediği geri dönüşümlü gingival inflamasyonla karakterize olabileceğini düşündürmektedir (Gürsoy et al., 2008).

Bununla birlikte, kesitsel çalışmalarda gebeler ile gebe olmayan kadınların karşılaştırılması farklı bulgular ortaya koyabilmektedir. Gebe ve gebe olmayan kadınların karşılaştırıldığı çok merkezli kesitsel bir çalışmada, gebelerde sondalamada kanama, sondalama cep derinliği, klinik ataşman kaybı ve periodontal tedavi gereksinimi açısından daha olumsuz bulgular saptanmış; bu farklılıkların özellikle gebeliğin ikinci ve üçüncü trimesterlerinde belirginleştiği bildirilmiştir. Lokalize gingivitis ikinci trimesterde en yüksek düzeyde gözlenirken, periodontitis üçüncü trimesterde daha belirgin bulunmuştur (Edize et al., 2025).

Gebeliğin gingival inflamatuvar yanıt üzerindeki etkisinin biyokimyasal düzeyde de gözlenebildiği bildirilmiştir. Anti-inflamatuvar bir protein olan Annexin A1 (ANXA1) düzeylerinin gingivitisli gebe kadınların tükürüğünde periodontal olarak sağlıklı gebelere ve gingivitisli gebe olmayan kadınlara kıyasla anlamlı derecede daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Hassan et al., 2018).

Maternal periodontitis ile spontan düşük arasında da bir ilişki olabileceğine dair bulgular bulunmaktadır. Özellikle erken spontan düşüklere periodontitis ile anlamlı bir ilişki bildirilmiş olmakla birlikte, mevcut kanıtların gözlemsel çalışmalara dayanması bu ilişkinin nedensel olarak yorumlanmasını sınırlandırmaktadır (Chanomethaporn et al., 2018). Maternal periodontal hastalık ile olumsuz gebelik sonuçları arasındaki ilişki, özellikle gebeliğin 37. haftasından önce gerçekleşen preterm doğum ve düşük doğum ağırlığı açısından uzun süredir araştırılmaktadır. İlk gözlemsel çalışmaları izleyen daha geniş kapsamlı çalışmalar ve meta-analizler, gebelik sırasında periodontal hastalık varlığının preterm doğum ve düşük doğum ağırlığı ile ilişkili olabileceğini desteklemiştir (Bogges, 2020). Bu ilişkinin altında yatan olası biyolojik mekanizmaları açıklamak üzere doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki temel yolak öne sürülmüştür. Doğrudan yolakta periodontal patojenlerin hematogen yayılım yoluyla fetal-plasental dokulara ulaşarak lokal enfeksiyon ve inflamatuvar yanıtı tetikleyebileceği, gelişen doku hasarının ise olumsuz gebelik sonuçlarına katkıda bulunabileceği düşünülmektedir. *Fusobacterium nucleatum* gibi oral patojenlerin fetal-plasental dokularda saptanması bu mekanizmayı desteklemekle birlikte, metastatik hasara ilişkin kanıtların önemli bir bölümü

hayvan modellerinden elde edilmiştir. Dolaylı yolla ise periodontal enfeksiyona yanıt olarak gingival dokularda üretilen inflamatuvar mediyatörler ve sistemik inflamatuvar yanıtla ilişkili akut faz reaktanlarının intrauterin inflamasyonu şiddetlendirebileceği öne sürülmektedir (Bobetsis et al., 2023)

4. LAKTASYON

Laktasyon döneminin periodontal sağlık üzerindeki etkilerine ilişkin doğrudan klinik kanıtlar sınırlıdır. Gebelik ve doğum sonrası dönemde periodontal inflamasyona eşlik eden biyokimyasal değişiklikler de gözlenebilmektedir. Longitudinal takiplerde gebelik sırasında tükürük MMP-8 ve miyeloperoksidaz düzeylerinin azaldığı, doğum sonrası dönemde ise bu belirteçlerin arttığı; MMP-2 ve MMP-9 düzeylerinin en yüksek değerlerine laktasyon sonrasında ulaştığı bildirilmiştir (Gürsoy et al., 2010).

Laktasyon döneminde periodontal sağlığın seyrini değerlendiren bir çalışmada, emziren annelerde postpartum altıncı ayda plak ve gingival kanama indekslerinin formül mama ile besleyen annelere göre daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Bununla birlikte, bu bulguların emzirmenin doğrudan olumsuz bir etkisini göstermediği ve gözlenen farklılıkların postpartum dönemin fiziksel, hormonal ve öz bakımla ilişkili faktörlerinden etkilenebileceği belirtilmiştir (Macrì et al., 2026).

Laktasyon ile periodontal sağlık arasındaki ilişki, epidemiyolojik çalışmalarda özellikle emzirme süresi üzerinden de değerlendirilmiştir. Daha uzun emzirme süresinin şiddetli periodontitis ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (Romandini et al., 2020). Bununla birlikte, daha güncel çalışmalar farklı sonuçlar ortaya koymaktadır. On iki ay veya daha uzun süre emziren kadınlarla karşılaştırıldığında hiç emzirmeyen kadınlarda periodontitis olasılığının daha yüksek olduğu bildirilmiş ve uzun süreli emzirmenin periodontal sağlık üzerinde olası koruyucu bir etkisi olabileceği öne sürülmüştür. Ancak çalışmanın kesitsel tasarımı nedeniyle nedensel bir ilişki kurulamamış ve önceki çalışmalarla çelişen bulguların varlığına dikkat çekilmiştir (Wang et al., 2023).

5. İNFERTİLİTE

İnfertilite ile periodontal hastalıklar arasındaki ilişkiyi değerlendiren çalışmaların sayısı halen sınırlı olmakla birlikte, mevcut bulgular kadın infertilitesi ile periodontal inflamasyon arasında olası bir ilişkiye işaret etmektedir (Márquez-Arrico et al., 2024). Açıklanamayan infertilitesi

olan kadınlarda fertil kadınlara kıyasla sondalamada kanama, gingival indeks, sondalama derinliği ve klinik ataşman kaybı değerlerinin daha yüksek olduğu; periodontal inflamatuvar yükü yansıtan PISA ve PESA değerlerinin de arttığı bildirilmiştir (Telatar et al., 2020).

Periodontal hastalıkların gebe kalabilme olasılığıyla ilişkili olabileceği ve gebe kalma süresinin uzamasıyla bağlantı gösterebileceği bildirilmiştir. Prospektif verilerde, periodontitis tedavisi öyküsü bildiren kadınlarda siklus başına gebe kalma olasılığının yaklaşık %21 daha düşük olduğu bildirilmiş olmakla birlikte, periodontal maruziyetin öz bildirime dayalı olması bu bulgunun yorumlanmasında dikkate alınmalıdır (Mujica et al., 2026).

Bununla birlikte, periodontitis ile infertilite arasındaki ilişkinin dikkatli yorumlanması gerekmektedir. Mevcut kanıtlar sınırlı ve heterojen olup yaş, metabolik ve davranışsal faktörler, üreme sistemi hastalıkları ve erkek faktörüne bağlı infertilite gibi potansiyel karıştırıcı değişkenlerden etkilenebilmektedir. Periodontitis ve diğer oral inflamatuvar veya mikrobiyal faktörlerin fertilityle ilişkili sonuçlarla bağlantılı olabileceği bildirilmekle birlikte, mevcut veriler nedensel bir ilişkiyi ortaya koymak için yeterli değildir. Benzer şekilde, periodontal tedavinin fertilityle ilişkili klinik sonuçları iyileştirdiğini gösteren yeterli girişimsel kanıt bulunmamaktadır (Omori et al., 2026).

6. POLİENDOKRİN METABOLİK OVER SENDROMU

Daha önce Polikistik Over Sendromu (PKOS) olarak adlandırılan Poliendokrin Metabolik Over Sendromu (PMOS), 2026 yılında gerçekleştirilen küresel konsensus süreci sonucunda hastalığın çok sistemli endokrin ve metabolik özelliklerini daha doğru yansıtması amacıyla yeniden adlandırılmıştır (Teede et al., 2026). PMOS, üreme çağındaki kadınları etkileyen en yaygın endokrinopatilerden biri olup, etkileri adölesan dönemden postmenopozal döneme kadar uzanabilmektedir. Prevalansının %10–13 arasında olduğu bildirilen PMOS, kompleks etiyolojiye ve heterojen bir klinik özelliklere sahip olup reproduktif, metabolik ve psikolojik özelliklerle karakterizedir (Teede et al., 2023).

PMOS ile periodontal hastalık arasındaki ilişkiyi değerlendiren çalışmalarda, PMOS'lu kadınlarda sağlıklı kontrollere kıyasla gingival inflamasyon, sondalama derinliği, plak indeksi ve klinik ataşman kaybının daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Bu ilişkinin olası temelinde hormonal ve metabolik değişikliklerle ilişkili inflamatuvar süreçlerin yer alabileceği; özellikle hiperandrojenizmin gingival dokularda IL-6 ve TNF- α gibi proinflamatuvar sitokinlerin artmış ekspresyonuyla ilişkili olduğu belirtilmektedir. Ayrıca PMOS'ta yaygın olarak görülen insülin direncinin sistemik inflamasyonu artırarak proinflamatuvar bir ortam oluşturabileceği öne

sürülmektedir. PMOS'lu kadınlarda *Porphyromonas gingivalis*, *Tannerella forsythia* ve *Fusobacterium nucleatum* düzeylerinin daha yüksek olduğu da bildirilmiştir (Bitonti et al., 2025).

Daha güncel klinik bulgular, PMOS'lu kadınlarda periodontal hastalık prevalansının yaş açısından eşleştirilmiş kontrollere göre daha yüksek olduğunu ve bu ilişkinin oral hijyen alışkanlıklarından bağımsız olarak devam ettiğini göstermektedir. PMOS'ta insülin düzeylerinin periodontal inflamasyonla bağımsız olarak ilişkili olması, sendroma eşlik eden metabolik değişikliklerin periodontal inflamatuvar yanıtla bağlantılı olabileceğini düşündürmektedir (Márquez-Arrico et al., 2026). Ayrıca, PMOS ve periodontitis arasındaki ilişkide oksidatif stresin ortak bir mekanizma olabileceği ve iki durumun birlikteliğinin sistemik oksidatif stresi artırabileceği öne sürülmüştür (Saglam et al., 2018). Bunun yanı sıra, PMOS ile periodontal inflamasyon arasındaki ilişkiyi açıklayabilecek hücrel stres mekanizmalarının yalnızca oksidatif stresle sınırlı olmayabileceği; yakın zamanda yapılan bir çalışmada endoplazmik retikulum stresinin de bu ilişkide rol oynayabilecek olası bir mekanizma olduğu bildirilmiştir (Pelechá-Salvador et al., 2026).

7. MENOPOZ

Menopoz, menstrüasyonun sona ermesi ve fertilitenin kaybıyla karakterize, kadın yaşamının doğal bir biyolojik evresidir. Son menstrüel periyodun ardından 12 ay boyunca menstrüasyonun görülmemesi doğal menopoz olarak tanımlanmaktadır (Lumsden et al., 2025). Menopozal geçişin temelinde, over yaşlanmasına eşlik eden oosit sayı ve kalitesindeki progresif azalma yer almaktadır. Azalan over rezerviyle birlikte östrojen ve progesteron üretiminin azalması, perimenopozal dönemde menstrüel siklus düzeninde ve hipotalamus-hipofiz-gonad aksının hormonal döngüsünde değişikliklere yol açmaktadır. Bu süreç, menstrüasyonun sona ermesi ve postmenopozal dönemde dolaşımdaki östrojen düzeylerinin belirgin şekilde azalmasıyla sonuçlanmaktadır (Camon et al., 2024).

Menopozla birlikte azalan östrojen düzeyleri, periodontal dokularda inflamatuvar yanıtın ve kemik metabolizmasının değişmesine katkıda bulunabilmektedir. Östrojen eksikliği, proinflamatuvar sitokinlerin artışı, gingival epitel bariyer bütünlüğünün bozulması ve alveoler kemik kaybıyla ilişkilendirilmiştir. Klinik olarak bu değişiklikler özellikle artmış sondalama derinliği ve klinik ataşman kaybı ile kendini gösterebilmekte; ancak plak indeksi, gingival indeks ve sondalamada kanama üzerindeki etkiler daha değişken görünmektedir (Martín et al., 2026). Menopoz sonrası over fonksiyonlarının kaybına bağlı olarak serum östrojen düzeylerinin

belirgin şekilde azalması, sistemik kemik kaybının gelişiminde önemli rol oynamaktadır. Östrojen eksikliği osteoklastların oluşumunu, farklılaşmasını ve yaşam süresini artırarak kemik rezorpsiyonunu destekleyebilmekte; ayrıca IL-1, IL-6, IL-11, TNF- α ve makrofaj koloni uyarıcı faktör gibi östrojen tarafından düzenlenen mediyatörlerdeki değişiklikler osteoklast prekürsörlerinin oluşum ve maturasyonuna katkıda bulunabilmektedir. Bu nedenle menopoz sonrası gelişen sistemik kemik kaybının alveoler kemiğin periodontal yıkıma karşı duyarlılığını artırabileceği öne sürülmektedir (Chaves et al., 2019).

Postmenopozal dönemde sistemik kemik kaybının yanı sıra kemik mikromimarisindeki bozulma da periodontal hastalık progresyonuyla ilişkili olabilmektedir. Bozulmuş trabeküler kemik yapısının postmenopozal kadınlarda periodontal progresyon riskinin artışıyla ilişkili olduğu gösterilmiştir (Malakam et al., 2026). Benzer şekilde, azalmış kemik mineral yoğunluğunun periodontal doku kaybıyla ilişkili olabileceği ve özellikle ileri yaştaki düşük kemik mineral yoğunluğuna sahip kadınlarda klinik ataşman kaybının daha belirgin olduğu bildirilmiştir (Gil-Montoya et al., 2020).

Menopozla ilişkili hormonal değişikliklerin periodontal dokular üzerindeki etkilerinin yanı sıra, subgingival mikrobiyal kompozisyonu değiştirip değiştirmediği de araştırılmıştır. Dolaşımdaki östradiol düzeyleri bazı subgingival bakterilerin oranlarıyla ilişkili olabilmekle birlikte, menopozla ilişkili östradiol azalmasının tek başına subgingival mikrobiyotanın disbiyotik bir profile kaymasıyla ilişkili olmadığı bildirilmektedir. Bu ilişkinin bazı bakteriler açısından premenopozal kadınlarda daha belirgin olduğu, buna karşılık subgingival mikrobiyal dengenin belirlenmesinde periodontal hastalık varlığının östradiol düzeylerinden daha güçlü bir belirleyici olduğu gösterilmiştir (Yakar et al., 2025).

Menopozla ilişkili östradiol azalmasının tek başına subgingival disbiyozun temel belirleyicisi olmaması, mikrobiyotanın bu dönemde periodontal hastalık açısından önemini kaybettiği anlamına gelmemektedir. Postmenopozal kadınlarda subgingival mikrobiyal kompozisyon periodontal hastalığın varlığı, şiddeti ve ilerleyişiyle yakından ilişkilidir. Periodontal hastalığın şiddeti arttıkça subgingival mikrobiyal çeşitliliğin arttığı ve *Porphyromonas gingivalis*, *Tannerella forsythia* ve *Treponema denticola* başta olmak üzere klasik periodontal patojenlerin şiddetli periodontitiste daha yüksek oranda bulunduğu bildirilmektedir. Ayrıca başlangıçtaki mikrobiyal profilin sonraki beş yıllık dönemde periodontal progresyonla ilişkili olduğu; kırmızı kompleks bakterilerinin periodontal progresyonla pozitif, bazı sarı kompleks bakterilerinin ise negatif ilişki gösterdiği belirlenmiştir (Genco et al., 2019; LaMonte et al., 2021).

Menopozla ilişkili sistemik değişikliklerin periodontal sağlık üzerindeki olası etkileri, seks steroidlerindeki değişimlerin yanı sıra farklı biyokimyasal göstergeler açısından da araştırılmıştır. Postmenopozal kadınlarda serum ferritin düzeylerinin premenopozal kadınlara kıyasla daha yüksek olduğu ve ferritin düzeylerinin periodontitis şiddeti ve interdental kemik kaybındaki artışla ilişkili olabileceği bildirilmiştir. Bununla birlikte, mevcut bulgular gözlemsel verilere dayandığından ferritin düzeyleri ile periodontal hastalık arasında nedensel bir ilişki kurulamamaktadır (Ozcan Bulut & Ozel Ercel, 2024).

Menopozal geçişte östrojen ve progesteron düzeylerindeki azalmanın yanı sıra gonadotropin profilindeki değişiklikler de eşlik etmekte; özellikle FSH düzeylerindeki değişim menopozal durumun güçlü hormonal belirteçlerinden biri olarak kabul edilmektedir (Tickerhoof et al., 2026). Menopozal geçişte foliküler rezervin azalmasıyla birlikte östrojen, progesteron ve inhibin düzeylerinin düşmesi, hipotalamus-hipofiz aksı üzerindeki negatif geri bildirimin azalmasına ve FSH düzeylerinin yükselmesine yol açmaktadır (Inman & Flaws, 2024). Artan FSH düzeylerinin östrojen eksikliğinden bağımsız olarak kemik metabolizması üzerinde de etkili olabileceği; osteoklast ve prekürsörlerinde bulunan FSH reseptörleri aracılığıyla osteoklast oluşumu ve aktivitesini artırarak kemik rezorpsiyonuna katkıda bulunabileceği öne sürülmektedir (Chin, 2018; Sun et al., 2006). Bu bulgular, menopozal dönemde belirgin şekilde yükselen FSH'nin alveoler kemik metabolizması ve periodontal dokular üzerindeki olası etkilerinin araştırılmasını önemli hâle getirmektedir.

Sonuç olarak, kadın yaşamı boyunca fizyolojik ve patolojik süreçlere eşlik eden hormonal ve sistemik değişimler, periodontal dokuların inflamatuvar yanıtını, kemik metabolizmasını ve mikrobiyal ekolojisini farklı mekanizmalarla etkileyebilmekte; bu nedenle periodontal sağlığın değerlendirilmesinde kadınların yaşam dönemlerine özgü biyolojik değişimlerin göz önünde bulundurulması önem taşımaktadır.

KAYNAKÇA

- Bangalore Krishna, K., & Witchel, S. F. (2024). Normal Puberty. *Endocrinology and Metabolism Clinics of North America*, 53(2), 183–194.
<https://doi.org/10.1016/j.ecl.2024.01.001>
- Bitonti, V., Perri, T., Cigni, L., Familiari, D., Vazzana, G., & Franco, R. (2025). The Association Between Periodontal Disease and Polycystic Ovary Syndrome: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Dentistry Journal*, 13(5), 188.
<https://doi.org/10.3390/dj13050188>
- Bobetsis, Y. A., Ide, M., Gürsoy, M., & Madianos, P. N. (2023). Periodontal diseases and adverse pregnancy outcomes. Present and future. *Periodontology 2000*, n/a(n/a).
<https://doi.org/10.1111/prd.12486>
- Boggess, K. A. (2020). Choosing the left fork: Steven Offenbacher and understanding maternal periodontal disease and adverse pregnancy outcomes. *Journal of Periodontology*, 91(S1), S40–S44. <https://doi.org/10.1002/JPER.20-0090>
- Camon, C., Garratt, M., & Correa, S. M. (2024). Exploring the effects of estrogen deficiency and aging on organismal homeostasis during menopause. *Nature Aging*, 4(12), 1731–1744. <https://doi.org/10.1038/s43587-024-00767-0>
- Chanomethaporn, A., Chayasadam, A., Wara-aswapati, N., & Kongwattanakul, K. (2018). *Association between periodontitis and spontaneous abortion: A case-control study*.
<https://doi.org/10.1002/JPER.18-0174>
- Chapple, I., Gizani, S., Sanz, M., Declerck, D., Madianos, P., Clerehugh, V., Danser, M., Davidovich, E., Davies, J., Donos, N., Dursun, E., Figuero, E., Graziani, F., Gürsoy, M., Jepsen, S., Joseph, C., Kebschull, M., Kraemer, N., Lambrinaki, T., ... Herrera, D. (2026). Gingival and Periodontal Diseases and Conditions in Children and

- Adolescents: Consensus Report. *Journal of Clinical Periodontology*, 53(7), 1068–1099. <https://doi.org/10.1111/jcpe.70033>
- Chapple, I. L. C., Mealey, B. L., & Dyke, T. E. V. (2018). *Periodontal health and gingival diseases and conditions on an intact and a reduced periodontium: Consensus report of workgroup 1 of the 2017 World Workshop on the Classification of Periodontal and Peri-Implant Diseases and Conditions*. <https://doi.org/10.1111/jcpe.12940>
- Chaves, J. D. P., Figueredo, T. F. M., & Warnavin, S. V. S. C. (2019). *Sex hormone replacement therapy in periodontology—A systematic review*. <https://doi.org/10.1111/odi.13059>
- Chin, K.-Y. (2018). The Relationship between Follicle-stimulating Hormone and Bone Health: Alternative Explanation for Bone Loss beyond Oestrogen? *International Journal of Medical Sciences*, 15(12), 1373–1383. <https://doi.org/10.7150/ijms.26571>
- Dai, X., Tao, Y., & Zhou, J. (2024). *Global burden and trends of severe periodontitis among women of childbearing age, 1990–2021*. <https://doi.org/10.1002/JPER.24-0615>
- Edize, E. I., Ousseynou, D., Muimba, M., Kalala, E., Patric, K. M., David, K. M., Erick, K. N., & Fidele, N. B. (2025). Periodontal Health Trajectories across Trimesters in Pregnant Women Compared to Non-pregnant Controls: A Multicenter Cross-Sectional Study. *Journal of International Society of Preventive & Community Dentistry*, 15(6), 517–527. https://doi.org/10.4103/jispcd.jispcd_47_25
- Genco, R. J., LaMonte, M. J., & McSkimming, D. I. (2019). *The Subgingival Microbiome Relationship to Periodontal Disease in Older Women*. <https://doi.org/10.1177/0022034519860449>
- Gil-Montoya, J. A., Martinez, M. G., & Barrios-Rodríguez, R. (2020). *Association between low bone mineral density and periodontitis in generally healthy perimenopausal women*. <https://doi.org/10.1002/JPER.20-0029>

- Gosset, M. (2026). *Local and Systemic Risk Factors of Dental Biofilm-Induced Gingivitis and Their Control: A Systematic Review*. <https://doi.org/10.1111/jcpe.70189>
- Gürsoy, M., Könönen, E., Tervahartiala, T., Gürsoy, U. K., Pajukanta, R., & Sorsa, T. (2010). Longitudinal study of salivary proteinases during pregnancy and postpartum. *Journal of Periodontal Research*, 45(4), 496–503. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0765.2009.01264.x>
- Gürsoy, M., Pajukanta, R., Sorsa, T., & Könönen, E. (2008). *Clinical changes in periodontium during pregnancy and post-partum*. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1600-051X.2008.01236.x>
- Hansen, A. B., Wøjdemann, D., Renault, C. H., Pedersen, A. T., Main, K. M., Raket, L. L., Jensen, R. B., & Juul, A. (2021). DIAGNOSIS OF ENDOCRINE DISEASE: Sex steroid action in adolescence: too much, too little; too early, too late. *European Journal of Endocrinology*, 184(1), R17–R28. <https://doi.org/10.1530/EJE-20-0545>
- Hassan, M. N., Belibasakis, G. N., Gumus, P., Öztürk, V. Ö., Emingil, G., & Bostanci, N. (2018). Annexin-1 as a salivary biomarker for gingivitis during pregnancy. *Journal of Periodontology*, 89(7), 875–882. <https://doi.org/10.1002/JPER.17-0557>
- Inman, Z. C., & Flaws, J. A. (2024). Impact of Real-life Environmental Exposures on Reproduction: Endocrine-disrupting chemicals, reproductive aging, and menopause. *Reproduction*, 168(5), e240113. <https://doi.org/10.1530/REP-24-0113>
- LaMonte, M. J., Andrews, C. A., Hovey, K. M., Buck, M. J., Li, L., McSkimming, D. I., Banack, H. R., Rotterman, J., Sun, Y., Kirkwood, K. L., & Wactawski-Wende, J. (2021). Subgingival microbiome is associated with alveolar bone loss measured 5 years later in postmenopausal women. *Journal of Periodontology*, 92(5), 648–661. <https://doi.org/10.1002/JPER.20-0445>

- Lopes Cardoso, I., Fryde, M., Guimarães, M. I., & Leal, F. (2026). Impact of female hormonal changes throughout life on oral health: A scoping review. *Journal of Dental Sciences*, 21(1), 31–48. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2025.09.016>
- Lumsden, M. A., Dekkers, O. M., Faubion, S. S., Lindén Hirschberg, A., Jayasena, C. N., Lambrinoudaki, I., Louwers, Y., Pinkerton, J. V., Sojat, A. S., & Van Hulsteijn, L. (2025). European Society of Endocrinology clinical practice guideline for evaluation and management of menopause and the perimenopause. *European Journal of Endocrinology*, 193(4), G49–G81. <https://doi.org/10.1093/ejendo/lvaf206>
- Macrì, F., Dipalma, G., Inchingolo, A. M., Inchingolo, F., Maspero, C., & Giannini, L. (2026). Breastfeeding vs. formula feeding on maternal oral health: Periodontal and microbiological changes in the postpartum period: an observational longitudinal study. *Frontiers in Oral Health*, 7, 1747704. <https://doi.org/10.3389/froh.2026.1747704>
- Malakam, C., Lertpimonchai, A., Sritara, C., Sritara, P., Charatkulangkun, O., Thongmung, N., & Mongkornkarn, S. (2026). Degraded trabecular bone score and periodontitis progression: 5-year cohort with increased risk in postmenopausal women. *Journal of Periodontology*, n/a(n/a). <https://doi.org/10.1002/jper.70126>
- Mariotti, A., & Mawhinney, M. (2013). *Endocrinology of sex steroid hormones and cell dynamics in the periodontium*. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1600-0757.2011.00424.x>
- Márquez-Arrico, C. F., Pelechá-Salvador, M., López-Domènech, S., Fernández-Reyes, M., Silvestre, F. J., Silvestre-Rangil, J., Montiel-Company, J. M., & Rocha, M. (2026). Polycystic ovary syndrome and periodontal disease: An until-now undiscovered connection influenced by metabolic parameters. *BMC Oral Health*, 26(1), 1909. <https://doi.org/10.1186/s12903-026-09196-4>

- Márquez-Arrico, C. F., Silvestre, F. J., Fernández-Reyes, M., Silvestre-Rangil, J., & Rocha, M. (2024). Is there an association between periodontal disease and infertility? A systematic review. *Medicina Oral, Patología Oral y Cirugía Bucal*, 29(6), e866–e875. <https://doi.org/10.4317/medoral.26831>
- Martín, F. C.-S., Rus, M. J., de la Cruz Gándara Alvarez, A., Simon-Soro, A., & Cantiga-Silva, C. (2026). Impact of menopause on clinical periodontal outcomes: A systematic review. *Clinical Oral Investigations*, 30(4), 143. <https://doi.org/10.1007/s00784-026-06813-y>
- Mujica, I., Bendek, M. J., Celis, A., Tarilonte, A. F., Simon-Soro, A., Arraztoa, J. A., Donoso, M. B., Illanes, S. E., Monteiro, L. J., & Chaparro, A. (2026). The periodontal–female reproductive axis and infertility: A scoping review of epidemiological and mechanistic evidence. *BMC Oral Health*, 26(1), 1469. <https://doi.org/10.1186/s12903-026-08685-w>
- Murakami, S. (2018). *Dental plaque–induced gingival conditions*. <https://doi.org/10.1111/jcpe.12937>
- Nakagawa, S., Fujii, H., Machida, Y., & Okuda, K. (1994). A longitudinal study from prepuberty to puberty of gingivitis. *Journal of Clinical Periodontology*. <https://doi.org/10.1111/j.1600-051x.1994.tb00783.x>
- Omori, K., Miyake, T., & Takashiba, S. (2026). Periodontitis and infertility: A critical narrative review with qualitative synthesis and an author-proposed translational roadmap for preconception periodontal research. *Reproductive Biology and Endocrinology*. <https://doi.org/10.1186/s12958-026-01616-y>
- Ozcan Bulut, S., & Ozel Ercel, N. (2024). Serum iron and ferritin levels in female patients with gingivitis and periodontitis. *Australian Dental Journal*, 69(3), 175–181. <https://doi.org/10.1111/adj.13011>

- Pelechá-Salvador, M., López Domènech, S., Márquez-Arrico, C. F., Fernández-Reyes, M., Perea-Galera, L., Hermenejildo, J., Morillas, C., Fernández-Collazo, P., Silvestre-Rangil, J., Víctor, V. M., Silvestre, F., & Rocha, M. (2026). Endoplasmic reticulum stress in women with polycystic ovary syndrome and gingivitis: A case–control study of metabolic–periodontal interplay. *Dental and Medical Problems*, (5), 0–0.
<https://doi.org/10.17219/dmp/211428>
- Raju, K., & Berens, L. (2021). Periodontology and pregnancy: An overview of biomedical and epidemiological evidence. *Periodontology 2000*, 87(1), 132–142.
<https://doi.org/10.1111/prd.12394>
- Romandini, M., Shin, H.-S., Romandini, P., Laforí, A., & Cordaro, M. (2020a). Hormone-related events and periodontitis in women. *Journal of Clinical Periodontology*, 47(4), 429–441. <https://doi.org/10.1111/jcpe.13248>
- Romandini, M., Shin, H.-S., Romandini, P., Laforí, A., & Cordaro, M. (2020b). *Hormone-related events and periodontitis in women*.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/jcpe.13248>
- Saglam, E., Canakci, C. F., Sebin, S. O., Saruhan, N., Ingec, M., Canakci, H., & Sezer, U. (2018). Evaluation of oxidative status in patients with chronic periodontitis and polycystic ovary syndrome: A cross-sectional study. *Journal of Periodontology*, 89(1), 76–84. <https://doi.org/10.1902/jop.2017.170129>
- Sun, L., Peng, Y., Sharrow, A. C., Iqbal, J., Zhang, Z., Papachristou, D. J., Zaidi, S., Zhu, L.-L., Yaroslavskiy, B. B., Zhou, H., Zallone, A., Sairam, M. R., Kumar, T. R., Bo, W., Braun, J., Cardoso-Landa, L., Schaffler, M. B., Moonga, B. S., Blair, H. C., & Zaidi, M. (2006). FSH Directly Regulates Bone Mass. *Cell*, 125(2), 247–260.
<https://doi.org/10.1016/j.cell.2006.01.051>

- Teede, H. J., Khomami, M. B., Morman, R., Laven, J. S. E., Joham, A. E., Costello, M. F., Patil, M., Rees, D. A., Berry, L., Cree, M. G., Zhao, H., Norman, R. J., Dokras, A., Piltonen, T., Amao, S., Amiri, M., Andrews, C., Arcari, A., Arlt, W., ... Zhang, Y. (2026). Polyendocrine metabolic ovarian syndrome, the new name for polycystic ovary syndrome: A multistep global consensus process. *The Lancet*, 407(10545), 2329–2339. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(26\)00717-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(26)00717-8)
- Teede, H. J., Tay, C. T., Laven, J., Dokras, A., Moran, L. J., Piltonen, T. T., Costello, M. F., Boivin, J., Redman, L. M., Boyle, J. A., Norman, R. J., Mousa, A., Joham, A. E., International PCOS Network, Arlt, W., Azziz, R., Balen, A., Bedson, L., Berry, L., ... Tan, K. (2023). Recommendations from the 2023 International Evidence-based Guideline for the Assessment and Management of Polycystic Ovary Syndrome. *Human Reproduction*, 38(9), 1655–1679. <https://doi.org/10.1093/humrep/dead156>
- Telatar, G. Y., Gürlek, B., & Telatar, B. C. (2020). *Periodontal and caries status in unexplained female infertility: A case–control study*. <https://doi.org/10.1002/JPER.20-0394>
- Tickerhoof, M., Cham, H., Ouldibbat, L., Ger, A., Burrja, S., Auluck, P., Schmidt, P. J., Marengo, S., & Kundakovic, M. (2026). Postmortem tissue biomarkers of menopausal transition. *Molecular Psychiatry*, 31(2), 819–834. <https://doi.org/10.1038/s41380-025-03177-9>
- Wang, Z.-L., Ryu, S.-H., Bae, K.-H., Kim, S.-J., & Cho, H.-J. (2023). Association between breastfeeding and periodontitis in Korean women using Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES): A cross-sectional study. *BMC Oral Health*, 23(1), 496. <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03213-6>

Yakar, N., Yilmaz, B., & Emingil, G. (2025). *Subgingival microbial profiles in pre- and postmenopausal women: Associations with serum estradiol levels.*

<https://doi.org/10.1002/JPER.24-0267>