Selcuk Dental Journal 10/3 (Aralık 2023): 615-621

Review / Derleme

Dental İmplantolojide Polietereterketon (PEEK): Geleneksel Derleme

Polyetheretherketone (PEEK) in Dental Implantology: Traditional Review

Fatma GÜNEŞ[a](ORCID-0000-0002-0230-2294), **Mustafa KOCACIKLI**[a](ORCID-0000-0002-2417-588X), **Turan KORKMAZ**[a](ORCID-0000-0002-2413-6979)

[a]Gazi Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi AD, Ankara, Türkiye

[a]Gazi University, Faculty of Dentistry, Department of Prosthodontics, Ankara, Türkiye

ÖZ

Günümüz diş hekimliğinde estetik restorasyonlara sürekli artan ilgiyle doğal diş yapısına benzer, biyouyumlu, iyi mekanik ve fiziksel özelliklere sahip metal içermeyen restorasyonlar daha sıklıkla tercih edilmektedir. Bu materyallerden biri olan termoplastik polimer yapısındaki Polietereterketon (PEEK) diş hekimliğinde kullanımı hızla yaygınlaşmaya başlamıştır. PEEK, keton ve eter fonksiyonel grupları ile birbirine bağlı aromatik halka ve amorf-kristal fazdan oluşan iki fazlı doğrusal zincir yapısına sahip, 1.3-1.5 g/cm3 yoğunlukta yarı kristalli termoplastik bir homopolimerdir. PEEK materyalinin biyouyumluluğu, elastik modülünün kemiğe daha yakın olması, şok absorpsiyonu, korozyona uğramaması, yuksek aşınma ve kırılma direnci, üstün cilalanabilir özelliği ve metal restorasyonlara göre daha hafif bir materyal olması gibi özelliklere sahiptir. PEEK, termal özellikleri nedeniyle insan vücudunda stabil kalmaktadır. Yüksek ısıya karşı dirençlidir ve birçok sterilizasyon yöntemine uygundur. Kimyasal olarak inerttir. Bu sebeple diğer materyallere düşük reaksiyon gösterir ve birçok geleneksel çözeltide çözünmemektedir. PEEK'e karşı alerjik reaksiyon gelişme oranı düşüktür. Bu nedenle metal alerjisine sahip hastalar için iyi bir alternatiftir. Sonuç olarak PEEK diş hekimliğinde; implant materyali, implant abutment materyali, implant üstü dijital ölçü postu olarak, implant destekli overdenture protezlerde hassas bağlantı parçası olarak, implant üstü hibrit protezlerde alt yapı materyali, iyileşme başlığı materyali, sabit protezlerde alt yapı materyali, geçici kron materyali, hareketli protezlerde ana bağlayıcı ve kroşe materyali, okluzal splint materyali olarak kullanılabilmektedir. Bu derlemenin amacı ise, dental tedaviler için yeni bir materyal olan PEEK'in dental implantolojide kullanımı ile ilgili güncel literatürü pekiştirmek, PEEK'in alternatif materyallere göre avantaj ve sınırlamalarını tartışmaktır.

Anahtar Kelimeler: Diş İmplantları, Diş Protezi, Polietereterketon

ABSTRACT

With the ever-increasing interest in aesthetic restorations in today's dentistry, metal-free restorations similar natural tooth structure, biocompatible, with good mechanical and physical properties are more frequently preferred. Polyetheretherketone (PEEK), which is one of these materials, has a thermoplastic polymer structure and its use in dentistry has started to become widespread. PEEK is a semi-crystalline thermoplastic homopolymer with a two-phase linear chain structure consisting of aromatic ring and amorphous-crystalline phase connected to each other by ketone and ether functional groups, with a density of 1.3-1.5 g/cm3. PEEK material has properties such as being biocompatible, elastic modulus closer to bone, shock absorption, non-corrosion, high wear and fracture resistance, low plaque uptake, and being a lighter material than metal restorations. PEEK material remains stable in the human body due to its thermal properties. It is resistant to high temperatures and is suitable for many sterilization methods. It is a chemically inert material. For this reason, it has a low reaction to other materials and is insoluble in many conventional solutions. The rate of allergic reaction against PEEK material is low. Therefore, it is a good alternative for patients with metal allergies. As a result PEEK in dentistry; implant material, implant abutment material, as a digital impression post on the implant, as a precision connection piece in implant supported overdenture prostheses, framework material in implant hybrid prostheses, healing cap material, framework material in fixed prostheses, temporary crown material, framework and clasp material in removable partial prostheses, occlusal splint material as can be used. The purpose of this review is to consolidate the current literature on the use of that a new material for dental treatments PEEK in dental implantology, discuss the advantages and limitations of PEEK over alternative materials.

Keywords: Dental Implants, Dental Prosthesis, Polyetheretherketone

GİRİŞ

Günümüz diş hekimliğinde estetik restorasyonlara sürekli artan ilgiyle doğal diş yapısına benzer, biyouyumlu, iyi mekanik ve fiziksel özelliklere sahip metal içermeyen restorasyonlar daha sıklıkla tercih edilmektedir. 1 Zirkonya ve tam seramik materyaller dental uygulamalarda kullanılan populer estetk materyaller olmasına rağmen son yıllarda yeni materyaler kullanılmaya başlanmıştır.[2] Bu materyallerden biri olan termoplastik polimer yapısındaki PEEK, diş hekimliğinde kullanımı hızla yaygınlaşmaya başlamıştır.[2]

1962 yılında PEEK materyali ilk olarak Bonner tarafından Poliarileterketon (PAEK)'dan üretilmiştir.[3] Mükemmel biyouyumluluğu ve radyolüsens özelliği sayesinde, tıp alanında omurga implantları veya yapay eklem uygulamalarında yaygın olarak kullanılmıştır.[4] PEEK materyali, 2011 yılında ise diş hekimliğinde oral uygulama için onaylanmış olup implant abutmentlarında ve iyileşme başlıklarında oldukça etkin bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır.[1]

PEEK biyouyumluluğu, elastik modulünün kemiğe yakın olması, şok absorpsiyonu, yüksek aşınma ve kırılma direncine sahip olması, üstün cilalanabilir özelliği ve hafif bir materyal olması gibi özellikleriyle dental implantolojide son zamanlarda tercih edilen materyal haline gelmiştir. [5] İmplant materyali, implant abutment materyali, implant üstü dijital ölçü postu olarak, implant destekli overdenture protezlerde hassas bağlantı parçası olarak, implant üstü hibrit protezlerde alt yapı materyali, iyileşme başlığı materyali olarak kullanılabilmektedir. [6-9]

Bu derlemenin amacı, dental tedaviler için yeni bir materyal olan PEEK'in dental implantolojide kullanımı ile ilgili güncel literatürü pekiştirmek, PEEK'in alternatif materyallere göre avantaj ve sınırlamalarını tartışmaktır.

Polimerler

Polimer, birçok monomerin bir araya gelmesiyle oluşur.[10] Moleküler bağlanma ve sıcaklık artışına verdikleri tepkiye göre termoplastikler ve termosetler olmak üzere iki gruba ayrılırlar. [10] Amorf ve yarı kristal olmak üzere farklı yapılarda bulunan polimerler, gelişim seviyelerine göre ticari, mühendislik ve yüksek performanslı polimerler olarak sınıflandırılabilmektedir. [10]

PAEK, yapısal olarak birbirine bağlı eter ve keton fonksiyonel gruplarından oluşan, aromatik omurgaya sahip molekuler zincir içeren, yüksek performanslı bir termoplastik polimer ailesidir. PAEK ailesi, aynı aromatik halka temeline sahip, içerdigi eter ve keton gruplarının oranları farklılık göstermektedir.[11] PAEK ailesinin, diş hekimliğinde kullanılan PEEK ve Polieterketonketon (PEKK) olmak üzere 2 farklı formu bulunmaktadır. [5]

Gönderilme Tarihi/Received: 18 Ocak, 2023
Kabul Tarihi/Accepted: 23 Mayıs, 2023
Yayınlanma Tarihi/Published: 25 Aralık, 2023
Atıf Bilgisi/Cite this article as: Güneş F, Kocacıklı M, Korkmaz T. Dental İmplantolojide Polietereterketon (PEEK): Geleneksel Derleme. Selcuk Dent J 2023;10(3): 615-621 Doi: 10.15311/ selcukdentj.1238899

Sorumlu yazar/Corresponding Outhor: Fatma GÜNEŞ
E-mail: fatmagullu96@gmail.com
Doi: 10.15311/ selcukdentj.1238899

Polietereterketon (PEEK)

PEEK, keton ve eter fonksiyonel grupları ile birbirine bağlı aromatik halka ve amorf-kristal fazdan oluşan iki fazlı doğrusal zincir yapısına sahip, 1,3-1,5 g/cm^3 yoğunlukta yarı kristalli termoplastik bir homopolimerdir. [10]

PEEK materyali, termal özellikleri nedeniyle insan vücudunda stabil kalmaktadır. Yüksek ısıya karşı dirençlidir ve birçok sterilizasyon yöntemine uygundur.[10] Kimyasal olarak inert bir materyaldir. Bu sebeple diğer materyallere düşük reaksiyon gösterir ve birçok geleneksel çözeltide çözünmemektedir.[10] PEEK materyaline karşı alerjik reaksiyon gelişme oranı düşüktür. Bu nedenle metal alerjisine sahip hastalar için iyi bir alternatiftir. [12]

PEEK materyalinin elastik modülünün (3-4 GPa) kemiğe daha yakın olması, şok absorpsiyonu, korozyona uğramaması, yüksek aşınma ve kırılma direncine sahip olması, üstün cilananabilir özelliği ile plak tutulumun düşük olması ve metal restorasyonlara göre daha hafif bir materyal olması gibi avantajlara da sahiptir.[13] [14] Sürtünmeye ve aşınmaya karşı dirençli olması nedeniyle PEEK materyali, bar ve teleskop kron gibi hassas bağlantılı yapılarda da uygun bir alt yapı materyalidir. [15]

Doldurucusuz PEEK materyaline seramik ve titanyum oksit gibi materyaller ilave edilerek estetik ve mekanik özellikleri iyileştirilmektedir.[16] PEEK'in zayıf optik özellikleri, PEEK'in monolitik restorasyonlarda kullanımını sınırlamaktadır.[16] PEEK restorasyonlarda, estetiği iyileştirebilmek için geleneksel veya CAD/CAM teknolojisi ile üretilen kompozit rezin ve lityum disilikat gibi farklı seramikler ile venerlemek gerekmektedir. [16,17] Kompozit veneerlerin uygulanması ve tamiri daha kolaydır. [18,19]

Doldurucuz PEEK'in 4 GPa elastik modülüne ve 100 MPa gerilim direncine sahip olması nedeniyle metal ve seramik restorasyonlara göre avantaja sahiptir. [20] Saf PEEK materyalinin mekanik özelliklerini iyileştirmek için yapısına karbon fiber, cam fiber gibi materyaller eklenmektedir. [21,22] Karbon fiber takviyeli PEEK (CFR-PEEK) ve cam fiber takviyeli PEEK (GFR-PEEK) kompozitler geliştirilmiş olup elastik modülleri sırasıyla 18 GPa ve 12 GPa'ya kadar çıkartılmıştır. [21,22]

PEEK Materyalinin Dental Kullanım Alanları

Biyouyumlu olması ve üstün mekanik özellikleriyle PEEK materyali son yıllarda dental uygulamalarda da kullanılmaktadır. PEEK diş hekimliğinde; implant materyali, implant abutment materyali, implant üstü dijital ölçü postu olarak, implant destekli bar materyali, implant üstü hibrit protezlerde alt yapı materyali, iyileşme başlığı materyali, sabit protezlerde alt yapı materyali, geçici kron materyali, hareketli protezlerde ana bağlayıcı ve kroşe materyali, okluzal splint materyali olarak kullanılabilmektedir. [2,16,23-25]

PEEK'in İmplant Materyali Olarak Kullanımı

Dental implantlar diş eksikliği olan hastaların yaşam kalitesini arttırmada etkili ve konforlu tedavi yöntemlerinden biridir. Dental implantlar; metal, seramik, polimerler ve kompozitler gibi materyallerden üretilebilmektedir. Branemark tarafından 1960'lı yıllarda tanıtılan saf titanyum, oral endosseöz implantlar için en çok tercih edilen materyal olarak bilinmektedir. [26] Metallerin uygun mekanik özellikleri, sürtünmeye karşı dirençli olması ve biouyumlu olması nedeniyle implant materyali olarak kullanılmıştır. [27]

Titanyum alaşımlardan üretilmiş implantlar biyouyumlu olup iyi fizikokimyasal ve mekanik özelliklere sahiptir.[28] Uygulanan kuvvetlere karşı dayanıklı ve korozyona karşı dirençlidir.[28] Fakat titanyuma karşı aşırı hassasiyet gelişebilmesi, yüksek gülme hattı ve ince mukoza biyotipi olan hastalarda estetik problemler oluşturması dezavantajlarıdır. [6,29]

Titanyum, implant ve çevresindeki kemik dokusunun elastik modülünün farklı olmasından (titanyum 110 GPa, kortikal kemik 14 GPa) ve implant çevresinde oluşan gerilimlerden dolayı implant ve vida kırılması, periimplantit gibi farklı komplikasyonlar ile karşılaşılabileceği yapılan araştırmalarda bildirilmiştir. [6,28,30]

Yaklaşık 40 yıl önce, titanyuma alternatif olarak alüminadan (alüminyum oksitten) üretilmiş seramik implantlar piyasaya sürülmüş, fakat yüksek kırılma oranı sebebiyle titanyumun yerini alamamıştır.[31] Seramik implantlar diş benzeri renge sahip olması, biyouyumluluğu ve düşük plak affinitesi nedeniyle zirkonyadan da üretilmektedir. [32] Fakat yüksek elastik modülüne sahip zirkonya (210 GPa), titanyuma göre implant çevresi dokularda daha fazla gerilimlere sebep olmaktadır. [32,33]

Biyouyumlu ve elastik modülü kemiğe çok yakın olan, titanyuma alternatif olarak gösterilen bir diğer implant materyali PEEK'tir. Titanyumun aksine, PEEK çok sınırlı doğal osteokondüktif özelliklere sahiptir.[34] Bu nedenle, PEEK implantlarının biyoaktivitesini geliştirmek için önemli araştırmalar yapılmıştır.[35,36] PEEK'in biyoaktivitesini iyileştirmek için, PEEK'in sentetik hidroksil apatit ile kaplanması[35,37], yüzey pürüzlülüğünün ve kimyasal modifikasyonlarının arttırılması [38] ve biyoaktif partiküllerin eklenmesi [39] gibi önerilen birçok yöntem vardır.

Lee ve ark. [40] yapmış oldukları sonlu elemanlar analizinde, CFR-PEEK implantların, titanyum implantlara göre daha düşük kuvvet iletimine sebep olabileceğini bildirmişlerdir.

Sarot ve ark. [41] %30 CFR PEEK ve titanyumun kuvvet dağılımını, sonlu eleman analizi kullanarak değerlendirmişlerdir. %30 CFR PEEK ve titanyum implantların oluşturduğu gerilim dağılımında bir fark olmadığını bildirmişlerdir. PEEK ile zirkonya ve titanyum gibi konvansiyonel implant materyallerinin osseointegrasyonu arasında anlamlı bir fark olmadığını ileri süren başka çalışmalar da mevcuttur.[6,42]

Schwitalla ve ark. [43] sonlu eleman analiz ile titanyum, saf PEEK ve Endolign 3 implant materyalini biyomekanik olarak karşılaştırmışlardır. Endolign paralel yönlendirilmiş sonsuz karbon fiberler içeren implante edilebilir CFR-PEEK'i temsil etmekte olup üreticiye göre 150 GPa'lık bir elastik modüle sahiptir. Çalışmada, doldurucusuz PEEK daha yüksek gerilim dağılımı ve maksimum deformasyon gösterdiği, titanyum ve Endolignin ise yakın gerilim dağılımları gösterdiği bildirilmiştir.

PEEK'in İmplant Abutment Materyali Olarak Kullanımı

PEEK materyalinin yeterli biyouyumluluğa sahip olması nedeniyle PEEK iyileşme başlıkları ve titanyum alt yapılı PEEK geçici abutmentlar son zamanlarda popüler hale gelmektedir. PEEK iyileşme başlıkları, titanyum iyileşme başlıklarına alternatiftirler. [44] Özellikle estetiğin önemli olduğu bölgelerde uzun süreli geçici restorasyonlarda titanyum alt yapılı PEEK geçici abutmentlar kullanılabilir. [45,46]

PEEK materyalinin oral mikrobiyal flora afinitesi titanyum, zirkonya ve polimetilmetakrilat (PMMA) ile benzerdir. [47] Koutouzis ve ark. [44] tarafından yapılan randomize kontrollü bir klinik çalışmada, PEEK ve titanyum abutmentlerin çevresinde kemik rezorpsiyonu ve yumuşak doku inflamasyonu yönünden istatiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını belirtmişlerdir. Kemik ve PEEK materyalinin elastik modülünün yakın oluşu, çiğneme kuvvetleri ile oluşan gerilimlerde azalmaya neden olarak kemiğin yeniden şekillenmesini sağlar. Bu nedenle PEEK, implant abutmentlarının yapımında titanyuma iyi bir alternatif olduğu belirtilmektedir. [44]

Seramikle güçlendirilmiş PEEK materyali (BioHPP, Bredent, Almanya) yakın zamanda tanıtılıp implant abutment materyali olarak kullanılmaya başlanmıştır. Temel yapısı yarı kristal termoplastik polimer matriksten oluşup, homojen olarak dağılmış ve daha iyi polisajlanabilme özelliği sağlayan 0.3-0.5 mm tanecik boyutunda yaklaşık %20 seramik dolgu içermektedir. Metal alerjisi olan hastalarda seramik ilaveli polimerler kullanılabilir. Beyazımsı bir renge sahip olmasıyla metal altyapılı restorasyonların neden olduğu grimsi görüntü ortadan kaldırılmıştır. [48]

Akan ve ark. [45] titanyum bazlı farklı hibrit abutment materyallerinin (zirkonya abutment+monolitik zirkonya kron, lityum disilikat abutment+monolitik zirkonya kron, seramikle güçlendirilmiş PEEK abutment +monolitik zirkonya kron, seramikle güçlendirilmiş PEEK abutment+kompozit kron ve kontrol grubu kişisel titanyum abutment+monolitik zirkonya kron) kırılma dayanımlarını ve gerilim dağılımlarını karşılaştırdıkları çalışmada, monolitik zirkonya kronlu hibrit zirkonya abutmentların en yüksek kırılma dayanımı göstermiştir. Monolitik zirkonya kronlu hibrit lityum disilikat abutmentların ve kompozit kronlu seramikle güçlendirilmiş PEEK hibrit abutmentların ise en düşük kırılma direncini gösterdiği sonucuna

varmışlardır. Monolitik zirkonya kronlu seramikle güçlendirilmiş PEEK abutment grubu, monolitik zirkonya kronlu zirkonya abutment grubuna benzer kırılma dayanımı gösterdiği belirtilmektedir.

Seramikle güçlendirilmiş PEEK ve lityum disilikat abutmentlar dahil olmak üzere çeşitli abutment materyallerinin kırılma direncinin incelendiği başka çalışmada, seramik ilaveli PEEK abutment grubunun kırılma direnci değerlerinin, lityum dislikat abutment grubuna göre daha yüksek olduğu ve bu nedenle posterior bölgede seramik ilaveli PEEK abutment kullanımının uygun olacağı değerlendirilmiştir. [8] Çeşitli hibrit abutment materyallerinin kırılma dayanımlarının test edildiği başka çalışmada, anterior bölgede seramik ilaveli PEEK hibrit abutmentlerin zirkonyum hibrit abutmentlara alternatif olabileceği ortaya konulmuştur. [46]

PEEK üretici firmalarından birisi (Juvora Ldt, U.K, İngiltere), abutment vidalarının 15 Ncm'lik bir kuvvet ile torklanmalarını önermektedir. Vidanın bu değerden daha yüksek bir kuvvetle torklanması durumunda, vidanın yüksek rijiditesi nedeniyle PEEK yapısı plastik deformasyona uğrayabileceğini bildirmişlerdir. [7]

Schwitalla ve ark. [7] yaptıkları çalışmada; implant üstü protezlerin PEEK yapısına benzer elastik özelliklere sahip olması için, geleneksel abutment vidalarının PEEK'ten üretilen vidalarla değiştirilmesinin daha uygun olacağı bildirilmiştir. Ayrıca PEEK materyalinden üretilen vidaların, titanyum vidalarda kırığa yol açan korozyona uğramadığı da ifade edilmektedir.

PEEK'in İmplant Üstü Dijital Ölçü Postu Olarak Kullanımı

Dijital ölçü tekniğinin, geleneksel ölçü yöntemine kıyasla hekimin becerisine olan bağlılığı ve ölçü malzemesi ile ilgili ortaya çıkan hataları azaltırken; hasta memnuniyetini arttırmaktadır.[49] İmplant üstü dijital ölçüler alınırken dijital ölçü postu, hastanın ağız boşluğundaki implanta vidalanarak bir intraoral tarayıcı ile tarama yapıldıktan sonra bilgisayar ortamında sanal bir model elde edilir. Elde edilen sanal modelde, ağız içerisindeki implantın gerçek konumu, dijital ölçü postunun konumuna göre tahmin edilir. Dijital ölçü postu vidalandıktan sonra meydana gelen yer değiştirmeler, implantın doğru konumunun aktarılmasında hatalara sebep olabilmektedir. [50]

Dijital ölçü postu, farklı üreticiler tarafından çeşitli boyut ve şekillerde üretilse de genellikle tarama bölgesi, gövde bölgesi ve boyun bölgesi olmak üzere üç kısımdan oluşur. [50] Dijital ölçü postu PEEK, titanyum ve alüminyum alaşımı gibi çeşitli materyallerden üretilebilmektedir. PEEK materyalinin kullanımı, metal alaşımlarda oluşabilen tarama esnasında ışık yansıması sorununu azaltmaktadır. [50]

Tekrarlanan kullanım veya sterilizasyon nedeniyle özellikle boyun bölgesinde deformasyonlar meydana gelerek, implantın doğru konumunun ve açısının aktarımında sorunlar oluşturarak hatalı protezlerin üretilmesine yol açar. [51] PEEK materyalinin inert olması ve strezilasyona karşı dirençli olmasıyla bu sorunların önüne geçilebilmektedir. [51]

Kim ve ark. [52] çalışmasında, farklı markalara ait PEEK ve titanyum bazlı dijital ölçü postlarını; 5 Ncm, 10 Ncm ve elle torklayarak vidalarda meydana gelen yatay ve dikey yer değiştirme miktarlarını değerlendirmişlerdir. Tüm gruplarda 5 Ncm ve 10 Ncm ile torklandığında, 100 µm'den daha az dikey yer değiştirme miktarı gözlenmiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda tarama doğruluğunda, 100 µm'den daha fazla sapmanın olması, yapılan protezlerde hatalara neden olabileceği ve sapmanın 100 µm'den az olması kabul edilebilir bir siman aralığı olarak değerlendirilmiştir.[52]

Kim ve ark. [52] aynı çalışmasında; yer değiştirme miktarının, dijital ölçü postu boyun bölgesinde kullanılan materyal çeşidinden (PEEK ve titanyum) de etkilendiği vurgulanmıştır. Ayrıca PEEK dijital ölçü postunun boyun bölgesi şeklinin, yer değiştirme miktarı üzerinde etkili olduğu bildirilmiştir. Bu çalışmanın sonunda, PEEK dijital ölçü postlarında özellikle el ile sıkıştırıldığında daha fazla yer değiştirme görülmesi nedeniyle 5 Ncm ile torklanması önerilmektedir.

PEEK'in İmplant Destekli Overdenture Protezlerlerde Kullanımı

İmplant üstü overdenture protezlerin ataçmanlarında meydana gelen aşınmaya bağlı olarak zaman içinde retansiyon kaybı olduğundan, hastaların düzenli kontrollerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bağlantı yüzeyinin iyileştirilip ataçman tasarımındaki değişiklik ile hastaların kontrol randevularını azaltarak, protezlerin performansı arttırılabilmektedir. [53] Isırma kuvvetini ve aşınma direncini artırarak protezin tutuculuğunu iyileştirebilmek için PEEK tutucu başlık ve klipsler piyasaya sürülmüştür. PEEK materyali, 140-170 MPa bükülme dayanımına sahip olduğu için fonksiyonel gerilimlerin absorbe edilmesini sağlar ve gerilim kırıcı görevi görür. [9,54]

Locater ataşmanlarda kullanılan farklı tipteki klipslerin ısırma kuvveti ve aşınma miktarları üzerindeki etkisinin araştırıldığı bir çalışmada [9], PEEK ve naylon materyalleri karşılaştırılmıştır. Isırma kuvveti miktarı, 0-3-6 aylık değerlendirme dönemlerinde PEEK materyalinde daha yüksek kaydedilmiştir. Aşınma miktarı ise tüm değerlendirme dönemlerinde naylon materyalinde daha yüksek bulunmuştur. Bu çalışmada PEEK klipslerde aşınma miktarının azalması ve ısırma kuvvetinin artmasıyla naylon klipsler yerine tercih edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Overdenture protezlerde kullanılan O-ring ataçmanını PEEK, poliasetal ve teflon materyallerden üretildiği bir çalışmada [55], pürüzlülük değerleri, yüzey sertlikleri, basma dayanımları ve yorulma dirençleri karşılaştırılmıştır. Poliasetal en düşük yüzey pürüzlülüğünü sergilemiştir. PEEK, materyaller arasında en yüksek basma dayanımı değerlerini göstermiştir. Poliasetalin, teflon ve PEEK'ten daha yüksek yorulma direncine sahip olduğu belirtilmiştir. PEEK, overdenture ataçman materyali olarak kullanımının fizikomekanik özellikleri karşıladığı sonucuna varmışlardır.

15 hastanın dahil edildiği başka bir çalışmada [53], hastalara maksiller implant destekli barlı overdenture protezler ile rehabilite edilmiştir. Ağız içi ve yüz tarayıcılarının kombinasyonu ile alınan ölçülere uygun bar materyalleri, PEEK bloklardan bilgisayar destekli tasarım ve bilgisayar destekli üretim (CAD/CAM) yöntemiyle tasarlanarak üretilmiştir. Barın pasif uyumu, 1 yıllık implant sağ kalım oranı ve implant destekli protezlerin başarı oranları değerlendirilmiştir. Rezin barın provası esnasında, 15 bardan 12'si (%80) mükemmel bir pasif uyum sergilerken; 3'ünün (%20) yeterli pasif uyuma sahip olmadığı ve hiçbir implant kaybedilmediği (1 yıllık %100 sağ kalım oranı) belirtilmiştir.

Hesham ve ark. [56] yapmış oldukları bir klinik çalışmada, alt çene protezlerinin tutuculuğundan şikâyetçi olan tam dişsiz 20 hastaya implant destekli barlı overdenture protezler uygulamışlardır. Bir grup hastaya protez kaide materyali olarak akrilik rezin, diğer gruptaki hastalara PEEK materyali kullanmışlardır. 0-6. ay, 6-12. ay, 12. ay, 12-24. ay, 24. ay dönemlerinde yaptıkları ölçümlerde 12-24. ay ölçüm dönemi dışında PEEK kaide materyali ile tedavi edilen hastalarda önemsiz bir farkla daha az kemik kaybı miktarı bildirilmiştir. Araştırmacılar PEEK kaide materyalinin, implantları destekleyen yapılara uygun yük dağılımına neden olduğunu belirtseler de iki grup arasında peri-implant kemik kaybı yönünden karşılaştırıldığında önemsiz bir fark gözlendiği sonucuna varmışlardır.

Yapılan başka çalışmada ise, metal barların PEEK barlara oranla daha büyük sıkışma dayanımı gösterdiği ve PEEK barların, metal barlara oranla daha fazla deformasyona uğradığı bildirilmiştir. 57

PEEK'in İmplant Üstü Hibrit Protezlerde Alt Yapı Materyali Olarak Kullanımı

İmplant üstü hibrit protezlerdeki sorunların önüne geçmek için en ideal yöntem ve materyal arayışı devam etmektedir. Düşük esneme modülüne sahip olması, şok absorbe edici özelliği, korozyona dirençli olması, ideal biyouyumluluğu, düşük plak afinitesi ve kimyasal kararlılık gibi birçok avantajı PEEK materyalini sabit implant destekli restorasyonlar için metal alt yapılara bir alternatif haline gelmektedir.[58] Ek olarak PEEK materyalinin radyolusent özelliği nedeniyle periapikal radyografi ile vida gevşemesinin tespit edilmesine yardımcı olur. [59]

Tam dişsiz hastalarda uygulanan protetik tedavilerde restorasyonun ağırlığı sorun yaratabilmektedir.[60] Ayrıca bazı durumlarda implantlar diş kökleri alanının ötesine (bazal kemikte) yerleştirilmesiyle protetik restorasyonlarda dikey boyut ile ilgili problemlere, daha büyük alt yapılar ile sonuçlanabilmektedir.[60] PEEK materyali daha hafif protezlerin yapılmasına izin veren, yüksek hasta memnuniyeti ve fonksiyon sırasında konfor sağlayan düşük bir özgül ağırlığa sahiptir. [60]

Titanyum (110 GPa) veya zirkonya (210 GPa) gibi elastik modülü yüksek olan sert materyallerde çiğneme kuvvetleri implant çevresindeki dokulara ileterek meydana gelen aşırı yükleme sorunu; PEEK materyalinin düşük elastik modülü (4 GPa) ile önlenebilmektedir.[60]

Yapılan pilot çalışmalarda [8,58], hibrit protezlerin CAD/CAM ile üretiminde PEEK alt yapı boyutlarına ilişkin minumum parametreler şu şekildedir: I şekilli tasarıma sahip, minimum 5 mm okluzoservikal yüksekliği olan, minimum 4 mm bukkolingual genişliği olan, posterior bölgedeki titanyum implant yuva alanlarında minimum 6 mm bukkolingual kalınlığı olan, minumum 1 mm abutment duvar kalınlığı ve adezyonu arttırmak için 1-2 mm akrilik rezin kalınlığına sahip olması gerektiği belirtilmiştir.

37 hastayla prospektif kohort klinik çalışmada [58], All-on-4 konseptiyle tam ark implant destekli hibrit PEEK-akrilik (PEEK alt yapı, akrilik rezin dişler ve akrilik rezin yapay diş eti) protezler uygulanmış ve kısa dönem sonuçları bildirilmiştir. Alt üst tam çene rehabilitasyonu olan sadece bir hastada PEEK alt yapısında kırık gözlenmiş olup, %98 protetik sağ kalım oranı bildirilmiştir. Hiçbir hastada implant kaybı gözlemlenmemiştir. Akrilik rezinin PEEK altyapısından ayrılmasıyla ilgili teknik komplikasyonlar altı hastada meydana gelmiştir ve tüm hastalarda (protez başarısızlığı olan hasta hariç) mekanik retansiyonların oluşturulması ve bonding primerinin değiştirilmesiyle sorunların çözüldüğü bildirilmiştir. Üç hastada akrilik rezin dişlerde kırılma, iki hastada vida gevşemesi olmak üzere mekanik komplikasyonlar da belirtilmiştir. Vida gevşemesini, vidada artan gerilim yoğunluğu ile açıklamışlardır. Çalışma sonunda yapılan anket neticesinde %88 oranında hasta memnuniyet oranı bildirmişlerdir. Bu çalışmada bildirilen yüksek protez/ implant sağ kalım oranı ve hasta memnuniyeti, düşük marjinal kemik kaybı, düşük biyolojik ve mekanik komplikasyon oranıyla hibrit protezlerde PEEK materyalinin uygun bir tedavi seçeneği olduğu belirtilmiştir.

PEEK alt yapılar içeren hibrit protezlerde, titanyum protez vidalarının torkla sıkıştırılmasından sonra PEEK alt yapıda meydana gelen gerilimler nedeniyle diş etinde staza sebep olduğu bildirilmiş ve bu durumu önlemek için PEEK alt yapısına üretim esnasında titanyum kılıfın yerleştirilmesi önerilmiştir. [58]

Tribst ve ark. [61] sonlu elamanlar yöntemiyle All-on-4 protezlerde alt yapı materyalinin ve posterior implant açılanmasının gerilim dağılımı üzerindeki etkisini değerlendirdikleri çalışmada, her iki faktörün de (alt yapı materyali ve posterior implant açılanması) mekanik cevap üzerinde etkili olduğunu bildirmişlerdir. Bu çalışmada alt yapı materyali olarak krom-kobalt (Cr-Co), PEEK, itriyum stabilize tetragonal zirkonya (Y-TZP) kullanılmıştır. 10 mm kantilever uzunluğuna sahip 45° açılı distal implantlarda alt yapı materyali olarak PEEK kullanımı, implant üzerinde en yüksek gerilim konsantrasyonunu göstermiştir. Alt yapı materyali PEEK olan protezlerde, vida üzerindeki en yüksek gerilim değeri kaydedilirken; yapı üzerindeki en düşük stres değerleri kaydedilmiştir. Alt yapı materyali olarak daha rijit materyalin kullanımı yapı üzerinde daha fazla gerilime neden olurken, protez vidası üzerinde ise gerilimlerin azaldığı sonucuna varmışlardır.

Samer ve ark. [59] klinik çalışmalarında, All-on-4 hibrit protezler (BioHPP alt yapı, akrilik rezin diş ve akrilik protez kaidesi) ile 6 hasta rehabilite edilmiştir. Bir hastanın iki implantında ilk 3 ayda başarısızlık gözlemlenmiş olup, distal (eğimli) implantlar ve aşırı yükleme nedeniyle meydana geldiğini ve başarı oranını %91.7'ye düşürdüğü belirtilmiştir. 6-12 aylık gözlem süreleri arasında dişeti indeksi, cep derinliği, implant stabilitesi ve vertikal kemik kaybı açısından fark bildirilmemiştir.

İmplantlar yapıldıktan sonraki bir yıl içerisinde marjinal kemik kaybı miktarı anterior ve posterior implantlarda 1 mm'yi geçmemelidir. Kemik kaybının büyük kısmı yüklemeden sonraki ilk 1 yıl içinde, özellikle de ilk altı ayda meydana gelmektedir. [62] Samer ve ark. [59] aynı çalışmasında, implantların etrafındaki marjinal kemik kaybının 6 aylık ölçümden 12 aylık sürece kadar önemli miktarda artmadığı bildirilmiştir. İlk 6 ayda kemik kaybı, implant yerleştirildikten sonra meydana gelen kemiğin yeniden şekillenmesi; doğal biyolojik süreç ve fonksiyonel gerilimlerle birlikte iyileşme ve yeniden yapılanmaya bağlanmaktadır. Bundan sonraki süreçte kemik kaybı oranı azalmaktadır. Azalan kemik rezorpsiyonunun başka bir nedeni ise, düşük elastik modülüne sahip ve oklüzal kuvvetleri absorbe eden özelliğiyle PEEK'in alt yapı materyali olarak kullanılmasının olduğu belirtilmiştir.

Wang ve ark. [63] yapmış oldukları retrospektif bir çalışmada, 43 dişsiz hasta 60 adet implant destekli full-ark sabit protez (29 PEEK, 31 titanyum) ile rehabilite edilmiştir. Bu çalışmada, %100' lük bir implant sağ kalım oranı bildirilmiştir. PEEK (%93.1) ve titanyum gruplarının (%93.5) arasında kümülatif protez sağ kalım oranları arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır. Hem PEEK (% 13.8) hem de titanyum (%16.7) grubunda en sık görülen mekanik komplikasyon veneer materyalinin kırılması olduğu bildirilmiştir. Biyolojik komplikasyonlar arasında sondlama sırasında kanama (PEEK grubu için %13.8; titanyum grubu için %16.1), yumuşak doku iltihabı (PEEK grubu için %3.4; titanyum grubu için %3.2) ve temporomandibular bozuklukların (Titanyum grubu için %6.5) da yer aldığını bildirilmiştir. Dikey kemik kaybının, PEEK grubunda (0.70 mm) titanyum grubuna (0.96 mm) göre önemli ölçüde daha düşük olduğunu belirtilmiştir.

PEEK'in İmplant Üstü Protezlerde Altyapı Materyali Olarak Kullanımı

İmplant üstü sabit protezler için günümüzde en yaygın kullanılan materyaller metal-seramik ve zirkonyum restorasyonlardır.[64] Materyal ve teknolojilerdeki sürekli gelişmelere rağmen, her iki materyalde implant destekli sabit protezlerin uzun vadeli performasını etkileyen eksiklikleri mevcuttur.[65] Veneerlenmiş zirkonya restorasyonlarda veneer seramiğinin chippingi ve delaminasyonu gibi sorunlarla karşılaşılabilmektedir.[65] Bu durum monolitik zirkonya restorasyonlara olan ilgiyi arttırmıştır. [66] Monolitik zirkonya restorasyonların sahip olduğu estetik sınırlamaları nedeniyle mükemmel bir diş benzeri renk elde etmek de zordur.[67] Metal-seramik sabit protezler uzun dönemde daha iyi stabilite gösterse de veneerlenmiş zirkonya restorasyonlar ile karşılaştırıldığında marjinal diş eti renk değişikliği ve metale karşı alerjik reaksiyon gelişebilmesi gibi sınırlamaları mevcuttur. [68]

Metal-seramik ve zirkonyaya alternatif olarak implant destekli sabit protetik restorasyonlarda termoplastik polimer yapısındaki PEEK materyali alternatif gösterilmektedir. [65] PEEK'in biyouyumluluğu, şok absorbe edici özelliği ve aşınma direncinin doğal dişlere benzer olması nedeniyle, günümüzde PEEK alt yapılı implant destekli sabit restorasyonlara olan ilgi artmaktadır.[69] PEEK'in dezavantajları, monolitik restorasyonlar için kullanımını kısıtlayan beyazdan grimsi renge, opaklığa ve düşük yarı saydamlığa sahiptir. [65]

Soldatovic ve ark.[65], toplamda 120 örnek olacak şekilde 4 üniteli implant destekli PEEK alt yapılar üreterek; dijital venerleme, konvansiyonel kompozit ile venerleme ve prefabrike veneerleme olmak üzere 3 farklı yöntemle veneerleme işlemini gerçekleştirmişlerdir. Örnekleri titanyum abutmentlara simante ederek kırılma direçlerini değerlendirmişlerdir. Tüm implant destekli 4 üniteli PEEK sabit protezlerin, arka bölgedeki maksimum oklüzal kuvvetlerden daha yüksek bir kırılma yükü gösterdiğini ve venerleme tekniğinin implant destekli protezlerin uzun dönemde stabilitesini büyük ölçüde etkidiğini bildirmişlerdir.

Tekin ve ark.70, CAD-CAM yöntemi ile üretilen farklı materyallerle (monolitik zirkonya, lityum disilikat seramik, rezin nano-seramik, feldspatik seramik, zirkonya ile güçlendirilmiş lityum silikat seramik ve bir rezin kompozit) veneerlenmiş PEEK alt yapılı implant destekli tek kronların yaşlanma sonrası kırılma direncini değerlendirmişlerdir. Kırılma dayanımı monolitik zirkonyum ile venerlenmiş PEEK alt yapıda (1665 N) en yüksek olduğunu, ardından rezin nano-seramik ile veenerlenmiş grup (1440 N), lityum disilikat seramik ile veneerlenmiş grup (1249 N), rezin kompozit ile veneerlenmş grup (918 N), zirkonya ile güçlendirilmiş lityum silikat ile venerlenmiş grup (754 N) ve feldspatik seramik ile veneerlenmiş grubun (655 N) takip ettiğini bildirmişlerdir.

SONUÇ

1. PEEK materyali, kemiğe benzer düşük elastik modülü, şok absorbe edici özelliği, düşük özgül ağırlığı, sürtünmeye ve aşınmaya dirençli olması ve üstün cilananabilir özelliği sayesinde plak tutulumun düşük olması gibi özellikleriyle implant üstü protezlerde kullanım açısından oldukça umut verici bir materyal haline gelmektedir.
2. İncelenen klinik araştırmalara göre PEEK'in hibrit protezlerde alt yapı materyali olarak, overdenture protezlerde hassas bağlantı parçalarında, implant üstü dijital ölçü postlarında, abutment ve iyileşme başlığı materyali olarak sıklıkla ve güvenle tercih edildiği

görülmektedir.

3. İncelenen klinik çalışmalarda yüksek protez/implant sağ kalım oranı, yüksek hasta memnuniyeti ve düşük oranda biyolojik ve mekanik komplikasyon bildirilmiştir.
4. PEEK materyalinin klinik başarısını belirlemek için daha fazla sayıda bilimsel kanıtları olan araştırmalara ve daha uzun klinik takip süresine ihtiyaç duyulmaktadır.

Değerlendirme / Peer-Review

İki Dış Hakem / Çift Taraflı Körleme

Etik Beyan / Ethical statement

* Bu makale, ….. Sempozyumu'nda sözlü olarak sunulan ancak tam metni yayımlanmayan "….." adlı tebliğin içeriği geliştirilerek ve kısmen değiştirilerek üretilmiş hâlidir.

Bu çalışma danışmanlığında… tarihinde sunduğumuz/tamamladığımız… başlıklı yüksek lisans/doktora tezi esas alınarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmanın hazırlanma sürecinde bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm çalışmaların kaynakçada belirtildiği beyan olunur.

This article is the version of the presentation named "…..", which was presented orally at the ….. Symposium, but whose full text was not published, by improving and partially changing the content.

This study has been prepared on the basis of the master's/doctoral thesis titled "…." which we submitted/completed on … under the supervision of ….

It is declared that during the preparation process of this study, scientific and ethical principles were followed and all the studies benefited are stated in the bibliography.

Bu makale sempozyum ya da kongrede sunulan bir tebliğin içeriği geliştirilerek ve kısmen değiştirilerek üretilmemiştir.
Bu çalışma, yüksek lisans/doktora tezi esas alınarak hazırlanmamıştır.
Bu çalışmanın hazırlanma sürecinde bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm çalışmaların kaynakçada belirtildiği beyan olunur.
This article is not be the version of a prensentation.
This article has not been prepared on the basis of a master's /doctoral thesis.
It is declared that during the preperation process of this study, scentific and ethical principles were followed and all the studies benefited are stated in the bibliography.

Benzerlik Taraması / Similarity scan

Yapıldı - ithenticate

Etik Bildirim / Ethical statement

ethic.selcukdentaljournal@hotmail.com

Telif Hakkı & Lisans / Copyright & License

Yazarlar dergide yayınlanan çalışmalarının telif hakkına sahiptirler ve çalışmaları CC BY-NC 4.0 lisansı altında yayımlanmaktadır.

Finansman / Grant Support

Yazarlar bu çalışma için finansal destek almadığını beyan etmiştir. | The authors declared that this study has received no financial support.

Çıkar Çatışması / Conflict of Interest

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemiştir. | The authors have no conflict of interest to declare.

Yazar Katkıları / Author Contributions

Çalışmanın Tasarlanması | Design of Study: HY (%?), EK (%35), YAÖ (%?)
Veri Toplanması | Data Acquisition: HY (%40), EK (%35), YAÖ (%25)
Veri Analizi | Data Analysis: HY (%40), EK (%35), YAÖ (%25)
Makalenin Yazımı | Writing up: HY (%40), EK (%35), YAÖ (%25)
Makale Gönderimi ve Revizyonu | Submission and Revision: HY (%40), EK (%35), YAÖ (%25)

Çalışmanın Tasarlanması I Design pf Study: FG (%40) MK (%30) TK (%30)
Veri Toplanması I Data Acquisition: FG (%40) MK (%30) TK (%30)
Veri Analizi I Data Analysis : FG (%40) MK (%30) TK (%30)
Makalenin Yazımı I Writing up: FG (%40) MK (%30) TK (%30)
Makakle Gönderimi ve Revizyonu I Submission and Revision: FG (%40) MK (%30) TK (%30)

KAYNAKLAR

1. Blanch-Martínez N, Arias-Herrera S, Martínez-González A. Behavior of polyether-ether-ketone (PEEK) in prostheses on dental implants. J Clin Exp Dent. 2021;13:520–6.
2. Zoidis P, Papathanasiou I. Modified PEEK resin-bonded fixed dental prosthesis as an interim restoration after implant placement. J Prosthet Dent. 2016 ;116:637–41.
3. Kumar D, Rajmohan T, Venkatachalapathi S. Wear behavior of PEEK matrix composites: A Review. Materials Today: Proceedings, 2018.
4. Kurtz SM, Devine JN. PEEK biomaterials in trauma, orthopedic, and spinal implants. Biomaterials. 2007:4845–69.
5. Tekin S, Cangül S, Adıgüzel Ö, Değer Y. Areas for use of PEEK material in dentistry. International Dental Research 2018;8:84–92.
6. Schwitalla A, Müller WD. PEEK dental implants: A review of the literatüre. Journal of Oral Implantology. 2013. p. 743–9.
7. Schwitalla AD, Abou-Emara M, Zimmermann T, Spintig T, Beuer F, Lackmann J, et al. The applicability of PEEK-based abutment screws. J Mech Behav Biomed Mater. 2016;63:244–51.
8. Nobre M de A, Guedes CM, 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;9:1–18.
9. K Emera R, Altonbary G, Elbashir S. Comparison between all zirconia, all PEEK, and zirconia-PEEK telescopic attachments for two implants retained mandibular complete overdentures: In vitro stress analysis study. Journal of Dental Implants. 2019;9:24.
10. Simsiriwong J, Shrestha R, Shamsaei N, Lugo M, Moser RD. Effects of microstructural inclusions on fatigue life of polyether ether ketone (PEEK). J Mech Behav Biomed Mater. 2015;51:388–97.
11. Kewekordes T, Wille S, Kern M. Wear of polyetherketoneketones — Influence of titanium dioxide content and antagonistic material. Dental Materials. 2018;34:560–7.
12. Zoidis P, Papathanasiou I. Modified PEEK resin-bonded fixed dental prosthesis as an interim restoration after implant placement. Journal of Prosthetic Dentistry. 2016;116:637–41.
13. 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. Journal of Prosthodontics. 2016;25:580–4.
14. Tekin S, Cangül S, Adıgüzel Ö, Değer Y. Areas for use of PEEK material in dentistry. International Dental Research. 2018;8:84–92.
15. Stawarczyk B, Thrun H, Eichberger M, Roos M, Edelhoff D, Schweiger J, et al. Effect of different surface pretreatments and adhesives on the load-bearing capacity of veneered 3-unit PEEK FDPs. J Prosthet Dent. 2015;114:666–73.
16. Papathanasiou I, Kamposiora P, Papavasiliou G, Ferrari M. The use of PEEK in digital prosthodontics: A narrative review. Vol. 20, BMC Oral Health 2020.
17. 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.
18. Kanzow P, Wiegand A, Schwendicke F, Göstemeyer G. Same, same, but different? A systematic review of protocols for restoration repair. J Dent. 2019 ;86:1–16.
19. Cabello-Domínguez G, Pérez-López J, Veiga-López B, González D, Revilla-León M. Maxillary zirconia and mandibular composite resin-lithium disilicateemodified PEEK fixed implant-supported restorations for a completely edentulous patient with an atrophic maxilla and mandible: A clinical report. J Prosthet Dent 2020;124:403-410
20. Özden S, Demir H. Polieter-Eter-Keton (PEEK) Diş Hekimliğinde Yükselen Materyal Material Rising in Dentistry Poly-Ether-Ether-Ketone (PEEK) 2020.
21. Rahmitasari F, Ishida Y, Kurahashi K, Matsuda T, Watanabe M, Ichikawa T. PEEK with reinforced materials and modifications for dental implant applications. Dentistry Journal 2017.
22. Lee WT, Koak JY, Lim YJ, Kim SK, Kwon HB, Kim MJ. Stress shielding and fatigue limits of poly-ether-ether-ketone dental implants. J Biomed Mater Res B Appl Biomater. 2012;100 B:1044–52.
23. Chen F, Gatea S, Ou H, Lu B, Long H. Fracture characteristics of PEEK at various stress triaxialities. J Mech Behav Biomed Mater. 2016;64:173–86.
24. Benli M, Eker Gümüş B, 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.
25. 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. Journal of Prosthodontics. 2016;25:580–4.
26. Brånemark PI, Breine U, Adell R, Hansson BO, Lindström J, Ohlsson A. Intra-osseous anchorage of dental prostheses: I. Experimental studies. Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg. 1969;3:81–100.
27. Chen F, Gatea S, Ou H, Lu B, Long H. Fracture characteristics of PEEK at various stress triaxialities. J Mech Behav Biomed Mater. 2016;64:173–86.
28. Niinomi M. Mechanical properties of biomedical titanium alloys. Materials Science and Engineering1998.
29. Hosoki M, Nishigawa K, Miyamoto Y, Ohe G, Matsuka Y. Allergic contact dermatitis caused by titanium screws and dental implants. J Prosthodont Res. 2016;60(3):213–9.
30. Souza JCM, Pinho SS, Braz MP, Silva FS, Henriques B. Carbon fiber-reinforced PEEK in implant dentistry: A scoping review on the finite element method. Comput Methods Biomech Biomed Engin 2021;5:425-429.
31. Kong N, Chen A, Yan W, Zhang H. Ceramic implant fracture: A clinical report.
32. Özkurt Z, Kazazoğlu E. Zirconia dental implants: A literature review. Vol. 37, Journal of Oral Implantology. 2011. p. 367–76.
33. Kassem YM, Alshimy AM, El-Shabrawy SM. Mechanical evaluation of Polyetheretherketone Versus Zirconia. Vol. 44, Alexandria Dental Journal. 2019;44:61-66
34. Rabiei A, Sandukas S. Processing and evaluation of bioactive coatings on polymeric implants. J Biomed Mater Res A. 2013;101 A:2621–9.
35. Barkarmo S, Wennerberg A, Hoffman M, Kjellin P, Breding K, Handa P, et al. Nano-hydroxyapatite-coated PEEK implants: A pilot study in rabbit bone. J Biomed Mater Res A. 2013;101A:465–71.
36. Wu X, Liu X, Wei J, Ma J, Deng F, Wei S. Nano-TiO2/PEEK bioactive composite as a bone substitute material: In vitro and in vivo studies. Int J Nanomedicine. 2012;7:1215–25.
37. Suska F, Omar O, Emanuelsson L, Taylor M, Gruner P, Kinbrum A, et al. Enhancement of CRF-PEEK osseointegration by plasma-sprayed hydroxyapatite: A rabbit model. J Biomater Appl. 2014;29:234–42.
38. Poulsson AHC, Eglin D, Zeiter S, Camenisch K, Sprecher C, Agarwal Y, et al. Osseointegration of machined, injection moulded and oxygen plasma modified PEEK implants in a sheep model. Biomaterials. 2014;35:3717–28.
39. Wang L, He S, Wu X, Liang S, Mu Z, Wei J, et al. Polyetheretherketone/nano-fluorohydroxyapatite composite with antimicrobial activity and osseointegration properties. Biomaterials. 2014 ;35:6758–75.
40. Lee WT, Koak JY, Lim YJ, Kim SK, Kwon HB, Kim MJ. Stress shielding and fatigue limits of poly-ether-ether-ketone dental implants. J Biomed Mater Res B Appl Biomater. 2012;100 B:1044–52.
41. Sarot JR, Contar CMM, Cruz ACC da, de Souza Magini R. Evaluation of the stress distribution in CFR-PEEK dental implants by the three-dimensional finite element method. J Mater Sci Mater Med. 2010;21:2079–85.
42. Koch FP, Weng D, Krämer S, Biesterfeld S, Jahn-Eimermacher A, Wagner W. Osseointegration of one-Piece zirconia implants compared with a titanium implant of identical design: A histomorphometric study in the dog. Clin Oral Implants Res. 2010;21:350–6.
43. Schwitalla AD, Abou-Emara M, Spintig T, Lackmann J, Müller WD. Finite element analysis of the biomechanical effects of PEEK dental implants on the peri-implant bone. J Biomech. 2015;48:1–7.
44. 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.
45. Akan E, Velioğlu E, Çömlekoğlu M, Çömlekoğlu M. Fatigue and stress distribution analyses of ceramic-reinforced PEEK abutments restored with monolithic zirconia crowns as an alternative to conventional esthetic abutments. Int J Oral Maxillofac Implants. 2022;37:533–42.

46. Atsü S, Aksan M, Bulut A. Fracture Resistance of titanium, zirconia, and ceramic-reinforced polyetheretherketone ımplant abutments supporting CAD/CAM monolithic lithium disilicate ceramic crowns after aging. Int J Oral Maxillofac Implants. 2019;34:622–30.
47. Hahnel S, Wieser A, Lang R, Rosentritt M. Biofilm formation on the surface of modern implant abutment materials. Clin Oral Implants Res. 2015;26:1297–301.
48. Jin H ying, Teng M hua, Wang Z jun, Li X, Liang J yue, Wang W xue, et al. Comparative evaluation of BioHPP and titanium as a framework veneered with composite resin for implant-supported fixed dental prostheses. Journal of Prosthetic Dentistry. 2019;122:383–8.
49. Brandt J, dent med, Lauer HC, Peter T, Brandt S. Digital process for an implant-supported fixed dental prosthesis: A clinical report. J Prosthet Dent 2015;114:469-73
50. Mizumoto RM, Yilmaz B. Intraoral scan bodies in implant dentistry: A systematic review. J Prosthet Dent. 2018;3:343-352.
51. Moreira AHJ, Rodrigues NF, Pinho ACM, Fonseca JC, Vilaça JL. Accuracy Comparison of impression techniques: A Systematic Review. Clinical Implant Dentistry and Related Research 2015. p. e751–64.
52. Kim JH, Kim JH, Son KB da, Son KB da, Lee KB, Lee KB, et al. Displacement of scan body during screw tightening: A comparative in vitro study. Journal of Advanced Prosthodontics. 2020;12:307–15.
53. Mangano F, Mangano C, Margiani B, Admakin O, Ardelean LC. Combining ıntraoral 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;4274715.
54. Sharaf MY, Eskander A, Afify M. Novel PEEK retentive elements versus conventional retentive elements in mandibular overdentures: A Randomized Controlled Trial. Int J Dent. 2022:6947756.
55. Galo Da Silva G, Vinicius M, Shimano W, Macedo AP, Lima Da Costa Valente M, Cândido A, et al. In vitro assessment of polyetheretherketone for an attachment component for an implant-retained overdenture. J Prosthet Dent. 2022;127:319.
56. Alameldeen HE, Abdelbary SK. Effect of Polyetheretherketone (PEEK) as denture base material on peri-implant bone level changes in implant bar retained overdenture using CAD/CAM technology. Dental Journal 2019.
57. Çetinkaya Numan, PEEK(Polietereterketon) altyapılı restorasyonlarda uygulanan farklı tamir yöntemlerinin bağlanma direnci etkinliğinin değerlendirilmesi (Diş Hekimliğinde Uzmanlık Tezi) Diyarbakır: Dicle Üniversitesi; 2020.
58. Maló P, de Araújo Nobre M, Moura Guedes C, Almeida R, Silva A, Sereno N, 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.
59. Mostafa Ali S, Bahgat El Talawy D, Bahgat El Talawy DE. Clinical and radiographic outcomes of Poly-Etheretherketone (PEEK) hybrid prosthesis used for “all on four” rehabilitation of edentulous maxilla: A short-term case series study. Dental Journal 2019.
60. Tipton P, Professor Paul Tipton examines the application of the high-performance polymer PEEK for CAD/CAM produced ful- arch implant retained prostheses. Clinical Excellence 2019.
61. Tribst JPM, de Morais DC, de Matos JDM, Lopes G da RS, Dal Piva AM de O, Borges ALS, et al. Influence of framework material and posterior implant angulation in full-arch all-on-4 implant-supported prosthesis stress concentration. Dent J 2022;10(1).
62. Dyeus MC, Tae-Ju O, Jungwha L, Carl EM, Hom-Lay W, Factors affecting late implant bone loss: a retrospective analysis. Int J Oral Maxillofac Implants 2007;22:117-26.
63. Wang J, Wu P, Liu HL, Zhang L, Liu LP, Ma CF, et al. Polyetheretherketone versus titanium CAD-CAM framework for implant-supported fixed complete dentures: a retrospective study with up to 5-year follow-up. J Prosthodont Res. 2022;66:279–87.
64. Sailer I, Strasding M, Valente NA, Zwahlen M, Liu S, Pjetursson BE. A systematic review of the survival and complication rates of zirconia-ceramic and metal-ceramic multiple-unit fixed dental prostheses. Clinical Oral Implants Research 2018. p. 184–98.
65. Micovic Soldatovic D, Liebermann A, Huth KC, Stawarczyk B. Fracture load of different veneered and implant-supported 4-Unit cantilever PEEK fixed dental prostheses. J Mech Behav Biomed Mater. 2022;129:105173.
66. López-Suárez C, Castillo-Oyagüe R, Rodríguez-Alonso V, Lynch CD, Suárez-García MJ. Fracture load of metal-ceramic, monolithic, and bi-layered zirconia-based posterior fixed dental prostheses after thermo-mechanical cycling. J Dent. 2018;73:97–104.
67. Tabatabaian F, Dalirani S, Namdari M. Effect of thickness of zirconia ceramic on its masking ability: An in vitro study. Journal of Prosthodontics. 2019;28:666–71.
68. Poggio CE, Ercoli C, Rispoli L, Maiorana C, Esposito M. Metal-free materials for fixed prosthodontic restorations . Cochrane Database of Systematic Reviews 2017.
69. Parmigiani-Izquierdo JM, Cabaña-Muñoz ME, Merino JJ, Sánchez-Pérez A. Zirconia implants and peek restorations for the replacement of upper molars. Int J Implant Dent. 2017;3(1).
70. Tekin S, Demirci F,Bakir M, Fracture strength of different veneers on polyetheretherketone (PEEK) frameworks in implant-supported single crowns. Am J Dent 2022;35:167–71.