

Derleme

Protetik Diş Hekimliğinde Polietereterketon Materyalinin Yeri

Polyetheretherketone Material in Prosthetic Dentistry

Emine Hülya Demir Sevinç¹ , Ceyda Başak İnal² , Cemal Aydın³ 

ÖZET

Protetik restorasyonlarda sıklıkla kullanılan metal ve seramik materyallerin sahip olduğu bazı olumsuz özellikler nedeniyle alternatif materyal olarak polimerlerin kullanımı gündeme gelmektedir. Yüksek performanslı polimerlerden poliarileterketon ailesine ait yarı kristal yapıdaki polietereterketon materyali, medikal olarak kullanılmasından sonra diş hekimliği alanında da kullanılmaya başlanmıştır. Kimyasal olarak inert olması, yüksek mekanik dayanımı, aşınmaya dirençli ve hafif olması ile özellikle protetik tedavilerde yerini almıştır. Polietereterketon, inley, onley endokron restorasyonlarda, kron ve köprülerin altyapılarında, hareketli protezlerin altyapılarında, implant materyali olarak ve implant üstü sabit ve hareketli protezlerde ve ayrıca oklüzal splint yapımında kullanılabilir. Bu derlemede polietereterketon materyalinin yapısı, özellikleri ve protetik restorasyonlarda kullanım şekilleri anlatılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Diş protezi; Polietereterketon; Polimerler

ABSTRACT

Due to some negative properties of frequently used restorative materials, metals and ceramics, the use of polymers as alternative materials comes forward. Semi-crystalline polyetheretherketone material, which belongs to the polyaryletherketone family and one of the high-performance polymers, has also been used in dentistry after its medical use. It is especially included in prosthetic treatments for its properties like chemical inertness, high mechanical strength, abrasion resistance, and lightweight. Polyetheretherketone can be used in inlays, onlays, and endocrown restorations, in the substructure material for crowns and bridge restorations, in the infrastructures of removable prostheses, as an implant material or in fixed and removable implant prostheses, and in occlusal splints. In this review, the structure, properties, and usage of polyetheretherketone material in prosthetic restorations are explained.

Keywords: Dental prosthesis; Polyetheretherketone; Polymers

Makale gönderiliş tarihi: 23.06.2021; Yayına kabul tarihi: 11.07.2021

İletişim: Dt. Emine Hülya Demir

Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi Ana Bilim Dalı

Bişkek Cd. (8.Cd.) 1.Sk. No:4 06490 Emek-ANKARA

E-posta: deminehulya@gmail.com

¹Dt., Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi Ana Bilim Dalı, Ankara, Türkiye

²Dt., Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi Ana Bilim Dalı, Ankara, Türkiye

³Prof. Dr., Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi Ana Bilim Dalı, Ankara, Türkiye

GİRİŞ

Protetik diş hekimliğinin amacı; eksik dişlerin, dişlerdeki madde kayıplarının ve çevre dokulardaki defektlerin, protetik restorasyonlar ile hem fonksiyonel hem de estetik olarak rehabilite edilmesidir. Bu amaçla kullanılacak dental materyallerin temel olarak biyouyumluluk, doğal dişlere yakın estetik ve çiğneme kuvvetleri altında yeterli dayanıklılık özelliklerine sahip olması gerekir. Bu özelliklere sahip metal, seramik ve polimer türleri protetik diş hekimliğinde kullanılan materyallerdir. Özellikle son 30 yılda diş hekimliğinde bilgisayar destekli tasarım bilgisayar destekli üretim (CAD/CAM - Computer Aided Design/Computer Aided Manufacture) teknolojilerindeki gelişmeler, bu üç materyalin çok farklı türlerinin de diş hekimliğinde kullanımını mümkün hale getirerek protetik materyal seçeneklerini genişletmiştir.¹ Böylece diş hekimleri hem estetik hem de fonksiyonel açıdan farklı klinik gereksinimleri göz önüne alarak çok sayıda materyal arasında uygun olanı seçebilmektedirler.

Diş hekimliğinde uzun yıllardır kullanılan metal ve seramik türlerinin kendilerine özgü bazı dezavantajları "yüksek performanslı polimerler" in kullanımına yol açmıştır. Yüksek mekanik dayanım yanı sıra düşük elastik modülüne sahip olan bu polimerlerin hızlı üretilebilmeleri ve düşük maliyetli olmaları önemli avantajlarıdır. Bu polimerlerden biri olan polietere-terketon (PEEK) 90'lı yılların sonunda ilk olarak tıp alanında ortopedide ve travma tedavilerinde yüksek performanslı termoplastik materyal olarak kullanılmaya başlanmıştır. PEEK materyali; kimyasal olarak inert olması, düşük elastik modülü, yüksek aşınma direnci, yüksek mekanik dayanımı ve hafif olması gibi özellikleri nedeniyle dental uygulamalarda da yerini almıştır.²

POLİETERETERKETONUN GENEL ÖZELLİKLERİ

PEEK, poliartereterketon (PAEK) ailesine ait olan yarı kristal bir polimer olup, keton ve eter fonksiyonel grupları ve aril halkalarından oluşan aromatik ve lineer bir moleküler iskelete sahiptir. PEEK materyalinin erime sıcaklığı 334 °C, kristalleşme sıcaklığı 343 °C ve cam faza geçiş sıcaklığı 145 °C'dir.³ Isısal kararlılığı yüksek bu materyalin 260 °C çalışma sıcaklığına sahip ortamlarda kullanılabilen olduğu bilinmektedir. Ayrıca sıcaklık değişimleri karşısında

materyalin boyutsal stabilitesi oldukça iyidir.⁴ PEEK kimyasal olarak inert bir materyaldir. Ağız içindeki kimyasal ortamdan etkilenmeyen PEEK materyalinde çözünmeye sebep olduğu bilinen tek kimyasal oda sıcaklığında %98'lik sülfürik asittir.⁵ PEEK'in kimyasal ve ısısal kararlılığı sayesinde buhar, gama ve etilen oksit sterilizasyonları, materyalin fiziksel özelliklerinde değişime yol açmamaktadır.⁶ PEEK biyouyumlu bir materyaldir. Klinik kullanımında toksik veya mutajenik etkilere neden olmadığı ayrıca bu materyale karşı enflamasyonun gelişmediği yapılan çalışmalarda ortaya konulmuştur.⁷ PEEK materyali ile yapılan çalışmalar sonucunda doku cevabının çok düşük olduğu, hücre kültürü üzerinde olumsuz etkisi olmadığı, osteoblast ve fibroblastlar üzerinde zararlı etkisi olmadığı ve sitotoksikite göstermediği bildirilmiştir.² PEEK materyalinin kimyasal olarak stabil olması, korozyona dirençli olmasını ve toksik yan ürünlerin oluşmamasını sağlamaktadır.⁸

Doldurucu içermeyen PEEK materyali düşük elastik modüle (3-4 GPa) sahiptir. Yapısal katkı maddeleri ile materyal güçlendirilerek elastik modülü kortikal kemiğin elastik modülüne (10-19 GPa) çok yakın hale getirilmektedir. Böylece hem ortopedik hem de dental implantlar için kemik ile benzer özellikler gösteren iyi bir alternatif oluşturmaktadır.⁹ PEEK bu mekanik özellikleri ile protetik restorasyonların yapımında kullanıldığında ise metal ve seramiklere göre fonksiyonel kuvvetleri daha iyi absorbe etme ve oklüzal temasta olduğu dişlerde daha az aşındırıcı etki yapma avantajları gösterir.¹⁰ Aynı zamanda yeterli yorulma dayanımı ve düşük akma göstermesi ile gelen kuvvetleri başarılı bir şekilde karşılayabilmektedir. Gerilme dayanımı (PEEK gerilme dayanımı 80 MPa, CFR (karbon fiber destekli) PEEK gerilme dayanımı 120 MPa) diş dokularına (dentinin gerilme dayanımı 104 MPa) benzer olduğundan restorasyonların altyapılarında kullanılabilir.⁸ Üç üyeli PEEK restorasyonların posterior bölgedeki çiğneme kuvvetlerinden yüksek (1200-1383 N) dayanım göstermeleri, bu bölgede kullanımının uygun olduğunu göstermektedir.^{11, 12} PEEK materyalinin yüksek mekanik dayanımı ve kemik ile uyumlu mekanik özelliklerinin yanı sıra boyutsal stabilitesi iyidir, su emilimi düşüktür ve polimerizasyon sırasında büzülme göstermez.¹³ Ayrıca oldukça hafif olduğu için yapılan protezlerin genellikle yüksek hasta konforunu ve memnuniyetini sağladığı bildirilmiştir.¹⁴ PEEK doğal olarak radyolüsent bir

materyeldir. Bu sayede bilgisayarlı tomografi (CT), manyetik rezonans görüntüleme (MRI) ve x-ışını ile görüntüleme teknikleriyle uyumludur. Bu özelliği sabit protetik restorasyonlarda dayanak dişlerde çürük teşhisini kolaylaştırmaktadır.¹⁵

Doldurucu içermeyen saf haldeki PEEK ten renge pelet veya toz halinde bulunmakta ve standart polimer işleme teknikleriyle implant parçalarına dönüştürülebilmektedir. Saf halde açık renkli olan PEEK materyali, mekanik ve kimyasal özelliklerini iyileştirmek için ilave edilen dolduruculara göre renk değiştirmektedir. Örneğin karbon fiber ile desteklendiğinde materyal siyah renk almaktadır.² Saf PEEK materyalinin rengi metallerle göre diş rengine daha yakın olmakla beraber grimsi ve çok opak görünüme sahiptir. Bu sebeple estetik bölgedeki sabit protezlerde kompozit rezinlerle veneerlenerek kullanılmaktadırlar.¹⁷

PEEK materyalinin olumlu özelliklerinin yanı sıra ısılabilirliği düşüktür ve bağlanma gücünü arttırmak için PEEK yüzeyini hazırlamak oldukça zordur.⁶ Düşük yüzey enerjisi ve farklı kimyasal uygulamalara karşı yüzey modifikasyonunda görülen direnç nedeniyle kompozit rezin materyallere yeterli bağlanma sağlanması için yüzey işleme yapılması gerekmektedir.⁶

PEEK MATERYALİNİN PROTETİK DİŞ HEKİMLİĞİNDE KULLANIM ALANLARI

1. Sabit Protezlerde Kullanımı

PEEK materyali, sabit protetik restorasyonlar için avantajlı olan bazı fiziksel özellikleri ile kron, köprü, inley, onley ve endokron restorasyonlarda kullanım alanı bulmuştur.¹⁹ PEEK'in mekanik özelliklerini inceleyen çalışmalar ön ve arka bölge kron restorasyonlar ile beraber ikinci premolar dişin yerini alan üç üyeli sabit protezlerde klinik kullanıma uygun dayanıklılık gösterdiğini bildirmişlerdir.²⁰ Ayrıca "bio high-performance polymer" (BioHPP) olarak bilinen %20 seramik dolgu içeren modifiye PEEK materyali, geleneksel PEEK'e göre daha iyi mekanik özellikler, diş rengine daha yakın bir görünüm ve daha iyi cilalanabilme özellikleri göstermesi sebebiyle alternatif olarak sunulmuştur.¹⁹

Dental metal ve metal alaşımlarına göre diş dokusuna daha yakın estetik özelliklere sahip olmakla birlikte PEEK materyalinin estetiğin önemli olduğu res-

torasyonlarda monolitik kullanımının uygun olmadığı bildirilmiştir. Bu durumlarda altyapı materyali olarak kullanılıp rezin materyaller ile veneerlenmesi tavsiye edilmektedir.¹⁹ Ancak PEEK'in kimyasal ajanlara karşı dirençli olması, düşük yüzey enerjisine sahip olması ve yüzey modifikasyon işlemlerine dirençli olması nedeniyle, rezin ile arasında iyi bir bağlantının sağlanmasında zorluk yaşanabilmektedir. PEEK yüzeyinde başarılı bir adezyon için kumlama, piranha solüsyonu ve sülfürik asit ile aşındırma, lazer ve plazma pürüzlendirme (etching) gibi mekanik ve kimyasal ön işlemlerden geçirilmesi ve ardından aseton, metil metakrilat (MMA) veya 10-metakriloiloksidesil dihidrojen fosfat (MDP) içeren bir adeziv uygulanması önerilmektedir.²⁰ PEEK altyapı materyaline alüminyum oksit (Al_2O_3) kumlama uygulanmasının bağlanma dayanımını artırdığı ancak partikül boyutuna bağlı değişimin anlamlı olmadığı bildirilmiştir.²¹

PEEK alt yapıların veneerlenmesinde ışınla sertleşen kompozit rezinlerin yanı sıra CAD/CAM yöntemiyle üretilen veneer tabakası da kullanılabilir. Bu yöntemle veneerlenen PEEK restorasyonların geleneksel kompozit uygulaması ile veneerlenenlere göre daha yüksek yük taşıma kapasitesi gösterdiği bildirilmekle beraber ışınla sertleşen kompozitlerin hasta ağızında bazı değişiklikler yapılmasına ve restorasyondaki küçük kırıkların tamirine olanak sağlama avantajı bulunmaktadır.²²

Mevcut literatür incelendiğinde PEEK kronların marjinal uyumlarının incelendiği çalışmalarda, zirkonya kronlara göre marjinal aralığın daha fazla olduğu bildirilmekle beraber²³ lityumdisilikat ve zirkonya kronlarla benzer şekilde klinik olarak kabul edilebilir marjinal uyuma sahip olduğu ortaya koyulmuştur. PEEK ve PEKK'ten üretilen sabit protetik restorasyonların simantasyonunda geleneksel simantasyon uygulanabilmektedir.²⁰

PEEK materyalinin en büyük avantajlarından biri karşıt doğal dişlere zarar vermemesidir. Yapılan in-vitro çalışmada, PEEK'in, nanohibrit kompozite ve PMMA malzemelerine göre lateral yöndeki kuvvetlere karşı daha yüksek aşınma direncine ve karşıt dişin minesinde daha az aşınmaya neden olduğu tespit edilmiştir.²⁴ PEEK'in, düşük aşınma direnci ve ağız sıvılarında düşük çözünme göstermesi, dentine yakın elastik modülü ve çiğneme kuvvetlerini absorbe etmesi gibi olumlu özellikleri sabit restorasyonlar için ideal bir materyal olduğunu göstermektedir. Ancak

klirik çalışma verileri henüz bu materyalin kullanımını konusundaki şüpheleri giderememektedir.

2. Hareketli Bölümlü Protezlerde Kullanımı

Hareketli bölümlü protez (HBP) iskeletleri için uzun zamandır en çok tercih edilen materyal metal alaşımlarıdır. Ancak metalin gri rengi sebebiyle estetik özelliklerinin yetersiz olması, alerjik reaksiyon riski taşımaları, korozyona uğrayabilmeleri ve işlenmelerinin hem zor hem de zaman alıcı olması nedeniyle alternatif materyal arayışı devam etmektedir.²⁵ Polimer esaslı materyaller ve dijital üretim yöntemlerindeki gelişmeler sayesinde hareketli bölümlü protez iskeleti yapımında kullanılacak çeşitli materyaller gündeme gelmiştir.

Hareketli bölümlü protez iskeleti yapımında kullanılacak polimerlerden biri olan PEEK, geleneksel krom kobalt (Co-Cr) alaşımlarına kıyasla daha esnek ve daha az sertlik göstermektedir (Co-Cr elastik modülü 200 GPa, PEEK elastik modülü 3.0-5.5 GPa). PEEK kroşelerin esneklik özelliği ile dayanak dişler üzerinde düşük stresler oluşacağı, iyi bir retansiyon sağlanacağı, kırılmaya ve deformasyona direncin yüksek olacağı düşünülmüştür.²⁶ Ancak çalışmalar PEEK kroşelerin bu özelliklerinin kroşe tasarımına ve materyalin üretim yöntemine göre değiştiğini göstermiştir. Buna göre PEEK kroşelerin Co-Cr alaşımından yapılanlara göre daha kalın yapılması ve daha derin bir andırkata yerleştirilmesi gerektiği bildirilmiştir.²⁶ Yeterli kalınlıkta üretilmeyen PEEK kroşelerin derin andırkatlardan uzaklaştırılırken oluşan stresler karşısında dayanıklılık gösteremediği ortaya koyulmuştur.²⁷

Hareketli bölümlü protez iskeleti üretiminde kullanılan tekniğe göre PEEK materyalinin çeşitli özellikleri etkilenmektedir. CAD/CAM ile üretilen PEEK kroşelerin geleneksel Co-Cr ve ısı basınç yöntemiyle elde edilen PEEK kroşelere göre daha yüksek retansiyon kuvveti sağladığı ortaya koyulmuştur.²⁶ Hareketli bölümlü protez iskeletinin doku uyumunun da yine CAD/CAM sistemi ile üretilen PEEK materyalinde, konvansiyonel ve CAD/CAM yöntemleri ile elde edilen metal iskeletlere göre daha iyi olduğu bildirilmiştir.²⁸

Hareketli bölümlü protez iskeleti yapımında kullanılan materyalin klinik açıdan diğer bir önemi de yumuşak ve sert destek dokulara iletilen streslerin etkilen-

mesidir. PEEK iskeletlerde, periodontal olarak zayıf olan dişlere iletilen çiğneme kuvvetinin oluşturduğu stres, metal iskeletli protezlere göre daha az olmaktadır. Buna karşın serbest sonlu vakalarda mukozaya üzerine iletilen kuvvet PEEK için daha fazla olmaktadır.²⁵ Chen ve ark.²⁹ serbest sonlu bir vakada PEEK, titanyum ve Cr-Co alaşımlarından oluşan iskelet yapılarının mukozada oluşturdukları stresleri karşıladıkları çalışmada, PEEK'in mukozada daha fazla stres oluşturduğu belirtilmiştir. Harb ve ark.³⁰, Kennedy sınıf I hastada alt yapı materyali olarak CAD/CAM sistemi ile üretilmiş PEEK kullanmışlar ve fonksiyon ve estetik açısından yeterli uyumun ve hasta memnuniyetinin sağlandığını belirtmişlerdir. Ayrıca PEEK'in tam protez kadesini güçlendirmede kullanımı üzerinde çalışılmış, ancak 0.5 mm kalınlıkta tasarlandığında tam protezin palatal bölgesinde meydana gelen stresler altında yeterli dayanıklılık gösteremeyeceği ortaya koyulmuştur.³¹

Maksiller obturatör protezler, hasta tamamen dişsiz ise genellikle polimetilmetakrilattan (PMMA) veya kısmen dişsiz ise döküm metal iskelet ve PMMA'dan üretilmektedir. Cerrahi rezeksiyonun boyutu arttıkça protezin kapladığı alan ve buna bağlı olarak ağırlığı da artmaktadır. PEEK'in mükemmel biyouyumluluğa sahip hafif bir malzeme olması, obturatör protezlerde kullanım avantajı sağlamaktadır ancak akrilik rezin ile arasındaki bağlantının mekanik olması nedeniyle tasarım konusunda dikkatli bir değerlendirme yapılmalıdır. PEEK materyalinin tamir ve modifikasyonunun mümkün olmaması göz önünde bulundurulmalıdır.³² Costa Palau ve ark.⁹ yaptıkları klinik çalışmada, CAD/CAM sistemi ile ürettikleri PEEK maksiller obturatör protezin geleneksel olanlara göre fonksiyon, retansiyon ve estetik açıdan daha iyi ve ayrıca daha hafif olduğunu belirtmişlerdir. Ye ve ark.³³ PEEK materyali ile maksilektomi defektlerine sahip hastalar için protez tasarımı ve üretiminde tamamen dijital bir iş akışını başarılı bir şekilde kullanmışlardır.

3. İmplant Destekli Protezlerde Kullanımı

PEEK; dental implantolojide implant materyali, protetik aşamada ise iyileşme başlığı dayanak ve restorasyon materyali olarak kullanılmaktadır.³⁴

CAD/CAM teknolojisi kullanılarak PEEK materyalinden kişisel iyileşme başlıkları üretilerek implant çevresinde uygun çıkış profili elde edilebilmektedir. Dental implantın yerleştirildiği seansta (tek aşamalı)

veya osseointegrasyon sürecini takiben ikinci aşama cerrahide (iki aşamalı) kullanılabilen PEEK kişisel iyileşme başlığında herhangi bir enflamasyon gözlenmediği ve uygun çıkış profili elde edildiği bildirilmiştir. Ayrıca yumuşak doku şekillendirmesini sağlayan bu iyileşme başlıkları geçici protez aşamasını ortadan kaldırarak tedavi sürecinin kısaltılmasını sağlayabilmektedir.³⁵

Biyouyumluluğu ve stresleri absorbe edebilme özelliğine sahip PEEK, titanyum ve zirkonyadan daha düşük kırılma dayanımına sahip olması nedeniyle genellikle geçici implant dayanağı olarak kullanılmaktadır.³⁶ Ancak titanyum ile güçlendirilmiş PEEK materyalinin implant dayanağı olarak kullanımıyla estetik bölgede ince biyotipli dişeti varlığında konvansiyonel dayanaklara göre avantaj elde edilmektedir. Ek olarak bu malzemenin biyouyumluluğu kemik seviyesinin ve çevre yumuşak dokunun korunmasını sağlamaktadır.³⁷ PEEK dayanak vidalarının titanyum dayanak vidalarına göre kırılma dayanımı daha düşük bulunmuştur. Ancak polimer malzemelerden üretilen vidaların kırıldıkları zaman daha kolay çıkarılabilecekleri beklenmektedir.³⁸

İmplantlarda periodontal ligament eksikliğinden ve proprioseptif özelliklerinin olmamasından dolayı implantüstü protezlerde kırılma, chipping (atma), implant kaybı gibi birçok komplikasyon oluşabilmektedir. Bu nedenle PEEK'in elastikiyeti ve stres emilimi sağlaması implantüstü protezlerde kullanımında avantaj sağlamaktadır.¹² Ayrıca metal alerjisi olan hastalarda kompozit ile veneerlenmiş PEEK yapılar implant destekli sabit protez materyali olarak önerilmektedir.¹² BioHPP gibi yüksek dayanımlı polimerler tek kronlardan tam ark restorasyonlara ve overdenture tipi protezlere kadar farklı klinik durumlarda kullanılabilir. ³⁹ Mangano ve ark.⁴⁰ implant üstü bar destekli maksiller overdenture protez uygulanan 15 hastada materyal olarak CAD/CAM sistemi ile üretilmiş PEEK kullanmışlardır. Tüm PEEK bar yapıların pasif uyumla mükemmel şekilde oturduğu ve vidalandığını ve bir yılın sonunda %100 sağ kalım oranı gösterdiği belirtilmiştir. Bu çalışma ile bar tutucuların üretiminde metal yerine PEEK kullanmanın iyi bir alternatif olabileceğini gösterilmiştir.⁴⁰ Üç yıllık prospektif bir çalışmada "all-on-four" konsepti ile 37 hastaya PEEK alt yapı materyali üzerine implant üstü hibrit protez yapılmıştır. Çalışma sonunda PEEK alt yapı hibrit protezlerde; yüksek sağ kalım

oranı ve hasta memnuniyeti, düşük marjinal kemik kaybı, düşük biyolojik ve mekanik komplikasyonlar gözlenmiştir.⁴¹ İmplant destekli restorasyonlarda zirkonya altyapılar yerine PEEK kullanımı protezin ağırlığının azalmasını, esnekliğin artmasını ve mekanik komplikasyonların azalmasını sağlamakla birlikte protez maliyetini artırdığı bildirmiştir.⁴²

4. Teleskopik Overdenture Protezlerde Kullanımı

Metal alaşımlar fiziksel ve mekanik özellikleri ile uzun süredir teleskopik protezlerin yapımında yaygın olarak kullanılmıştır. Ancak metal alerjileri ve hastaların metal içermeyen protez taleplerindeki artış bu restorasyonlar için de yeni materyal arayışına yol açmış ve PEEK teleskop kronlar için de uygun bir materyal olarak görülmüştür.⁴³

Teleskopik overdenture tutucularında görülen en yaygın sorunlarından biri, kullanım sırasında oluşan aşınmaya bağlı retansiyon kaybıdır. Bu sorunun önüne geçebilmek amacıyla, iki biyouyumlu malzeme olan zirkonyum (ZrO₂) ve PEEK teleskopik bağlantı parçalarını üretmekte kullanılmıştır.⁴³ PEEK, titanyum (110 GPa) veya zirkonya (210 GPa) gibi diğer geleneksel malzemelerle karşılaştırıldığında oldukça düşük elastik modüle (4 GPa) sahiptir, bu nedenle PEEK restorasyonların oklüzal yükleri absorbe ettiği ve temasta olduğu yüzeylerde aşınmayı azalttığı düşünülmektedir. İn-vitro çalışmalarda ZrO₂ primer kron ve PEEK sekonder kron tasarımlarında, PEEK bileşenin uzun dönemde aşınma gösterdiği, ayrıca aşınan PEEK sekonder kronun CAD/CAM sistemi sayesinde istenilen sayıda çoğaltılabilemesiyle bu problemin üstesinden gelinebileceği ortaya konulmuştur.⁴³ Sekonder kron olarak PEEK kullanılan teleskopik tutucularda, PEEK'in iyi şekillenebilen, uyum sağlayan, yumuşak ve esnek bir materyal olması sebebiyle koniklik açısının değişmesi tutuculuk kuvvetini etkilememektedir.⁴⁴

5. Oklüzal Splint Materyali Olarak Kullanımı

Geleneksel olarak akrilik rezinlerden yapılan oklüzal splintlerin hoş olmayan tatları, boyutsal değişikliklere uğramaları, artık monomerler oluşturmaları, zamanla renginin değişmesi ve kırılmaya yatkın olmaları hastalar tarafından kullanılmalarını güçleştirmektedir.⁴⁵ PEEK materyalinin şiddetli oklüzal kuvvetler altında şok emici özellik göstermesi, hafif olması ve aşınma direncinin yüksek olması gibi özellikleri oklüzal

splint yapımında kullanımını sağlamıştır.^{41, 45} Wang ve ark.⁴⁶ uyku brüksizmi olan hastalarda dijital oklüzal splintlerin ve geleneksel sert splintlerin ön klinik etkilerini karşılaştırdıkları çalışmada, PEEK oklüzal splintlerin 12. hafta sonunda daha az aşınma gösterdiğini ve klinik gereksinimleri karşılayabilecek özelliklere sahip olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca fiziksel özellikleri sayesinde PEEK materyalinden yapılan splintler daha ince üretilerek hasta memnuniyetini arttırmışlardır.⁴⁶ Diğer yandan CAD/CAM ile üretilen PEEK periodontal splint, mobilitesi olan alt ön dişleri desteklemek için kullanılmıştır.⁴⁷

6. Diğer Dental Uygulamalarda Kullanımı

Aşırı madde kaybına uğramış endodontik tedavili dişlerin restorasyonunda kullanılan metal içermeyen post kor sistemleri arasında günümüzde PEEK postlar da yer almaktadır. Dentinden daha düşük elastik modülü ile PEEK post materyali olarak kullanıldığına dentine iletilen streslerin homojen dağılmasını sağlamaktadır. Ayrıca PEEK'in hem dentin hem de rezin siman ile adezyon göstermesi dentindeki gerilimlerin azalmasına neden olmaktadır.⁴⁸ Çeşitli estetik postlar ile restore edilen endodontik tedavi görmüş dişlerin kırılma dirençleri incelendiğinde, tüm estetik post materyalleri içinde PEEK postun en yüksek kırılma direnci gösterdiği belirtilmiştir.⁴⁸ CAD/CAM ile üretilen PEEK dental postların yüzey adeziv özelliklerinin, cam fiber ve metal postlarla karşılaştırıldığı Benki ve ark.⁴⁹ tarafından yapılan çalışmada PEEK'in daha yüksek bağlanma dayanımı gösterdiği tespit edilmiştir.

PEEK pediatrik hastalarda erken süt dişi kayıplarında uygulanan yer tutucu apareylerin yapımında kullanılmış ve geleneksel apareylere göre daha uyumlu, estetik ve hafif yer tutucular elde edildiği ve hastaların daha kolay uyum sağladığı gözlemlenmiştir.⁵⁰

SONUÇ

PEEK materyali biyouyumluluğu, iyi mekanik ve fiziksel özellikleri ile protetik diş hekimliğinde metal alaşımlara ve titanyuma alternatif oluşturmuş bir materyaldir. PEEK sabit protezler, hareketli protezler, implant destekli protezler ve implant bileşenleri başta olmak üzere birçok protetik uygulamada kullanılmıştır. Ancak PEEK materyalinin fiziksel özellikleri ile diğer dental materyallerle etkileşimi üzerine çalışmalar devam etmektedir ve materyalin ağız için-

de protetik uygulamalarda kullanımı üzerine kanıt dayalı klinik verilere ihtiyaç vardır.

KAYNAKLAR

1. Zimmermann, M, Mehl, A, Reich, S. New CAD/CAM Materials and Blocks for Chairside Procedures. *Int J Comput Dent* 2013;16:173-81.
2. Kurtz, SM. An overview of PEEK biomaterials. Kurtz, SM, editor. *PEEK biomaterials handbook*. 2nd ed. Elsevier; 2019. p. 1-7.
3. Özden, S, Demir, H. Polieter eter keton (peek) diş hekimliğinde yükselen materyal. *NEU Dent J* 2020;2:76-85.
4. Rahmitasari, F, Ishida, Y, Kurahashi, K, Matsuda, T, Watanabe, M, Ichikawa, T. PEEK with reinforced materials and modifications for dental implant applications. *J Dent* 2017;5:35.
5. Çulhaoğlu, AK, Özkır, SE, Türkkal, F. Polieter Eter Keton (Peek) Ve Dental Kullanımı. *Atatürk Üniv Diş Hek Fak Derg* 2019;29:711-718.
6. Skirbutis, G, Dzingutė, A, Masiliūnaitė, V, Šulcaitė, G, Žilinskis, J. A review of PEEK polymer's properties and its use in prosthodontics. *Stomatologija* 2017;19:19-23.
7. Nieminen, T, Kallela, I, Wuolijoki, E, Kainulainen, H, Hiidenheimo, I, Rantala, I. Amorphous and crystalline polyetheretherketone: Mechanical properties and tissue reactions during a 3-year follow-up. *J. Biomed Mater Res A* 2008;84:377-83.
8. Qin, L, Yao, S, Zhao, J, Zhou, C, Oates, TW, Weir, MD, et al. Review on development and dental applications of polyetheretherketone-based biomaterials and restorations. *Materials*. 2021;14:408
9. Costa-Palau, S, Torrents-Nicolas, J, Brufau-de Barberà, M, Cabratosa-Termes, J. Use of polyetheretherketone in the fabrication of a maxillary obturator prosthesis: a clinical report. *J Prosthet Dent* 2014;112:680-2.
10. Stawarczyk, B, Özcan, M, Trottmann, A, Schmutz, F, Roos, M, Hämmerle, C. Two-body wear rate of CAD/CAM resin blocks and their enamel antagonists. *J Prosthet Dent* 2013;109:325-32.
11. Stawarczyk, B, Eichberger, M, Uhrenbacher, J, Wimmer, T, Edelhoff, D, Schmidlin, PR. Three-unit reinforced polyetheretherketone composite FDPs: influence of fabrication method on load-bearing capacity and failure types. *Dent Mater J* 2015;34:7-12.
12. Papathanasiou, I, Kamposiora, P, Papavasiliou, G, Ferrari, M. The use of PEEK in digital prosthodontics: A narrative review. *BMC Oral Health* 2020;20:1-11.
13. Liebermann, A, Wimmer, T, Schmidlin, PR, Scherer, H, Löffler, P, Roos, M, et al. Physicomechanical characterization of polyetheretherketone and current esthetic dental CAD/CAM polymers after aging in different storage media. *J Prosthet Dent* 2016;115:321-8.
14. Zoidis, P, Papathanasiou, I, Polyzois, G. The use of a modified poly-ether-ether-ketone (PEEK) as an alternative framework material for removable dental prostheses. A clinical report. *J Prosthodont* 2016;25:580-4.

15. Zhou, L, Qian, Y, Zhu, Y, Liu, H, Gan, K, Guo, J. The effect of different surface treatments on the bond strength of PEEK composite materials. *Dent Mater* 2014;30:209-15.
16. Stawarczyk, B, Keul, C, Beuer, F, Roos, M, Schmidlin, PR. Tensile bond strength of veneering resins to PEEK: impact of different adhesives. *Dent Mater J* 2013;32:441-8.
17. Noiset, O, Schneider, Y-J, Marchand-Brynaert, J. Adhesion and growth of CaCo₂ cells on surface-modified PEEK substrata. *J Biomater Sci Polym Ed* 2000;11:767-86.
18. Rauch, A, Hahnel, S, Günther, E, Bidmon, W, Schierz, O. Tooth-Colored CAD/CAM Materials for Application in 3-Unit Fixed Dental Prostheses in the Molar Area: An Illustrated Clinical Comparison. *Materials* 2020;13:5588.
19. Bağkur, M, Nadirov, M, Akçaboy, C. Kumlamanın Polietereterketon ve Rezin Siman Bağlantı Dayanımına Etkisi. *SAK* 2020;5:5-6.
20. Biris, C, Bechir, ES, Bechir, A, Mola, FC, Badiu, AV, Oltean, C, et al. Evaluations of Two Reinforced Polymers Used as Metal-Free Substructures in Fixed Dental Restorations. *Mater Plast* 2018;55:33.
21. Meshreky, M, Halim, C, Katamish, H. Vertical Marginal Gap Distance of CAD/CAM Milled BioHPP PEEK Coping Veneered by HIPC Compared to Zirconia Coping Veneered by CAD-On lithium disilicate "In-Vitro Study". *ADJC* 2020;2:43-50.
22. Wimmer, T, Huffmann, AMS, Eichberger, M, Schmidlin, PR, Stawarczyk, B. Two-body wear rate of PEEK, CAD/CAM resin composite and PMMA: Effect of specimen geometries, antagonist materials and test set-up configuration. *Dent Mater* 2016;32:127-36.
23. Negm, EE, Aboutaleb, FA, Alam-Eldein, AM. Virtual evaluation of the accuracy of fit and trueness in maxillary poly (etheretherketone) removable partial denture frameworks fabricated by direct and indirect CAD/CAM techniques. *J Prosthodont* 2019;28:804-10.
24. Muhsin, SA, Wood, DJ, Johnson, A. Effects of novel polyetheretherketone (PEEK) clasp design on retentive force at different tooth undercuts. *JODR* 2018;5:13-25.
25. Tribst, JPM, Dal Piva, AMdO, Borges, ALS, Araújo, RM, da Silva, JMF, Bottino, MA, et al. Effect of different materials and undercut on the removal force and stress distribution in circumferential clasps during direct retainer action in removable partial dentures. *Dent Mater* 2020;36:179-86.
26. Ye, H, Li, X, Wang, G, Kang, J, Liu, Y, Sun, Y, et al. A Novel Computer-Aided Design/Computer-Assisted Manufacture Method for One-Piece Removable Partial Denture and Evaluation of Fit. *Int J Prosthodont* 2018;31:149-51
27. Chen, X, Mao, B, Zhu, Z, Yu, J, Lu, Y, Zhang, Q, et al. A three-dimensional finite element analysis of mechanical function for 4 removable partial denture designs with 3 framework materials: CoCr, Ti-6Al-4V alloy and PEEK. *Sci Rep* 2019;9:1-10.
28. Harb, IE, Abdel-Khalek, EA, Hegazy, SA. CAD/CAM constructed poly (etheretherketone) (PEEK) framework of Kennedy class I removable partial denture: a clinical report. *J Prosthodont* 2019;28:595-8.
29. Hada, T, Suzuki, T, Minakuchi, S, Takahashi, H. Reduction in maxillary complete denture deformation using framework material made by computer-aided design and manufacturing systems. *J Mech Behav Biomed* 2020;103:103514.
30. Tasopoulos, T, Chatziemmanouil, D, Kouveliotis, G, Karaiskou, G, Wang, J, Zoidis, P. PEEK Maxillary Obturator Prosthesis Fabrication Using Intraoral Scanning, 3D Printing, and CAD/CAM. *Int J Prosthodont* 2020;33:333-40
31. Ye, H, Wang, Z, Sun, Y, Zhou, Y. Fully digital workflow for the design and manufacture of prostheses for maxillectomy defects. . *J Prosthet Dent*. 2020; 9:S0022-3913(20)30422-4. doi: 10.1016/j.prosdent.2020.05.026.
32. Mishra, S, Chowdhary, R. PEEK materials as an alternative to titanium in dental implants: A systematic review. *Clin Implant Dent R* 2019;21:208-22.
33. Beretta, M, Poli, PP, Pieriboni, S, Tansella, S, Manfredini, M, Cicciù, M, et al. Peri-implant soft tissue conditioning by means of customized healing abutment: a randomized controlled clinical trial. *Materials* 2019;12:3041.
34. Ortega-Martínez, J, Farré-Lladós, M, Cano-Batalla, J, Cabratosa-Termes, J. Polyetheretherketone (PEEK) as a medical and dental material. A literature review. *M Med. Res. Arch* 2017;5:1-16
35. de Val, JEMS, Gómez-Moreno, G, Martínez, CP-A, Ramírez-Fernández, MP, Granero-Marín, JM, Gehrke, SA, et al. Peri-implant tissue behavior around non-titanium material: Experimental study in dogs. *Ann Anat* 2016;206:104-9.
36. Neumann, EAF, Villar, CC, França, FMG. Fracture resistance of abutment screws made of titanium, polyetheretherketone, and carbon fiber-reinforced polyetheretherketone. *Braz Oral Res* 2014;28:1-5.
37. Jin, H-y, Teng, M-h, Wang, Z-j, Li, X, Liang, J-y, Wang, W-x, et al. Comparative evaluation of BioHPP and titanium as a framework veneered with composite resin for implant-supported fixed dental prostheses. *J Prosthet Dent* 2019;122:383-8.
38. Mangano, F, Mangano, C, Margiani, B, Admakin, O. Combining intraoral and face scans for the design and fabrication of computer-assisted design/computer-assisted manufacturing (cad/cam) polyether-ether-ketone (peek) implant-supported bars for maxillary overdentures. *Scanning* 2019; 22;2019:4274715.
39. de Araújo Nobre, M, Moura Guedes, C, Almeida, R, Silva, A, Sereno, N. Hybrid Polyetheretherketone (PEEK)-Acrylic Resin Prostheses and the All-on-4 Concept: A Full-Arch Implant-Supported Fixed Solution with 3 Years of Follow-Up. *J Clin Med* 2020;9:2187.
40. Cabello-Domínguez, G, Pérez-López, J, Veiga-López, B, González, D, Revilla-León, M. Maxillary zirconia and mandibular composite resin-lithium disilicate-modified PEEK fixed implant-supported restorations for a completely edentulous patient with

an atrophic maxilla and mandible: A clinical report. *J Prosthet Dent* 2020;124:403-10.

41. Emera, R, Elgamal, M, Albadwei, M. Surface wear of All Zirconia, All PEEK and Zirconia-Peek Telescopic Attachments for Two Implants Retained Mandibular Complete Overdentures. Vitro study using scanning electron microscope IOSR -JDMS 2019;18:59-68.

42. Merk, S, Wagner, C, Stock, V, Eichberger, M, Schmidlin, PR, Roos, M, et al. Suitability of secondary PEEK telescopic crowns on zirconia primary crowns: the influence of fabrication method and taper. *Materials* 2016;9:908.

43. Benli, M, Gümüş, BE, Kahraman, Y, Gökçen-Rohlig, B, Evlioğlu, G, Huck, O, et al. Surface roughness and wear behavior of occlusal splint materials made of contemporary and high-performance polymers. *Odontology* 2020;108:240-50.

44. Wang, S, Li, Z, Ye, H, Zhao, W, Liu, Y, Zhou, Y. Preliminary

clinical evaluation of traditional and a new digital PEEK occlusal splints for the management of sleep bruxism. *J Oral Rehabil* 2020;47:1530-7.

45. Elfahl, BN, Mostafa, TME. Polyetheretherketone custom CAD-CAM splint for treatment of periodontally affected mobile anterior teeth. *J Prosthet Dent* 2020; 2:S0022-3913(20)30614-4. doi: 10.1016/j.prosdent.2020.08.031.

46. Haralur, SB. Fracture resistance of endodontically treated teeth restored with various esthetic posts. *Technol Health Care* 2021;29:243-252

47. Benli, M, Gümüş, BE, Kahraman, Y, Huck, O, Özcan, M. Surface characterization and bonding properties of milled polyetheretherketone dental posts. *Odontology* 2020:1-11.

48. Guo, H, Wang, Y, Zhao, Y, Liu, H. Computer-aided design of polyetheretherketone for application to removable pediatric space maintainers. *BMC Oral Health*. 2020;20:1-10