

Polieter-Eter-Keton (PEEK) Diş Hekimliğinde Yükselen Materyal

Material Rising in Dentistry Poly-Ether-Ether-Ketone (PEEK)

Safa ÖZDEN¹ 
ozden_safa@hotmail.com

Hakan DEMİR² 
dthakan@gmail.com

ÖZ

Poli-eter-eter-eton (PEEK); yüksek performanslı polimerlerden poli-aril-eter-eton (PAEK) ailesine ait, keton ve eter fonksiyonel grupları ile birbirine bağlanmış aromatik polimer moleküler zincir yapısında yarı kristal bir termoplastiktir. İlk olarak endüstriyel alanda kullanım alanı bulan PEEK sonraki yıllarda medikal uygulamalarda da kullanılmaya başlanmıştır. Medikal uygulamalardan elde edilen olumlu sonuçlar ve yaşanan teknolojik gelişmelerle birlikte PEEK diş hekimliği alanına da girmiştir. Diş hekimliği alanında kullanılan metal alaşımlarıyla mukayese edilebilir düzeyde dayanıklı yapısı, dental seramikler gibi estetik özellikleri, bilgisayar destekli tasarım ve üretim (CAD-CAM) sistemleriyle birlikte kullanılabilmesi ve biyolojik olarak da doku dostu bir materyal olması nedeniyle gün geçtikçe kullanımı artmaktadır. Protetik uygulamalar ağırlıkta olmak üzere birçok diş hekimliği uygulamalarında tercih edilebilecek özelliklere sahip bir materyaldir. Hatta PEEK implantların, titanyum implantlara alternatif bir implant materyali olduğu düşünülmekte ve bu konu üzerinde birçok araştırma yapılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Poli-aril-eter-eton (PAEK), Poli-eter-eter-eton (PEEK), Diş Hekimliği

Geliş: 03.07.2020

Kabul: 01.10.2020

Yayın: 31.10.2020

ABSTRACT

Poly-ether-ether-ketone (PEEK) is a semicrystalline thermoplastic, consisting of an aromatic polymer molecular chain interconnected by ketone and ether functional groups, from high-performance polymer group poly-aryl-ether-ketone (PAEK). PEEK, which was first used in the industrial field, began to be used in medical applications in the following years. PEEK has also entered the field of dentistry, with the positive results from medical applications and technological developments. It's usage is increasing day by day due to its durable structure which can be compared to metal alloys used in dentistry, its esthetic properties such as dental ceramics, can be used in computer-aided design and manufacture (CAD-CAM) systems, and for its biologically friendly material with tissue. It is a material with properties that can be preferred in many dental applications, particularly prosthetic applications. In fact, PEEK implants are thought to be an alternative implant material to titanium implants, and a lot of research is still being done on this subject.

Keywords: Polyaryl-ether-ketone (PAEK), Polyether-ether-ketone (PEEK), Dentistry

Received: 03.07.2020

Accepted: 01.10.2020

Published: 31.10.2020

Atıf / Citation: Özden S, Demir H. Polieter-eter-eton (peek) diş hekimliğinde yükselen materyal. NEU Dent J. 2020; 2: 76-85.

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Afyonkarahisar Ağız ve Diş Sağlığı Merkezi Afyonkarahisar, Türkiye

2. Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi AD Sivas, Türkiye



"This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) (CC BY-NC 4.0)

GİRİŞ

Bilimsel ilerlemeler ve gelişen teknoloji yeni materyallerin diş hekimliğine kazandırılmasını sağlamaktadır. Günümüz diş hekimliğinde kullanılabilecek bir materyal yapısında birtakım temel özellikleri buldurmak zorundadır. Yüksek estetik, dayanıklılık, doğal diş ve çevre dokuları yapısal olarak taklit edebilme yeteneği bu temel özelliklerin bazılarıdır. Diş hekimliği alanında kullanılacak materyallerde bu özellikler arasında belirli bir denge bulunmalıdır. Çünkü bir materyal çok estetik özelliklere ve yüksek dayanıklılığa sahip olsa da eğer doku dostu değilse diş hekimliği alanında kullanımı uygun olmayacaktır. İşte bu hassas denge göz önünde bulundurularak yapılan çalışmalar sonucunda son yıllarda termoplastiklere olan ilgi giderek artmıştır.^{1,2} PEEK, doku dostu olması, dayanıklı yapısı, modifiye edilebilmesi, hafif olması, düşük elastik modülü, CAD-CAM sistemleriyle birlikte kullanılabilmesi, ışık geçirgenliği ve bu özelliklerinin yanında diş hekimliği alanında kullanılan metallere alternatif oluşturabilmesi nedeniyle ilgi çekmekte, araştırmalara konu olmaktadır.³ Yaptığımız bu derlemeyle PEEK'in diş hekimliği alanında günümüzdeki yerini belirleyerek gelecek çalışmalara ışık tutmayı amaçladık.

GENEL ÖZELLİKLER

PEEK; yüksek performanslı polimerlerden poli-eter-eter-keton ailesine ait, keton ve eter fonksiyonel grupları ile birbirine bağlanmış aromatik polimer moleküler zincir yapısında yarı kristal bir termoplastiktir.² Sentezi bisfenol tuzunun alkilasyonu ile gerçekleşir.⁴ PEEK'in cam faza geçiş ısısı 145 °C, erime ısısı 334 °C, kristalizasyon ısısı da 343°C'dir.⁵ Granül veya toz formları mevcuttur. Üreticiler tarafından saf olarak üretilebilmesinin yanında yapısal özelliklerini geliştirebilmek amacıyla cam, karbon, seramik gibi bazı doldurucularla modifiye edilerek de üretilebilmektedir. Modifikasyon işlemi polimerizasyon öncesi fonksiyonel polimer ilavesi ya da polimerizasyon sonrası sülfonasyon, aminasyon ve nitrasyon gibi kimyasal işlemlerle gerçekleştirilebilir.⁶ Saf PEEK, ten rengindedir ancak istenilen özelliğe göre ilave edilen dolduruculara bağlı olarak rengi değiştirilebilir.¹ Modifiye edilmemiş saf haldeki PEEK hidrofobik ve bioinert özellik göstermektedir.⁷ Bir materyal, vücut tarafından kolayca kabul edilme yeteneğini kanıtlamamışsa ya da zamanla vücutta parçalanıyorsa başarısız bir materyal sayılır. Kartzer ve ark. saf PEEK'in canlı dokuda mutajenite veya sitotoksitesite gösterdiğine dair kanıt bulunmadığını belirtmişlerdir.⁸ Saf haldeki PEEK toksik ya da mutajenik etkilerinin olmamasının yanında klinik olarak anlamlı enflamasyon da oluşturmamaktadır.⁹ PEEK fiziksel ve kimyasal olarak kararlı bir yapıya sahiptir. Konsantre sülfürik asit (%98) dışında tüm

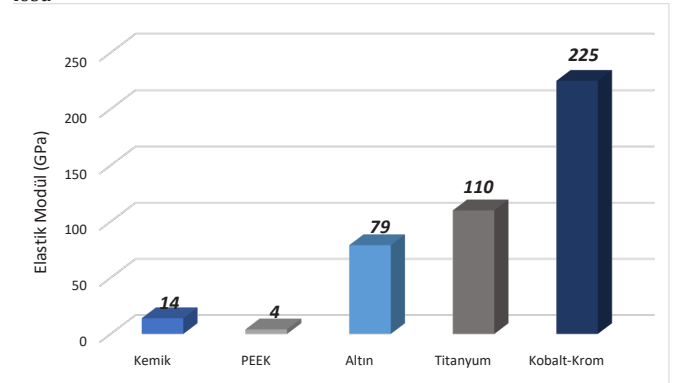
geleneksel çözücü maddelere karşı dirençlidir. Sıcak buhar uygulaması, gama ışınları ya da etilen oksit gibi sterilizasyon işlemleri PEEK'in mekanik özelliklerinde değişime neden olmaz.^{10,11} PEEK medikal ve dental uygulamalarda sadece stabilite ve mekanik özellikler nedeniyle değil, aynı zamanda radyolojik incelemelerde radyolüsent özellik gösterdiği için de tercih edilmektedir. Radyolojik olarak radyolüsent görünümü sayesinde kemik dokuda meydana gelen değişiklikler daha rahat izlenebilmektedir.¹ İstenilirse baryum sülfat ilavesiyle radyolojik olarak görünürlüğü ve kontrastı artırılabilir.¹² Bükülme dayanımı 140-170 MPa olup doğal dişlerle uyumlu bir yapıya sahiptir ve doğal dişlerde aşınmaya neden olmaz.³ Piyasada poli-eter-keton-keton (PEKK) gibi yüksek performanslı polimerler de bulunmaktadır ancak PEEK şu anda en popüler yüksek performanslı polimerdir ve tıp alanında da ortopedik amaçla uzun yıllardır kullanılmaktadır.¹

Yaygın olarak kullanılan PAEK çeşitleri;

- %100 PEEK, doldurucusuz (JUVORA, Invibio Biyomateryal, ABD).
- %80 PEEK, %20 nanoseramik doldurucu (BioHPP, Bredent Medikal, Almanya).
- %80 PEEK, %20 titanyum dioksit doldurucu (Dentokeep, NT Dijital İmplant Teknoloji, Almanya).
- %80 PEKK, %20 titanyum dioksit doldurucu (Pekton Ivory, Cendres-Metaux, İsviçre).

PEEK'in elastik modülü (Tablo 1) spongios ve kortikal kemik elastik modüllerine yakındır ve 3-4 GPa'dır.^{1,13,14} Karbon fiber ilavesi PEEK'in gerilme dayanımını ve elastik modülünü (19-150 GPa) artırır. Bu sayede materyal daha sağlam ve stabil hale gelir.^{5,13} Karbon fiber ilavesi ile, PEEK'in kortikal kemik ve dentinle olan uyumu da artırılmaktadır.¹⁴⁻¹⁶ Elastik modülünün kemiğe yakın olması sayesinde gelen kuvvetlere karşı bir stres kırıcı olarak hareket edebilmektedir.¹⁷ PEEK'in çekme dayanımı da mine, dentin ve kemiğe benzerdir. Bu özellikleri sayesinde kemik ve canlı dokular üzerinde daha az stres oluşturmaktadır.^{18,19}

Tablo 1: PEEK, kemik ve diğer dental materyallere ait elastik modül tablosu



PEEK'in ticarileşmesi ve kullanım alanı bulması ilk olarak endüstriyel alanda olmuştur. PEEK havacılık, otomotiv, petrol ve gaz, elektronik gibi endüstri alanlarında yaygın kullanım alanları bulmuştur.²⁰ İlerleyen yıllarda medikal alanda da vertebra cerrahisinde metal implant parçalarının yerine kullanılmıştır. PEEK karbon fiber ilavesi ile modifiye edilebilmesinden sonra da kırık parçaların sabitlenmesinde ve kalça protezlerinde kullanım alanı bulmuştur.¹⁰

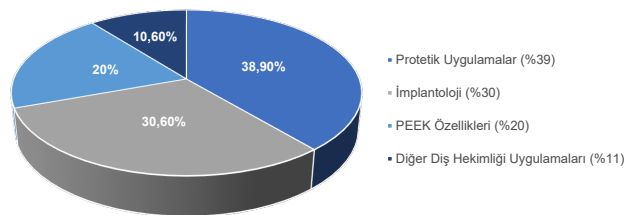
Panayotov ve ark. çalışmalarında PEEK'in medikal alanda klinik olarak kullanımını beş başlıkta sınıflandırmışlardır:⁵

- 1-) Maksillo-fasiyal kafatası implantları
- 2-) Spinal cerrahi
- 3-) Ortopedik cerrahi
 - a-) Kemik ve kalça eklemi implantları
 - b-) Ortopedik sabitleyici olarak plak ve vidalar
- 4-) Dental implantlar [Karbon fiberle güçlendirilmiş PEEK (CFR-PEEK)], protezler ve kanal içi postlar
- 5-) Kalp cerrahisi

DİŞ HEKİMLİĞİ ALANINDA PEEK

PEEK beyaz rengi, düşük özgül ağırlığı ve uygun mekanik özellikleri sayesinde özellikle protetik işlemlerde tercih edilen bir materyaldir.^{21,22} Bathala ve ark. PEEK'in diş hekimliğindeki yerini araştırdıkları güncel sistematik derlemede elde ettikleri sonuçlara göre taradıkları makalelerin %20 sinin PEEK'in özellikleri üzerine, %30,6 sınıfın implantla ilişkili, %38,9 unun protetik uygulamalarla ve %10,6 sınıfın da diğer diş hekimliği uygulamalarıyla alakalı olduğunu belirtmişlerdir.³ (Tablo 2)

Tablo 2: PEEK'in Diş Hekimliği Uygulamalarındaki Yeri



PEEK geleneksel hareketli protezlerde, implantüstü overdenture protezlerde, implantüstü hibrit protezlerde, sabit protezlerde geçici ve daimi altyapı materyali olarak inlay-onley restorasyonlarda ve hatta obturatör yapımında kullanılmaktadır.²²⁻²⁵ Bunların yanında kanal içi post uygulamaları, indirekt restoratif uygulamalar, kemik augmentasyon uygulamaları, ortodontik braket ve tellerin üretimi, çocuklarda sabit ve hareketli yer tutucu uygulamaları gibi diğer diş hekimliği alanlarında da kullanımına yönelik çalışmalar yapılmakta ve PEEK'in diş hekimliği alanının-

da kullanımı giderek artmaktadır.²⁶⁻³⁰

İMLANTOLOJİ - PEEK

Geleneksel implantlar osseointegrasyon kabiliyetleri nedeniyle titanyum ve titanyum alaşımlarından üretilmektedir. Ancak literatürde titanyum implantların periimplant kemik dokuda stres birikimine sebep olabildiği ve bu stresin implant kırıklarına ya da kemik dokuda rezorbsiyona neden olabildiği³¹ üzerinde durulmuş, rezorbsiyona bağlı olarak açığa çıkan pürüzlü titanyum yüzeyin ise bakteriyel plak oluşumunu artırarak periimplantitise yol açabileceği belirtilmiştir.³²⁻³⁵ Bazı vakalarda titanyuma karşı aşırı duyarlılık reaksiyonlarının görülebildiği³⁶ ve titanyum implantlarda korozyonun da bir başka problem olduğu belirtilmektedir.³⁷ Estetik açıdan değerlendirildiğinde de titanyum implantların yeterli doku desteği bulunmadığında mukoza altından gri renkli yansımaları istenmeyen bir durumdur.³⁸ Titanyum implantların sahip olduğu bu olumsuz özellikleri nedeniyle son yıllarda titanyum implantlara alternatif olarak piyasaya zirkonyum dioksit seramik implantlar sunulmuştur.³⁹ Ancak zirkonyum dioksit implantların titanyum implantlara gerçek bir alternatif olup olamayacağı yönünde yapılmış yeterli uzun dönem klinik çalışma bulunmamaktadır.^{40,41} PEEK'in elastik modülü spongios ve kortikal kemik elastik modüllerine yakındır ve 3-4 GPa'dır.⁴² Aynı zamanda karbon fiber ilavesi ile kolaylıkla kortikal kemikle benzer elastik modülü kazandırılabilir. Bu sayede geleneksel implantların kortikal kemikle uyumsuz elastik modülüne sahip olmasına bağlı olarak karşılaşılan periimplant stres birikimi ve rezorbsiyonların önüne geçilebilir.⁴³ PEEK'in aşınma ve yorulmaya karşı dayanıklı olması saf halde toksik ya da mutajenik etki gösterdiğine dair kanıt olmamasının yanında; radyolojik olarak radyolüsent görünümü ve manyetik rezonans (MR) görüntüleme, bilgisayarlı tomografi (BT) görüntüleme tekniklerinde artefaktlara sebep olmaması nedeniyle diş hekimliğinde alternatif bir implant materyali olarak değerlendirilmektedir.^{3,44-46} Tüm bu avantajlarına rağmen PEEK, rutin dental implant üretiminde şuan için kullanılamamaktadır. Araştırmacılar bu durumun PEEK'in bio-inert bir yüzeye sahip olmasından kaynaklanabileceğini belirtmektedirler. Hücresel adezyon için hidrofilik yüzeylere ihtiyaç vardır. Hidrofobik yüzeyler hücresel adezyonu azaltmaktadır. Birçok polimerde olduğu gibi PEEK de düşük yüzey enerjisine sahip olduğu için bioinert bir materyaldir.^{8,47} Bu nedenle de PEEK üzerinde çeşitli yüzey modifikasyon işlemleri uygulanarak osseointegrasyon için gerekli olan yüzey özellikleri elde edilmeye çalışılmaktadır.⁴⁸ Beta-trikalsiyum-fosfat (β-TCP), hidroksiapatit (HA), titanyum dioksit (TiO₂) gibi yüzey modifiye edici ajanlarla yüzey işlemlerine tabi tutularak PEEK'in osseointeg-

rasyonunu arttırmayı hedefleyen çalışmalar bulunmaktadır.^{49,50} Cook ve Rust-Dawicki⁵¹ çalışmalarında titanyum kaplı PEEK implantları köpek femur kemiğine uygulamış ve titanyum kaplı PEEK implantların titanyum kaplanmayanlara göre daha başarılı osseointegre olduklarını belirtmişlerdir. Johansson ve ark. tavşanlar üzerinde yaptıkları çalışmada HA kaplı PEEK implantların, herhangi bir yüzey işlemi uygulanmayan PEEK implantlara göre anlamlı derecede daha yüksek tersine tork değerlerine sahip olduklarını görmüşlerdir.⁵² Mishra ve Chowdhary PEEK'in farklı yüzey modifikasyon işlemleri ile biyouyumluluğunun arttırıldığını buna bağlı olarak da hücresel adezyon ve proliferasyonda artış gözlemlendiğini ve materyalin osteojenik özelliklerinin arttığını belirtmişlerdir. Buna rağmen araştırmacılar PEEK implantların şu an için titanyum implantların yerini alamayacağını ve uzun dönem klinik çalışmalara ihtiyaç olduğunu vurgulamışlardır.⁵³

İMLANT ÜSTÜ PROTEZLER – PEEK

PEEK günümüzde daha çok implant üst yapılarında geçici abutment ve iyileşme başlığı olarak tercih edilmekte olup klinik olarak da kullanılmaktadır.^{54,55} Koutouzis ve ark. PEEK ve titanyum abutmentler arasında kemik rezorbsiyonu ve yumuşak doku enfeksiyonu açısından anlamlı bir fark olmadığını belirtmişlerdir.⁵⁵ Ayrıca PEEK'in oral mikrobiyal flora ataçmanı titanyum, zirkonya ve polimetilmetakrilat abutmentlerle benzerdir.⁵⁶ Kemiğe yakın elastik modülü sebebiyle stresi dağıtabilmesi, beyaz rengi, kompozit materyallerle olan bağlantısı gibi özellikleri nedeniyle PEEK abutmentler özellikle geçici dönem abutment ya da iyileşme başlığı olarak kullanılabilir. Daimi abutment olarak kullanılabilmesi için daha çok klinik ve laboratuvar çalışmaya ihtiyaç vardır.

Tam dişsiz hastalarda hemen yükleme protokolleri ile hastaların yüz görünüşleri estetik olarak düzeltilmekte, fonasyonlarına katkı sağlanmakta ve çiğneme fonksiyonları geri kazandırılmaktadır.⁵⁷ Kemik augmentasyon prosedürleri ve ileri cerrahi işlemlerden kaçınmak amacıyla geliştirilen All on four konsepti ile de hemen yükleme yapılabilir.⁵⁸ All on four konseptiyle tedavi edilmesi planlanan tam dişsiz vakalarda protetik olarak kullanılacak farklı altyapı materyalleri bulunmaktadır. Altın, gümüş gibi değerli metal alaşımları ya da kobalt-krom gibi adi metal alaşımlarının yanı sıra titanyum ya da zirkonyum altyapılar hazırlanabilir. CAD-CAM sistemleriyle üretilebilmesi, düşük elastik modülü ve şok emici özellik gösterebilmesi, rezinlerle uyumlu olması sebebiyle PEEK hibrit protezlerde alternatif bir altyapı materyali olarak öne çıkmaktadır.

Malo ve ark.²⁵ all on four konseptiyle dişsiz hastalara

uyguladıkları implantların üst yapılarını, PEEK-akrilik rezin hibrit protezlerle restore ederek bir yıllık takip sonuçlarını değerlendirdikleri çalışmalarında PEEK-akrilik rezin hibrit protezlerin başarı oranlarının %98 olduğunu, herhangi bir implant kaybı yaşanmadığını ve ortalama 0.37 mm kemik kaybı görüldüğünü belirtmişlerdir.

Altyapılar üzerine restoratif materyallerin de ekleneceğini düşünürsek toplam ağırlık miktarının fazla olması hasta memnuniyetini de azaltacaktır.⁵⁹ PEEK bu durumlarda düşük özgül ağırlığı ile hafif protezlerin üretilmesini mümkün kılmaktadır.⁵⁹ Titanyum ve kobalt-krom altyapıların metalik renklerini kamufle etmek gerekmektedir. Oysa PEEK ve zirkonya beyaz renklidir ve estetik beklentilere cevap verebilmektedirler.^{2,60} PEEK rezin sistemlerle de uyumlu olduğu için estetik bir üstyapı dizaynı elde edilebilmekte ve uzun dönemde yaşanabilecek kompozit kırıklarının tamirini mümkün kılmaktadır.⁶¹ PEEK elastik modülünün düşük olması sebebiyle şok emici özellik göstermekte olup implant ve çene kemiğine iletilen kuvvetleri azaltmaktadır.⁴² Zirkonya ise daha rijit bir materyal olması sebebiyle gelen kuvvetleri implant ve çevre dokulara daha fazla iletmektedir.⁶²

İmlant üstü overdenture protezler geleneksel total protezlere göre oldukça başarılıdır.⁶³ Ancak uzun dönemde özellikle mandibular iki implant üzerine yapılan overdenture protezlerde locater ya da ball ataçmanlara tutunan polietilen lastiklerde meydana gelen aşınmalar zamanla tutuculuğun azalmasına sebep olmakta ve hasta konforunu azaltmaktadır.⁶³ İmlant yerleşiminin paralel olmadığı durumlarda bu süreç daha da hızlanmaktadır. Araştırmacılar titanyum patriks içinde matriks olarak polietilen lastiğin yerine PEKK uyguladıklarında açılı implantlar da dahil olmak üzere daha başarılı sonuçlar elde etmişlerdir.⁶⁴

Tam dişsiz hastalara yapılacak olan implant destekli hibrit protezlerde materyal seçimi önemli bir faktördür.⁶⁵⁻⁶⁷ Diş hekimliğinde yaşanan gelişmelerle birlikte monolitik zirkonya ve PEEK altyapı materyalleri metal-seramik ve metal-rezin hibrit protezlere alternatif oluşturmaktadır.⁶⁸⁻⁷⁰ İmlantüstü hibrit protezlerde PEEK altyapı üzerine kompozitle pembe dişeti oluşturulabilir. Kronlar ise rezinle bağlanabilen tüm materyellerden seçilebilir. Bu şekilde PEEK altyapı üzerine akrilik rezin kronlar dışında zirkonya, lityum disilikat cam seramik, hibrit seramik gibi farklı kron restorasyonları da tercih edilebilir.

Dominguez ve ark.⁷¹ monolitik zirkonya - seramik ve PEEK - seramik hibrit protezlerin tam dişsiz hastalarda birlikte kullanımını değerlendirmişlerdir. Monolitik zirkonyanın metal ve PEEK altyapılara göre yüksek estetik özelliğinden, PEEK'in de kuvvet emici özelliğinden faydalanarak oluşabilecek komplikas-

yonları en aza indirmeyi amaçlayan araştırmacılar bu kombinasyonun performansının değerlendirilebilmesi için daha çok klinik çalışmaya ihtiyaç olduğunu belirtmişlerdir.

SABİT PROTEZLER - PEEK

Yüksek performanslı polimerlerin sahip olduğu mekanik avantajların yanında CAD-CAM teknolojisiyle kullanıldığında seramiklere kıyasla daha hızlı işlenebilmesi, frezlerin ömrünü uzatması ve daha düşük maliyetler oluşturması gibi özellikleri de polimerlere olan ilgiyi arttırmıştır.⁷² Seramiklere göre, polimerlerin en büyük avantajları, fonksiyonel gerilimlerin deformasyon ile daha iyi emilmesini sağlayan düşük elastik modülleri ve karşıt dişin minesinde aşınmaya neden olmamalarıdır.^{73,74} Üreticiler pres ya da CAD-CAM teknikleriyle üretilen PEEK'in sabit ve hareketli protezlerde kullanılabilmesini belirtmektedirler. PEEK kompozit rezin materyalleri ile restore edilebilmektedir. Bu sayede altyapı olarak kullanıldıklarında rezin simanlarla uyumlu farklı üstyapı materyalleri ile birlikte kullanımları da mümkündür.^{61,75}

Modifiye edilmiş PEEK'in sabit protezlerde kron-köprü materyali olarak kullanılabilmesi belirtilmiştir.² Beuer ve ark., yaptıkları çalışmada PEEK'in kırılma dayanımının zirkonya ve seramiklerden daha yüksek olduğunu ve farklı doldurucularla kolayca modifiye edilebileceği sonucuna varmıştır.⁷⁶ CAD-CAM sistemi ile üretilen PEEK kronların zirkonya kronlar gibi düşük marjinal ve internal aralık değerleri sergilediği ve klinik olarak kullanılabilir olduğu gösterilmiştir.²³ PEEK geçici kron-köprü materyali olarak da CAD-CAM sistemi ile üretilip kullanıldığında yüksek kırılma direnci, düşük internal ve marjinal aralık değerlerine sahip olduğu görülmüştür.⁷⁷ Ön bölge estetik restorasyonlarda PEEK'in grimsi kahverengi rengi nedeniyle monolitik olarak kullanılamayacağı bu nedenle de kompozit gibi daha estetik materyallerle birlikte kullanılması gerektiği belirtilmiştir.^{78,79} PEEK ile rezin kompozitler arasındaki bağlantıyı arttırmak için PEEK yüzeyine sülfürik asitle aşındırma, alümina ile kumlama ve silika kaplama gibi farklı yüzey işlemleri uygulanabilmektedir.^{21,80}

Nokturnal brüksizmi olan hastalarda yapısı zayıflayan, kanal tedavisi görmüş ve destek dokusu azalmış dişlerin restorasyonu amacıyla PEEK kronlar kullanılabilir.⁸¹ Kompozit rezinlerle kaplanmış PEEK kronlar seramikler gibi karşıt dişleri aşındırmaz, biyouyumludur, stres tamponlama görevi görür. Ayrıca kompozitte kırılmalar olursa ağız içinde kompozit tamiri yapılabilir. PEEK parafonksiyonel alışkanlıkları olan hastalarda da bir tedavi alternatifidir.⁸¹ Ağır brüksizmi olan erkek hastaların maksimum ısırma kuvvetlerinin 978-1000 N olduğu yapılan çalışmalarda

gösterilmiştir.^{82,83} Stawarczyk ve ark.² 3 üye PEEK sabit protezin yüzey özelliklerini ve kırılma dayanımını inceledikleri çalışmalarında 3 üyeli PEEK restorasyonun plastik deformasyon noktasının 1200 N, kırılma dayanımının da 1383 N olduğu sonucuna varmışlardır. Bu sonuçlara göre PEEK'in kırılma dayanımı, ısırma kuvvetlerinden daha yüksektir. Ancak şiddetli brüksizmi olan hastaların PEEK restorasyonlar için de risk faktörü olduğu gözardı edilmemelidir. Endodontik olarak kanal tedavisi yapılmış olan dişlerde görülen madde kayıplarından dolayı post-kor ile kökten destek alınarak üstyapı restorasyonları yapılmaktadır. Ancak özellikle ince köklerde ve kanal preparasyonu sırasında madde kaybına bağlı olarak zayıflayan köklerin post uygulamalarıyla çatlama ya da kırılma ihtimalleri artmaktadır.⁸⁵ Bu nedenle devital ve aşırı madde kaybı olan dişlerde kök kırıklarını engellemek için inlay, onlay ve endokronlar alternatif tedavilerdir.⁸⁶ Endokron restorasyonlarda PEEK kullanıldığında PEEK'in düşük elastik modülü sayesinde dişte çatlak oluşma ihtimali azalacaktır. PEEK'in kırılma dayanımının da endokron restorasyon materyali olarak kullanılabilmesi için yeterli düzeyde olduğu belirtilmektedir.⁸⁷

Genç erişkinlerde erken daimi diş kaybına bağlı olarak ya da dudak damak yarıklı hastalarda yarık hatında olan dişin kaybına bağlı olan boşlukların daimi restorasyonları, büyüme gelişim süreci tamamlanana dek bekletilmektedir. Hastalara bu süreçte hareketli akrilik protezler kullanılarak estetik, fonksiyon ve fonasyon korunmaya çalışılmaktadır. PEEK bu gibi klinik durumlarda da rezin bağlı sabit restorasyon olarak tercih edilebilir. Bu sayede hareketli protezin istenmeyen rahatsızlıkları elimine edilmiş olur.⁸⁸

HAREKETLİ PROTEZLER - PEEK

PEEK estetik olması, ağızda metalik tad ve artık monomer oluşturmaması, alerjik reaksiyon göstermemesi, mükemmel polisajlanabilirliği, düşük plak afinitesi ve iyi aşınma direnci sayesinde hareketli protezlerde metal kaide ve geleneksel akriliğin yerine tercih edilebilir. Hastalar parsiyel protezlerdeki kroşe ve tırnakların metalik görünümünden rahatsız olurlar ve özellikle ön bölgede metal gözükmelerini istemezler. PEEK'in hem bu estetik beklentilere cevap vermesi hem de dayanıklı yapısı sayesinde parsiyel protez altyapısı olarak kullanılabilmesi belirtilmektedir.⁵⁹

Günümüzde en çok kullanılan protez kaide materyali polimetil-metakrilat (PMMA)'dır. Ancak materyalin özelliklerine bağlı olarak birtakım dezavantajları da vardır. Akrilik protezlerde kırılma çok görülen bir durumdur. Kullanım esnasında ya da sert bir yüzeye düştüklerinde kırılabilmektedirler. Ayrıca alerjik reaksiyonlara sebep olabilmesi de bir başka dezavan-

tajıdır. Artık monomer salınımı olmayan ve kırılmaya karşı dirençli olan PEEK'in sahip olduğu özelliklerden dolayı gelecekte protez kaide materyali olarak da kullanılacağı belirtilmektedir.⁸⁹ PEEK, teleskop kronların kullanıldığı overdenture protezlerde de tercih edilebilir. Primer zirkonya kronların kullanıldığı durumlarda sekonder olarak PEEK kronların kullanılacağı belirtilmektedir.²⁴

PEEK düşük elastik modül ve sertliğe sahip olmasına rağmen aşınmaya karşı direnci metalik alaşımlarla karşılaştırılabilir düzeydedir.⁹⁰ Genellikle sert akrilikten yapılan gece plaklarında zamanla aşınma meydana gelmekte ve plakların yenilenmesi gerekmektedir. Okluzal splint materyallerinin yüzey pürüzlülüğü ve aşınma dirençlerinin karşılaştırıldığı çalışmada PEEK'in diğer materyallerden anlamlı derecede daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.⁹¹ Bu sayede daha az sıklıkla aşınmaya bağlı yenileme işlemine gerek duyulacaktır.

PEEK, obturatör yapımında da geleneksel akrilik protezlere bir alternatiftir.²² Bilgisayarlı tomografi görüntüleri aracılığıyla dijital olarak tasarım ve üretimi yapılabilen PEEK aynı zamanda hafif oluşu ve üstün biyouyumluluk özellikleri sayesinde obturatör olarak çene yüz protezlerinde tercih edilmektedir.⁹² Costa-Palau ve ark.²² klinik raporlarında oronazal defektli bir hasta için konvansiyonel materyallere ve yöntemlere alternatif olarak PEEK ile maksiller obturatör yaptıklarında obturatörün iyi bir retansiyon gösterdiğini, kolay polisajlanabildiğini, hafif ve biyouyumlu olduğunu belirtmişlerdir.

DİĞER UYGULAMALAR – PEEK

Çocuklarda erken süt dişi kaybına bağlı olarak ortaya çıkabilen yer darlıklarını engelleyebilmek ve daimi dentisyonu sağlıklı bir şekilde oluşturabilmek için yer tutucular kullanılmaktadır. Metal yer tutuculara göre hem daha estetik hem de biyolojik olarak daha uyumlu, metalik tad oluşturmayan, ısı ve elektrik iletkenliği olmayan bir materyal olan PEEK ile CAD-CAM sistemleri kullanılarak yer tutucular hazırlanıp kullanılacağı gösterilmiştir.²⁶ PEEK ortodontik teller ile poli-eter-sülfon ve poli-viniliden-difluorur gibi diğer polimerlere kıyasla daha yüksek; kobalt-krom, titanyum-molibden ve nikel-titanyum teller ile de benzer ortodontik kuvvetler elde edilmiştir.²⁷ Kanal içi post uygulamalarında cam fiberler, metal post sistemleri ve PEEK postlar karşılaştırıldığında PEEK postların kırılma dayanımının daha yüksek olduğu gösterilmiştir. Aynı zamanda PEEK'in düşük elastik modülü sayesinde kök kırığı riskinin azaldığı görülmüştür.²⁸ Restoratif olarak inlay restorasyonlarda kullanılan PEEK'in kırılma dayanımının kompozit dolgular gibi çiğneme kuvvetlerinin üstündeki değerlere dirençli olduğu ve indirekt inlay restorasyon

olarak tercih edilebileceği belirtilmiştir.²⁹ Cerrahi olarak kemik artırım amacıyla CAD-CAM sistemi ile kişisel olarak ince bir şekilde hazırlanan PEEK bloklar, alveolar kemiğe vidalanıp çatı olarak kullanılarak greftleme yapıldıktan sonra yeni kemik kazanımı elde edilmiştir.³⁰ Bir başka augmentasyon çalışmasında PEEK ve Titanyum mesh karşılaştırıldığında kemik kazanımı açısından iki materyalle de benzer başarılı sonuçlar elde edildiği görülmüştür.⁹³ Ortopedik cerrahide halen kullanılmakta olan fiksasyon vida ve plaklarının mandibula kırıklarında da tercih edilebileceği gösterilmiştir.⁹⁴

SONUÇ

Diş hekimliğinde metal alaşımların yerini alabilecek materyal arayışları geçmişte olduğu gibi günümüzde de devam etmektedir. PEEK bu arayış açısından genel diş hekimliği uygulamaları ve özellikle implantoloji alanında dikkat çeken bir materyaldir. Klinik uygulamalarda implant üstü protetik parça olarak giderek genişleyen bir kullanım alanı bulmuştur. Dental implant materyali olarak da PEEK implantlar üzerinde çalışılmaktadır. PEEK implantların klinik olarak kullanım alanı bulabilmeleri için uzun dönem çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. PEEK'in sahip olduğu özellikleri sayesinde ilerleyen yıllarda kliniklerde daha da artan bir kullanım alanı bulacağını düşünmekteyiz.

BEYAN

Yazarlar, potansiyel çıkar çatışmasına ya da önyargıya yol açabilecek finansal, kurumsal ve diğer ilişkiler dahil, mevcut ya da potansiyel çıkar çatışmaları olmadığını beyan eder.

KAYNAKLAR

1. Kurtz SM, Devine JN. PEEK biomaterials in trauma, orthopedic, and spinal implants. *Biomaterials* 2007; 28: 4845-4869.
2. Stawarczyk B, Beuer F, Wimmer T, et al. Polyetheretherketone - A suitable material for fixed dental prostheses? *J Biomed Mater Res - Part B Appl Biomater* 2013; 101: 1209-1216.
3. Bathala L, Majeti V, Rachuri N, et al. The Role of Polyether Ether Ketone (Peek) in Dentistry - A Review. *Journal of medicine and life* 2019; 12: 5-9.
4. Wiesli MG, Özcan M. High-Performance Polymers and Their Potential Application as Medical and Oral Implant Materials: A Review. *Implant Dent* 2015; 24: 448-457.
5. Panayotov IV, Orti V, Cuisinier F, et al. Polyetheretherketone (PEEK) for medical applications. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*; 27. Epub ahead of print 1 July 2016. DOI: 10.1007/s10856-

- 016-5731-4.
6. Staniland PA, Wilde CJ, Bottino FA, et al. Synthesis, characterization and study of the thermal properties of new polyarylene ethers. *Polymer (Guildf)* 1992; 33: 1976–1981.
 7. Nieminen T, Kallela I, Wuolijoki E, et al. Amorphous and crystalline polyetheretherketone: Mechanical properties and tissue reactions during a 3-year follow-up. *J Biomed Mater Res - Part A* 2008; 84: 377–383.
 8. Katzer A, Marquardt H, Westendorf J, et al. Polyetheretherketone - Cytotoxicity and mutagenicity in vitro. *Biomaterials* 2002; 23: 1749–1759.
 9. Wang H, Xu M, Zhang W, et al. Mechanical and biological characteristics of diamond-like carbon coated poly aryl-ether-ether-ketone. *Biomaterials* 2010; 31: 8181–8187.
 10. Ma R, Tang T. Current strategies to improve the bioactivity of PEEK. *International Journal of Molecular Sciences* 2014; 15: 5426–5445.
 11. Sheiko N, Kékicheff P, Marie P, et al. PEEK (polyether-ether-ketone)-coated nitinol wire: Film stability for biocompatibility applications. *Appl Surf Sci* 2016; 389: 651–665.
 12. Clarke IC, Donaldson T, Bowsher JG, et al. Current concepts of metal-on-metal hip resurfacing. *Orthopedic Clinics of North America* 2005; 36: 143–162.
 13. Nakahara I, Takao M, Bandoh S, et al. In vivo implant fixation of carbon fiber-reinforced PEEK hip prostheses in an ovine model. *J Orthop Res* 2013; 31: 485–492.
 14. Najeeb S, Zafar MS, Khurshid Z, et al. Applications of polyetheretherketone (PEEK) in oral implantology and prosthodontics. *Journal of Prosthodontic Research* 2016; 60: 12–19.
 15. Staines M, Robinson WH, Hood JAA. Spherical indentation of tooth enamel. *J Mater Sci* 1981; 16: 2551–2556.
 16. Rees JS, Jacobsen PH. The elastic moduli of enamel and dentine. *Clin Mater* 1993; 14: 35–39.
 17. Rho JY, Ashman RB, Turner CH. Young's modulus of trabecular and cortical bone material: Ultrasonic and microtensile measurements. *J Biomech* 1993; 26: 111–119.
 18. Sano H, Ciucchi B, Matthews WG, et al. Tensile Properties of Mineralized and Demineralized Human and Bovine Dentin. *J Dent Res* 1994; 73: 1205–1211.
 19. Sandler J, Werner P, Shaffer MSP, et al. Carbon-nanofibre-reinforced poly(ether ether ketone) composites. *Compos Part A Appl Sci Manuf* 2002; 33: 1033–1039.
 20. Yurchenko ME, Huang J, Robisson A, et al. Synthesis, mechanical properties and chemical/solvent resistance of crosslinked poly(aryl-ether-ether-ketones) at high temperatures. *Polymer (Guildf)* 2010; 51: 1914–1920.
 21. Schmidlin PR, Stawarczyk B, Wieland M, et al. Effect of different surface pre-treatments and luting materials on shear bond strength to PEEK. *Dent Mater* 2010; 26: 553–559.
 22. Costa-Palau S, Torrents-Nicolas J, Brufau-De Barberà M, et al. Use of polyetheretherketone in the fabrication of a maxillary obturator prosthesis: A clinical report. *J Prosthet Dent* 2014; 112: 680–682.
 23. Bae SY, Park JY, Jeong I Do, et al. Three-dimensional analysis of marginal and internal fit of copings fabricated with polyetherketoneketone (PEKK) and zirconia. *J Prosthodont Res* 2017; 61: 106–112.
 24. Merk S, Wagner C, Stock V, et al. Suitability of secondary PEEK telescopic crowns on zirconia primary crowns: The influence of fabrication method and taper. *Materials (Basel)*; 9. Epub ahead of print 1 November 2016. DOI: 10.3390/ma9110908.
 25. Malo P, de Araújo Nobre M, Moura Guedes C, et al. Short-term report of an ongoing prospective cohort study evaluating the outcome of full-arch implant-supported fixed hybrid polyetheretherketone-acrylic resin prostheses and the All-on-Four concept. *Clin Implant Dent Relat Res* 2018; 20: 692–702.
 26. Ierardo G, Luzzi V, Lesti M, et al. Peek polymer in orthodontics: A pilot study on children. *J Clin Exp Dent* 2017; 9: e1271–e1275.
 27. Maekawa M, Kanno Z, Wada T, et al. Mechanical properties of orthodontic wires made of super engineering plastic. *Dent Mater J* 2015; 34: 114–119.
 28. Lee, Ki-Sun, Shin, Joo-Hee, Kim, Jee-Hwan, Lee, Won Chang, Shin, Sang Wan, Lee J-Y. Biomechanical Evaluation of a Tooth Restored with High Performance Polymer PEKK Post-Core System: A 3D Finite Element Analysis. *Biomed Res Int* 2017; 2017: 1–9.
 29. Prechtel A, Stawarczyk B, Hickel R, et al. Fracture load of 3D printed PEEK inlays compared with milled ones, direct resin composite fillings, and sound teeth. *Clin Oral Investig*. Epub ahead of print 27 January 2020. DOI: 10.1007/s00784-020-03216-5.
 30. EL Morsy OA, Barakat A, Mekhemer S, et al. Assessment of 3-dimensional bone augmentation of severely atrophied maxillary alveolar ridges using patient-specific poly ether-ether ketone (PEEK) sheets. *Clin Implant Dent Relat Res* 2020; 22: 148–155.
 31. Lee WT, Koak JY, Lim YJ, et al. Stress shielding and fatigue limits of poly-ether-ether-ketone dental implants. *J Biomed Mater Res - Part B Appl Biomater* 2012; 100 B: 1044–1052.
 32. Isidor F. Loss of osseointegration caused by occlusal load of oral implants. A clinical and radiographic study in monkeys. *Clin Oral Implants Res* 1996; 7: 143–152.

33. Nagasawa M, Takano R, Maeda T, et al. Observation of the Bone Surrounding an Overloaded Implant in a Novel Rat Model. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2013; 28: 109–116.
34. Chambrone L, Sukekava F, Araujo MG, et al. Root-Coverage Procedures for the Treatment of Localized Recession-Type Defects: A Cochrane Systematic Review. *J Periodontol* 2010; 81: 452–478.
35. Roehling S, Astasov-Frauenhoffer M, Hauser-Gerspach I, et al. In Vitro Biofilm Formation on Titanium and Zirconia Implant Surfaces. *J Periodontol* 2017; 88: 298–307.
36. Siddiqi A, Payne AGT, De Silva RK, et al. Titanium allergy: Could it affect dental implant integration? *Clinical Oral Implants Research* 2011; 22: 673–680.
37. Schalock PC, Menne T, Johansen JD, et al. Hypersensitivity reactions to metallic implants - Diagnostic algorithm and suggested patch test series for clinical use. *Contact Dermatitis* 2012; 66: 4–19.
38. Ajlouni K, Elshahawy W, Ajlouni R, et al. Color masking measurement for ceramic coating of titanium used for dental implants. *J Prosthet Dent* 2018; 119: 426–431.
39. Rodriguez AE, Monzavi M, Yokoyama CL, et al. Zirconia dental implants: A clinical and radiographic evaluation. *J Esthet Restor Dent* 2018; 30: 538–544.
40. Cionca N, Hashim D, Mombelli A. Zirconia dental implants: where are we now, and where are we heading? *Periodontology* 2000 2017; 73: 241–258.
41. Haro Adanez M, Nishihara H, Att W. A systematic review and meta-analysis on the clinical outcome of zirconia implant–restoration complex. *Journal of Prosthodontic Research* 2018; 62: 397–406.
42. Devine DM, Hahn J, Richards RG, et al. Coating of carbon fiber-reinforced polyetheretherketone implants with titanium to improve bone apposition. *J Biomed Mater Res - Part B Appl Biomater* 2013; 101: 591–598.
43. Li CS, Vannabouathong C, Sprague S, et al. The use of carbon-fiber-reinforced (CFR) peek material in orthopedic implants: A systematic review. *Clin Med Insights Arthritis Musculoskelet Disord* 2014; 8: 33–45.
44. Di Maggio B, Sessa P, Mantelli P, et al. PEEK radiolucent plate for distal radius fractures: multicentre clinical results at 12 months follow up. *Injury* 2017; 48: S34–S38.
45. Zhang Y, Zhang L, Zhu XR, et al. Reducing metal artifacts in cone-beam CT images by preprocessing projection data. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2007; 67: 924–932.
46. Draenert FG, Coppenrath E, Herzog P, et al. Beam hardening artefacts occur in dental implant scans with the NewTom cone beam CT but not with the dental 4-row multidetector CT. *Dentomaxillofac Radiol* 2007; 36: 198–203.
47. Noiset O, Schneider Y, Marchand-Brynaert J. Surface modification of poly(aryl ether ether ketone) (PEEK) film by covalent coupling of amines and amino acids through a spacer arm. *J Polym Sci Part A Polym Chem* 1997; 35: 3779–3790.
48. Knaus J, Schaffarczyk D, Cölfen H. On the Future Design of Bio-Inspired Polyetheretherketone Dental Implants. *Macromol Biosci* 2020; 20: 1900239.
49. Abu Bakar MS, Chenag P, Khor KA. Mechanical properties of injection molded hydroxyapatite-polyetheretherketone biocomposites. *Compos Sci Technol* 2003; 63: 421–425.
50. Petrovic L, Pohle D, Münstedt H, et al. Effect of β TCP filled polyetheretherketone on osteoblast cell proliferation in vitro. *J Biomed Sci* 2006; 13: 41–46.
51. Cook SD, Rust-Dawicki AM. Preliminary evaluation of titanium-coated PEEK dental implants. *J Oral Implantol* 1995; 21: 176–181.
52. Johansson P, Barkarmo S, Hawthorn M, et al. Biomechanical, histological, and computed X-ray tomographic analyses of hydroxyapatite coated PEEK implants in an extended healing model in rabbit. *J Biomed Mater Res - Part A* 2018; 106: 1440–1447.
53. Mishra S, Chowdhary R. PEEK materials as an alternative to titanium in dental implants: A systematic review. *Clinical Implant Dentistry and Related Research* 2019; 21: 208–222.
54. Schwitalla A, Müller WD. PEEK dental implants: A review of the literature. *Journal of Oral Implantology* 2013; 39: 743–749.
55. Koutouzis T, Richardson J, Lundgren T. Comparative soft and hard tissue responses to titanium and polymer healing abutments. *J Oral Implantol* 2011; 37: 174–182.
56. Hahnel S, Wieser A, Lang R, et al. Biofilm formation on the surface of modern implant abutment materials. *Clin Oral Implants Res* 2015; 26: 1297–1301.
57. Meloni SM, De Riu G, Pisano M, et al. Implant treatment software planning and guided flapless surgery with immediate provisional prosthesis delivery in the fully edentulous maxilla. A retrospective analysis of 15 consecutively treated patients. *Eur J Oral Implantol* 2010; 3: 245–251.
58. Lopes A, Malo P, de Araujo Nobre M, et al. The Nobel-Guide All-on-4 Treatment Concept for Rehabilitation of Edentulous Jaws: A Retrospective Report on the 7-Years Clinical and 5-Years Radiographic Outcomes. *Clin Implant Dent Relat Res* 2017; 19: 233–244.
59. 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: 580–584.
60. Shahmiri R, Standard OC, Hart JN, et al. Optical pro-

- properties of zirconia ceramics for esthetic dental restorations: A systematic review. *Journal of Prosthetic Dentistry* 2018; 119: 36–46.
61. Fuhrmann G, Steiner M, Freitag-Wolf S, et al. Resin bonding to three types of polyaryletherketones (PAEKs) - Durability and influence of surface conditioning. *Dent Mater* 2014; 30: 357–363.
 62. Turon-Vinas M, Anglada M. Strength and fracture toughness of zirconia dental ceramics. *Dental Materials* 2018; 34: 365–375.
 63. Sadowsky SJ. Mandibular implant-retained overdentures: A literature review. *J Prosthet Dent* 2001; 86: 468–473.
 64. Passia N, Ghazal M, Kern M. Long-term retention behaviour of resin matrix attachment systems for overdentures. *J Mech Behav Biomed Mater* 2016; 57: 88–94.
 65. Fehmer V, Mühlemann S, Hämmerle CHF, et al. Criteria for the selection of restoration materials. *Quintessence Int (Berl)* 2014; 45: 723–730.
 66. Harder S, Kern M. Survival and complications of computer aided-designing and computer-aided manufacturing vs. conventionally fabricated implant-supported reconstructions: A systematic review. *Clinical Oral Implants Research* 2009; 20: 48–54.
 67. Heydecke G, Zwahlen M, Nicol A, et al. What is the optimal number of implants for fixed reconstructions: A systematic review. *Clinical Oral Implants Research* 2012; 23: 217–228.
 68. Venezia P, Torsello F, Cavalcanti R, et al. Retrospective analysis of 26 complete-arch implant-supported monolithic zirconia prostheses with feldspathic porcelain veneering limited to the facial surface. *J Prosthet Dent* 2015; 114: 506–512.
 69. Dawson JH, Hyde B, Hurst M, et al. Polyetherketoneketone (PEKK), a framework material for complete fixed and removable dental prostheses: A clinical report. *J Prosthet Dent* 2018; 119: 867–872.
 70. Raigrodski AJ, Hillstead MB, Meng GK, et al. Survival and complications of zirconia-based fixed dental prostheses: A systematic review. *Journal of Prosthetic Dentistry* 2012; 107: 170–177.
 71. Cabello-Dominguez G, Perez-Lopez J, Veiga-Lopez B, et al. 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*. Epub ahead of print 2019. DOI: 10.1016/j.prosdent.2019.10.002.
 72. Edelhoff D, Beuer F, Schweiger J, et al. CAD/CAM-generated high-density polymer restorations for the pretreatment of complex cases: a case report. *Quintessence Int* 2012; 43: 457–67.
 73. Carvalho AO, Bruzi G, Giannini M, et al. Fatigue resistance of CAD/CAM complete crowns with a simplified cementation process. *J Prosthet Dent* 2014; 111: 310–317.
 74. Stawarczyk B, Özcan M, Trottmann A, et al. Two-body wear rate of CAD/CAM resin blocks and their enamel antagonists. *J Prosthet Dent* 2013; 109: 325–332.
 75. Kern M, Lehmann F. Influence of surface conditioning on bonding to polyetheretherketon (PEEK). *Dent Mater* 2012; 28: 1280–1283.
 76. Beuer F, Steff B, Naumann M, et al. Load-bearing capacity of all-ceramic three-unit fixed partial dentures with different computer-aided design (CAD)/computer-aided manufacturing (CAM) fabricated framework materials. *Eur J Oral Sci* 2008; 116: 381–386.
 77. Abdullah AO, Tsitrou EA, Pollington S. Comparative in vitro evaluation of CAD/CAM vs conventional provisional crowns. *J Appl Oral Sci* 2016; 24: 258–263.
 78. Stawarczyk B, Eichberger M, Uhrenbacher J, et al. Three-unit reinforced polyetheretherketone composite FDPs: Influence of fabrication method on load-bearing capacity and failure types. *Dent Mater J* 2015; 34: 7–12.
 79. Skirbutis G, Dzingutė A, Masiliūnaitė V, et al. A review of PEEK polymer's properties and its use in prosthodontics. *Stomatologija* 2017; 19: 19–23.
 80. Uhrenbacher J, Schmidlin PR, Keul C, et al. The effect of surface modification on the retention strength of polyetheretherketone crowns adhesively bonded to dentin abutments. *J Prosthet Dent* 2014; 112: 1489–1497.
 81. Zoidis P, Bakiri E, Papathanasiou I, et al. Modified PEEK as an alternative crown framework material for weak abutment teeth: A case report. *Gen Dent* 2017; 65: 37–40.
 82. Nishigawa K, Bando E, Nakano M. Quantitative study of bite force during sleep associated bruxism. *J Oral Rehabil* 2001; 28: 485–491.
 83. Calderon PDS, Kogawa EM, Lauris JRP, et al. The influence of gender and bruxism on the human maximum bite force. *J Appl Oral Sci* 2006; 14: 448–453.
 84. Zoidis P, Papathanasiou I. Modified PEEK resin-bonded fixed dental prosthesis as an interim restoration after implant placement. *J Prosthet Dent* 2016; 116: 637–641.
 85. Linn J, Messer HH. Effect of restorative procedures on the strength of endodontically treated molars. *J Endod* 1994; 20: 479–485.
 86. El-Damanhoury HM, Haj-Ali RN, Platt JA. Fracture resistance and microleakage of endocrowns utilizing three CAD-CAM blocks. *Oper Dent* 2015; 40: 201–210.
 87. Ghajghouj O, Taşar-Faruk S. Evaluation of fracture resistance and microleakage of endocrowns with different intracoronal depths and restorative materials

- luted with various resin cements. *Materials (Basel)*; 12. Epub ahead of print 1 August 2019 DOI: 10.3390/ma12162528.
88. Andrikopoulou E, Zoidis P, Artopoulou I-I, et al. Modified PEEK Resin Bonded Fixed Dental Prosthesis for a Young Cleft Lip and Palate Patient. *J Esthet Restor Dent* 2016; 28: 201-207.
 89. Muhsin SA, Hatton P V, Johnson A, et al. Determination of Polyetheretherketone (PEEK) mechanical properties as a denture material. *Saudi Dent J* 2019; 31: 382-391.
 90. Zok FW, Miserez A. Property maps for abrasion resistance of materials. *Acta Mater* 2007; 55: 6365-6371.
 91. Benli M, Eker Gümüş B, Kahraman Y, et al. Surface roughness and wear behavior of occlusal splint materials made of contemporary and high-performance polymers. *Odontology* 2020; 108: 240-250.
 92. Tasopoulos T, Chatziemmanouil D, Kouveliotis G, et al. PEEK Maxillary Obturator Prosthesis Fabrication Using Intraoral Scanning, 3D Printing, and CAD/CAM. *Int J Prosthodont* 2020; 33: 333-340.
 93. Mounir M, Shalash M, Mounir S, et al. Assessment of three dimensional bone augmentation of severely atrophied maxillary alveolar ridges using prebent titanium mesh vs customized poly-ether-ether-ketone (PEEK) mesh: A randomized clinical trial. *Clin Implant Dent Relat Res* 2019; 21: 960-967.
 94. Nurettin D, Burak B. Feasibility of carbon-fiber-reinforced polymer fixation plates for treatment of atrophic mandibular fracture: A finite element method. *J Cranio-Maxillofacial Surg* 2018; 46: 2182-2189.