

Farklı Estetik Materyallerle Kaplanmış Diş Yapısında Gerilim Dağılımlarının Değerlendirilmesi: Sonlu Elemanlar Stres Analizi (FEA)

The Evaluation of Stress Patterns Distributed Around Tooth Structure Coated with Various Esthetic Materials: A Finite Element Analysis Study (FEA)

M. Ali GÜNGÖR¹ Ebru ÇAL¹ Mine DÜNDAR¹ Çiçek KARAOĞLU²
Mehmet SONUGELEN¹ Celal ARTUNC¹

¹Ege Üniversitesi, Dişhekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi AD, İZMİR

²Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, İZMİR

Özet

Amaç: Bu çalışmanın amacı, üç boyutlu sonlu eleman stres analiz yöntemi (FEA) kullanılarak, çögne kuvveti altında farklı restoratif materyaller ve doğal diş (DD) yapısında meydana gelen gerilim dağılımlarının incelenmesidir.

Yöntem: Alt çene birinci küçük ağı diş, kuron tarzında beş farklı restoratif malzeme kullanılarak model hazırlandı. Buccal tüberküller üzerine 90° ve 45° açılar ile 450 N değerinde çögne kuvveti uygulandı. Gerilim dağılımları servikal bölgede x-x eksen boyunca σ_y gerilimleri olarak BB, B ve B1 düzlemlerinde incelendi ve doğal diş yapısı ile karşılaştırıldı.

Bulgular: Gerilim yoğunlaşmaları kuvvetin uygulandığı bukkal tüberküller, servikal bölge ve apiks bölgelerinde gözlemlendi. Model üzerine kök doğrultusunda çögne kuvveti uygulandığında B düzleminde basma gerilimi, B1 düzleminde çekme gerilimi yoğunlaştı. Bucco-lingual yönde diş aksıyla 45° açı ile çögne kuvveti uygulandığında B düzleminde çekme gerilimi, B1 düzleminde basma gerilimi yoğunlaştı. BB düzleminde, her iki kuvvet uygulanmasında da basma-çekme gerilim yoğunlaşması gözlemlendi.

Sonuç: Empress 2 restoratif materyali, doğal diş yapısına en yakın gerilim dağılım özelliğini gösterdi.

Anahtar kelimeler: sonlu eleman stres analizi, restoratif materyaller, çögne kuvveti

Abstract

Purpose: The aim of this study was to evaluate the stress patterns created in various esthetic materials on tooth structure by using three-dimensional finite element analysis.

Methods: A three-dimensional mesh-generated model of a mandibular premolar tooth was prepared. To simulate the masticatory forces, a 450 N force was applied 90° occlusally and 45° on the buccal cusp of the tooth. Stress distributions on the cervical region along the x-x axis were evaluated as σ_y stresses on BB, B and B1 planes.

Results: The stress concentrations were mainly around the force applied point, the cervical and the apical regions. When a masticatory force of 90° was applied on the model, compressive stresses were concentrated on the B plane while tensile stresses were concentrated on the B1 plane. Both tensile and compressive stress concentrations were observed on BB plane when both 90° and 45° forces were applied.

Conclusion: Empress 2 material showed similar stress distribution patterns to the natural tooth.

Keywords: finite element analysis, restorative materials, masticatory force

Giriş

Çağdaş dişhekimliği uygulamalarının büyük bir bölümünü sabit protetik tedaviler oluşturmaktadır. Materyal teknolojisindeki en son gelişmeler ile birlikte birçok farklı estetik materyal sabit protetik tedavilerde geniş kullanım alanı bulmaktadır. Estetik materyaller; metal seramik sistemler, tam seramik sistemler (dökülebilir cam seramikler, ısıya dayanıklı model üzerinde hazırlanan sistemler, kopya freze sistemler ve CAD/CAM sistemler, seromerler ve akrilikler olarak sınıflandırılabilir.¹⁻³

Dişhekimliğinde kullanılan restoratif malzemelerin ağız içi ortamında çığneme kuvvetlerine dayanıklılık, renk stabilitesi, mekanik dayanıklılık, yüksek abrazyon direnci ve diş yapısına iyi bağlanabilme gibi özelliklerinin olması gereklidir.³

Sabit protetik restorasyonların uygulandığı olgularda fonksiyon sırasında restorasyona, dolayısıyla dişlere gelen kuvvetlerin diş-periodontal ligament, çevre tutucu dokular ve alveoler kemik dokusunda farklı şekil değişimleri ve iç gerilimler oluşturulacağı, bunların değerlerinin her bir dokunun fiziksel özelliklerine bağlı olarak farklılık göstereceği bilinmektedir.⁴ Oluşan gerilim ve şekil değişimleri çeşitli analiz yöntemleri ile incelenebilir. Bu yöntemler, sonlu eleman stres analizi (FEA), fotoelastik analiz, gerilim ölçüm analizleri, geometrik analizler olarak sınıflanabilir.⁵⁻⁷ Sonlu elemanlar gerilim analizi dişhekimliğinde kullanılan çeşitli materyallerin biyomekanik performansını tahmin etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Karmaşık geometriye sahip sorunlarda analitik bir çözüm elde etmek çok zordur. Sonlu eleman ana fiziinde mümkün olduğu kadar gerçege yakın bir model hazırlanabilir, maddelerin özellikleri kolaylıkla değiştirilebilir ve yüklerle ait değişken parametreler oluşturulabilir. Dolayısıyla FEA, nümerik (sayısal) bir yöntem olması nedeniyle özellikle dişlerdeki gerilim dağılımını incelemeye kullanılmaktadır.⁸

Dişlerin okluzal yüzeylerine uygulanan diş merkezli yükler, servikal bölgelerde yoğunlaşan gerilimler yaratmaktadır.^{6,9-11} Okluzal kuvvetler dişte basma, çekme ve kayma türünde içsel gerilmelere (internal stress) neden olmakta ve dişin yapısını ve dişteki biyomekanik olayları önemli boyutlarda etkilemektedir.

Çalışmada, alt çene birinci küçük ağız dişte, değişik malzemelerden hazırllanmış kuronların servikal bölgesindeki gerilim dağılmını çığneme yükleri altında üç boyutlu (3D) FEA kullanılarak incelenmesi ve sonuçların doğal diş yapısına (DD) göre karşılaştırılması amaçlandı.

Gereç ve Yöntem

Bu çalışmada alt çene birinci küçük ağız diş, farklı restoratif materyallerin dişte oluşturduğu gerilim şekillerinin incelenmesi, gerilim oluşturma potansiyellerinin benzerlik ve farklılıklarının ortaya çıkarılması amacıyla destek diş olarak modellendi. Geometrik şeklin oluşturulması amacı ile alt çene birinci küçük ağız diş. Wheeler'in¹² tanımladığı anatomi forması uygun olarak hazırlandı. Sonlu eleman modelini oluşturmak için mine, dentin ve pulpa odasının konturlarını izleyen anatomi şekilli bukkolingual kesit biçimlendirildi. Dişin çevre dokularının şekli ve boyutları modellemeye dahil edildi.^{7,13}

Farklı kaplama materyalleri kullanılarak restore edilecek diş okluzal yüzeyde 2 mm, servikal alanda 1 mm ve bukko-lingual yönde de 1,2 mm boyutlarında madde kaldırılacak şekilde diş kesimi uygulandı. Servikal bölgede yuvarlatılmış dik iç açı tipinde (shoulder) basamak oluşturuldu.

Çalışmada dental restoratif malzemeler olarak Porselen-Titanyum (Ti) (Ti Bond, De Trey, UK), Porselen-Au-Pd合金 (Au-Pd) (Degudent U, Degussa, Almanya), litium disilikat tam seramik (IE-2) (IPS Empress 2, Ivoclar-Vivadent, Schaan, Liechtenstein), düşük lösit içerikli cam seramik (Ce) (Ceramco, Burlington, NJ) ve seromer (Ta) (Targis, Ivoclar-Vivadent) sistemleri kullanıldı. Hazırlanan yapay kuron ve dişin dentin dokusu arasında 50 µm bir siman tabakası da modellemeye dahil edilerek, kuronun diş mukemmel yaptığı kabul edildi.³ Ölçülen parametrelerin bilgisayara aktarılması ile 3 boyutlu bir FEA modeli oluşturuldu (Şekil 1). Sonlu elemanlar gerilim analizinin yapılabilmesi amacıyla oluşturulan matematik modelde, malzemelerin iki önemli özelliği olan elastiklik modülü ve poison oranı programa dahil edildi (Tablo 1).^{4,14,15}

Çalışmada ANSYS 5.4 (Swanson Analysis System, Houston, TX, ABD) sonlu elemanlar gerilme analizi paket programı kullanıldı. İzotropik, homojen, elas-

tik ve aksisimetrik olarak kabul edilen model 8188 düğüm noktası, 43755 katı eleman ve 6 serbestlik derecesi olacak şekilde hazırlandı. Problem çözülmünde solit 72 eleman tipi kullanıldı. Model geometrisi ve ağı (*mesh*) oluşturulurken, noktalardan çizgiler, çizgilerden alanlar, alanlardan da hacimler elde edildi.

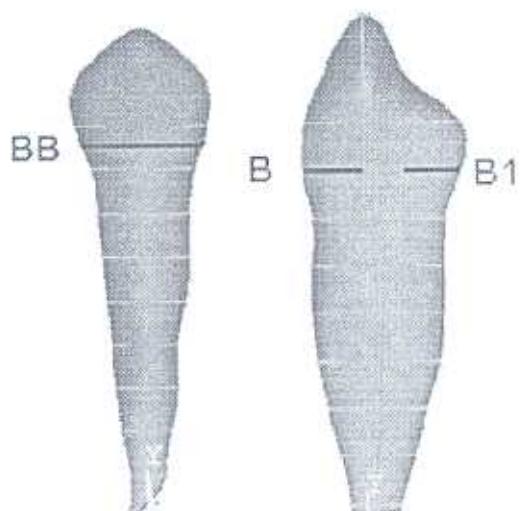


Şekil 1. FEA modelleri.

Tablo 1. Materyallerin fiziksel özellikleri.

Materyal	Elastiklik Modülü (Mpa)	Poisson Oranı
Titanyum	117000	0,33
Au-Pd	93500	0,33
IPS Empress 2 core materyali*	95000	0,25
IPS Empress 2 layering Materyali*	60000	0,25
Ceramco FAC all-seramik*	70000	0,19
Targis*	12300	0,23
Vectris*	21000	0,23
Porselen	63000	0,19
Variolink II*	8300	0,24
Mine	48000	0,33
Dentin	18600	0,31
Periodontal ligament	68,9	0,45
Alveol kemiği	14700	0,26

(*) Materyallerin fiziksel özellikleri firma tarafından belirtilmiştir.



Şekil 2. Diş üzerindeki düzlemlerin belirlenmesi.

Çıgneme kuvveti 450 N değerinde alınarak 90° okluzal yüzeyden ve bukko-lingual yönde diş aksıyla 45° açı yapacak şekilde bukkal tüberküllerin dış eğimi üç noktadan uygulandı.¹⁴ Matematik modele statik yük uygulanarak meydana gelen çekme ve basma gerilimleri bulundukları x, y, z eksenleri üzerinde incelendi ve servikal 1/3 alandaki gerilim dağılımları izlendi. DeğerSEL olarak büyük olan σ_y gerilimleri BB, B ve B1 düzlemlerinde değerlendirildi.

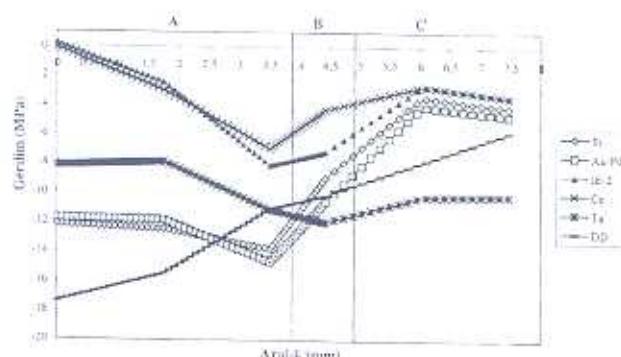
Birinci düzlem (BB), dişin bukkal bölüm boyunca mezyo-distal yönde yer almaktadır. İkinci düzlem (B), dişin bukko-servikal bölümünden geçerek dentin tabakasında sonlanmaktadır. Üçüncü düzlem (B1), lingual yüzdeki dentin tabakasından başlayıp dişin lingual aproksimal bölümünden geçerek serviko-lingual bölümune uzanmaktadır (Şekil 2). Servikal bölgedeki gerilimler sıkılıkla BB, B ve B1 düzlemlerinde değerlendirildiğinden,^{3,7} çalışmamızda da aynı düzlemler seçildi. Pulpanın sonuçlar üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı belirtildiğinden,¹⁶ bu çalışmada da pulpa boşluk olarak modellendi.

Bulgular

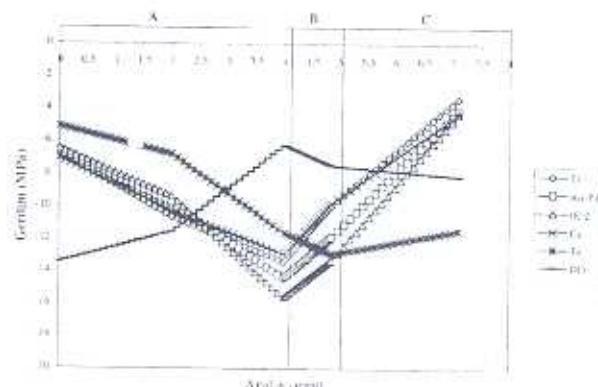
Matematiksel modele, 90° ve 45° açı ile 450 N değerinde çığneme kuvveti uygulandığında ilk temas noktası olan alanlarda maksimum basma gerilimleri meydana geldi. Bu alanlarda biriken gerilimler, restoratif materyal ve dentin dokusu içinde dağılım gösterdi. Oluşan gerilimler çekme ve basma gerilimleri olarak gözlendi ve gerilim dağılımlarının servikal

bölgelerde yoğunlaşlığı ve maksimum değere ulaştığı izlendi. Bu dağılımların daha iyi değerlendirilebilmesi için, meydana gelen gerilimler BB, B ve BI düzlemlerinde üç boyutlu olarak incelendi. Bu değerlerin anlaşılması için düzlemlerdeki noktalarda yer alan gerilim değerleri grafikler halinde gösterildi ve irdelendi.

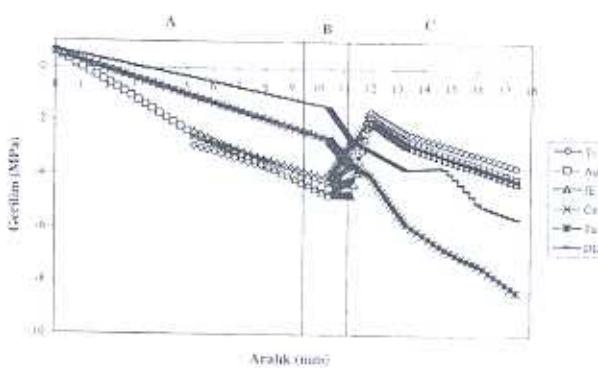
Diş üzerine 90° açı ile çıgneme kuvveti uygulandığında, BB düzlemi boyunca tüm restoratif malzemelerde ve doğal diş yapısında basma gerilim dağılımı meydana geldi. Ce, Ta ve IE-2 de ilk tabakanın dış yüzeyinde degersel olarak düşük basma gerilimi meydana gelirken, ikinci ve dentin tabakasına geçişte basma gerilim değeri arttı ve Porselen-Ti, Porselen-Au-Pd malzemelerinde ise azaldı (Grafik 1). B düzlemindeki gerilim dağılımları incelendiğinde, tüm restoratif malzemelerde ve doğal diş yapısının ilk tabakasında basma gerilim dağılımı görüldü. Porselen-Ti, Porselen-Au-Pd, IE-2, Ce ve Ta materyallerinde meydana gelen basma gerilim değeri tabakanın derinlerine doğru artma özelliği gösterirken, ikinci restoratif tabaka ve dentine geçişte degersel olarak azalma özelliği gösterdi. Doğal diş, mine tabakasının derinlerine doğru azalan bir basma gerilim dağılım özelliği gösterirken, dentin tabakasına geçişte artan bir dağılım özelliği gösterdi (Grafik 2). BI düzlemindeki gerilim dağılımları incelendiğinde, tüm restoratif malzemeler ve doğal diş yapısında değişken bir gerilim dağılımı izlenmektedir. İlk tabakanın dış yüzeyinde çekme gerilim dağılımı görüldü. Ancak ilk tabakanın derinliklerine doğru çekme gerilimi, basma gerilimine dönüştü ve artan bir basma gerilim değeri dağılımı gözlandı (Grafik 3).



Grafik 1. Diş yüzeyine 90° açı ile uygulanan çıgneme yükünün BB düzleminde meydana getirdiği gerilim dağılımı (A: üst tabaka, B: alt tabaka, C: dentin)

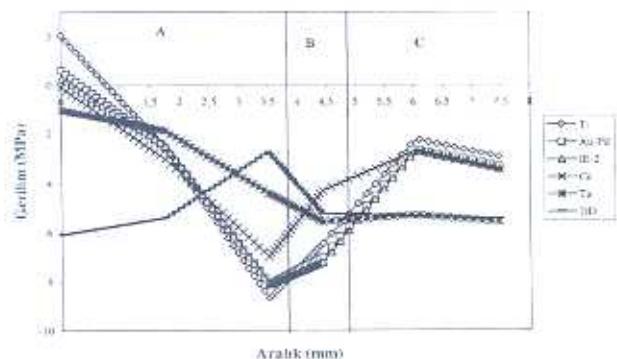


Grafik 2. Diş yüzeyine 90° açı ile uygulanan çıgneme yükünün B düzleminde meydana getirdiği gerilim dağılımı (A: üst tabaka, B: alt tabaka, C: dentin)

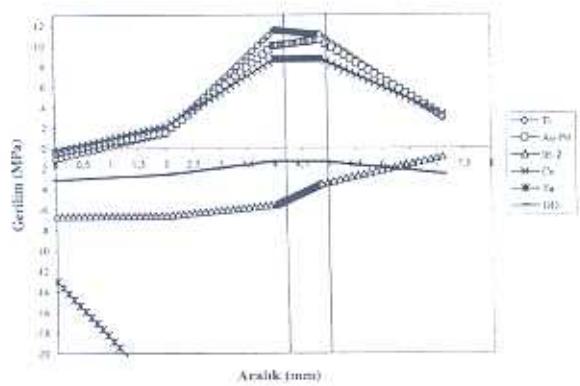


Grafik 3. Diş yüzeyine 90° açı ile uygulanan çıgneme yükünün BI düzleminde meydana getirdiği gerilim dağılımı (A: üst tabaka, B: alt tabaka, C: dentin)

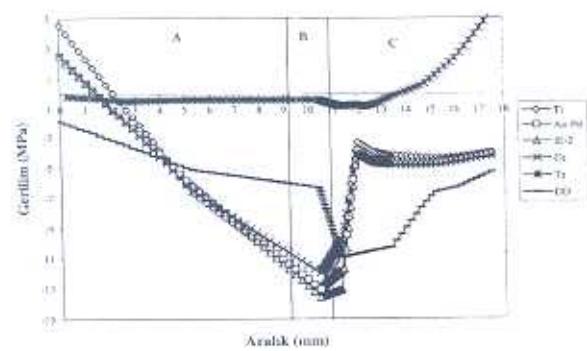
Diş üzerine 45° açı ile çıgneme kuvveti uygulandığında, BB düzlemi boyunca Porselen-Ti, Porselen-Au-Pd, IE-2 restoratif malzemelerinin ilk tabakanın dış yüzeyinde çekme gerilim dağılımı gözlemlenirken, Ce, Ta ve DD yapısında basma gerilim dağılımı izlendi. Derin tabakalara doğru çekme gerilimleri, basma gerilimine dönüştü. Basma gerilim değerleri, diğer tabakalara geçişte degersel olarak artan bir özellik gösterdi (Grafik 4). B düzlemindeki gerilim dağılımları incelendiğinde, Porselen-Ti, Porselen-Au-Pd ve Ce restoratif malzemeleri, ilk tabakanın dış yüzeyinde çekme gerilim dağılım özelliğini gösterirken, IE-2 ve Ta restoratif materyalleri ve doğal diş yapısında basma gerilim dağılım özelliğini gösterdi. Tüm restoratif malzemeler ve doğal diş, diğer tabakalara geçişte artan bir çekme ve basma gerilim dağılımını gösterdi (Grafik 5). BI düzlemindeki gerilim dağılımları incelendiğinde, Porselen-Ti, Porselen-Au-



Grafik 4. Diş yüzeyine 45° açı ile uygulanan çıgneme yükünün B1 düzleminde meydana getirdiği gerilim dağılımı (A: üst tabaka, B: alt tabaka, C: dentin)



Grafik 5. Diş yüzeyine 45° açı ile uygulanan çıgneme yükünün B düzleminde meydana getirdiği gerilim dağılımı (A: üst tabaka, B: alt tabaka, C: dentin)



Grafik 6. Diş yüzeyine 45° açı ile uygulanan çıgneme yükünün B1 düzleminde meydana getirdiği gerilim dağılımı (A: üst tabaka, B: alt tabaka, C: dentin)

Pd, IE-2 çekme gerilimi özelliği gösterirken, derinliklere doğru basma gerilimine dönüştü. İkinci tabaka ve dentin tabakasında, artan basma gerilim dağı-

limi izlendi. Ta restoratif malzemesi, birinci ve ikinci tabakada basma gerilimi özelliği gösterirken, dentin tabakasına geçişte bu durumun çekme gerilimine dönüştüğü görüldü. Doğal dişin mine tabakasında basma gerilim dağılımı gözlemlenirken, dentin tabakasında azalan bir basma gerilim dağılımı izlendi (Grafik 6).

Tartışma

Sabit protetik tedavilerden beklenen klinik başarı, tedavi planlamasında uygulanacak olan kuvvet ve kuvvette karşı koyacak olan materyalin mekanik özelliklerinin iyi bilinmesi ile sağlanabilir. Aksi halde başlangıç aşamasında düzenlenmemiş kuvvetlerin doğal yapıları etkilemesi ve giderek protez materyali ile destek diş ve çevre dokular arasındaki uyumun bozulması söz konusu olacaktır.⁶

Dişlerin okluzal temasları sırasında stres yoğunlaşmasının olduğu bölge servikal bölgedir. Servikal bölgede basma, çekme ve kayma tarzında içsel gerilimler meydana gelmektedir. Dişlerin fiziksel özellikleri değerlendirildiğinde, çıgneme sisteminin fonksiyonu sırasında dişler üzerinde oluşan gerilimlerin dağılımında mine-dentin bileşiminin kritik bölge olduğu belirtilmiştir.^{6,17,18} Doğal dişlerde dentin ile mine arasındaki sıkı bağ, streslerin daha elastik olan dentine dağıtılmmasını sağlar. Böylece okluzal kontaklar sonucu oluşan lokal stresler mineye minimum zarar verir.¹⁹ Çalışmamızda, gerilim yükseltmelerinin servikal bölgede, restorasyon-dentin bağlantısında ve doğal dişin mine-dentin bölgelerinde olduğu gözleendi. Yüksek basma gerilimlerinin kuvvetin uygulandığı bölgeye yakın kısımlarda ve servikal bölgede olduğu, gerilim şiddetinin uygulanan kuron materyaline bağlı olarak farklılıklar gösterdiği izlenmektedir. Bu bulgular çekme gerilimlerinin lingual yüzeyde servikal bölgede lokalize olduğu ve maksimum basma gerilimlerinin yükün uygulandığı bölge civarında olduğu şeklindeki sonuçlar ile uyum göstermektedir.²⁰ Dişin servikal bölgesinde meydana gelen gerilimin yükselmesinin şiddeti ve şekli, fonksiyon sırasında oluşan okluzal kuvvetlerin karmaşık etkilerini gösterir. Böylece diş ile restorasyon arasında meydana gelen çekme gerilimleri, basma gerilimlerinden daha yıkıcı bir etkiye sahiptir.²¹

Ağız içindeki kuronlar farklı şiddette ve yönde fonksiyonel ve parafonksiyonel kuvvetlere maruz kalmaktadır. Çıgneme sırasında yükün yönü dışın uzun eksenine paralel olursa, kuron üzerindeki maksimum çekme gerilimi her malzemenin çekme dayanıklılığından daha az olacaktır. Bu nedenle kuron kırılmaları olasılığı azdır. Ancak çıgneme kuvveti 45° açılı olarak uygulandığında, kuvvetin geldiği noktanın çevresinde maksimum çekme gerilimleri çıgneme kuvvetinin dik olarak geldiğinden daha fazla olmaktadır.^{15,21} Açılı gelen kuvvetler karşısında destek diş meydana gelen gerilimleri daha az toler ettiğinden kuronlarda gerilim değeri artar. Çalışmada bu görüşü destekler doğrultuda çekme ve basma gerilimlerinin oluştuğu saptandı.

Çalışma bulgularına göre 90° açı ile dişe kuvvet uygulandığında vestibül kolede basma gerilmesi, lingual-kole bölgesinde de çekme gerilimi ortaya çıkmaktadır. Dik yönde dışın uzun aksına paralel uygulanan kuvvette apeks bölgesinde çekme gerilimlerine rastlanmaktadır. Bunun nedeninin döndürme momentlerinin etkisi olduğu söylenebilir, ancak 45° bir açı ile dişe kuvvet uygulandığında temas bölgesinde maksimum basma gerilmesi ile karşılaşmaktadır. Vestibül kolede çekme gerilimine, lingual kolede basma gerilimine rastlanmaktadır. Yine apeks bölgesinde uygulanan kuvvetin bileşekleri ve döndürme momentinin etkisi ile gerilim odaklıları izlemekte ve basma gerilimlerinin hakim olduğu görülmektedir. Burada, dayanak dişte oluşan farklı tip ve yoğunluktaki gerilimlerin, kuvvetin veriliş yönü ile değişebildiği anlaşılmaktadır. Buna bağlı olarak 90° açılı kuvvet dengeli bir dağılım özelliği gösterirken, 45° açılı kuvvet karmaşık bir gerilim dağılımı özelliğini göstermektedir.¹⁵ Bu sonuç servikal bölgenin önemini bir kez daha ortaya koymaktadır.

Yapılan araştırmalarda diş preparasyon şekli, restoratif malzemelerin mekanik özelliklerini ve dentine bağlanma mekanizmalarının, okluzal yüklerin yaratığı iç gerilimleri azaltabilecek ve diş-restorasyon kompleksinin direncini artırıcı nitelikte olması gerektiği belirtilmektedir.^{5,7,11} Bu özellikler protetik tedavinin başarısı ve sürekliliği için büyük önem taşımaktadır. Oluşturulacak basamak tipi (shoulder-chamfer) okluzal kuvvetleri daha dengeli dağıtabilecek formda olmalıdır.²² Çalışmamızda gerçeğe yakın sonuçların elde edilebilmesi amacı ile belirtilen

ideal preparasyon şéminin ve dik açılı basamak tipinin modeli oluşturulmuştur.

Restorasyonların prepare edilmiş destek dişlere uyumlu olması gerilim yiğilmasının engellenmesi açısından gereklidir. Restorasyon ile destek diş arasında kullanılan simalar, sadece restorasyon yerinde tutmak için gereken retansiyonu sağlamakla kalmaz, aynı zamanda restorasyonun diş yapısının bütününen bir parçası gibi görünmesini sağlar. Temasın sıkı olması daha iyi bir gerilim dağılımı sağlar ve kırılgan olan seramik malzemeye o bölgede aşırı yük gelmesini öner.^{3,16} Bu bağı etkileyecik herhangi bir faktör, restorasyonun uzun süreli veya kısa süreli performansını etkileyebilecek bir risk faktörü olasılığını taşırlar.²³ Çalışmamızda edindiğimiz izlenimler, kole bölgesinde meydana gelen çekme ve basma gerilimleri ve bunların dönüşümleri, siman yapısında kırılmalar, ayrılmalar, çatlamalar meydana gelebileceğini düşündürmektedir. Sonuçta oluşacak marjinal sızıntı dişte sekonder çırırk ve servikal bölgede renklenmelere neden olabilir. Bulgularımıza göre gerilim yiğilası olan kısımlar, deformasyona en açık olan yerlerdir. Meydana gelen çekme ve basma gerilimleri camın kristalleri arasında bağların kopmasına, çatlak oluşmasına ve sonuçta restorasyon kaybına yol açabılır.

Metal destekli porselen kuronlarda gerilim değerinin daha yüksek olması gelen kuvvetlerin iletilmesinde mineye göre daha sert olan porselenlerin altındaki metalin de desteği ile daha yüksek değerlerde diş aktarılmasını sağlamaktadır. Dentin yapının çekme gerilimlerine olan direncinin basma gerilimlerine olan direncinden daha düşük olduğu bilindiğine göre, yapılacak restorasyonlarda kullanılacak dental materyallerin çekme dayanımına katkıda bulunacak şartlar sağlanması uygun olacaktır. Elastiklik modülü düşük olan restoratif malzemelerin iç tabakalarında gerilim değeri daha fazla bulunmuştur.^{3,4,16} Sert malzemeler ise gelen kuvveti iletleme özelliğine sahiptirler. Çalışmamızda doğal diş'e göre restoratif malzemeler karşılaştırıldığında, küçük farklılıklar olmakla birlikte IE-2 malzemesinin doğal diş ile benzer özellikler gösterdiği saptandı.

Çalışmada, diş dokusunun ve kullanılan restoratif materyallerin gerçek mekanik özelliklerini belirten değerler kullanıldığı, isırma kuvvetine uygun yükler

uygulandığı için sonuçların klinik koşullara uygulanmasının daha akıcı olduğu düşünülmüştür. Farklı araştırmacılar dental yapı başarısızlıklarının çoğuluğunu yıllarca kullanımından sonra oluşan kötü sona bağlamaktadır.^{24,25} Kronik gerilimler sonucu oluşan çatlaklar, kırılma meydana gelinceye kadar komponenti zayıflatır. Çalışmada, servikal bölgede oluşan gerilimler gösterilmektedir. Servikal bölgede basamak formunun uygun şekilde düzenlenmesi ve uygun malzemenin kullanılması, klinisyenlerin görevi ve kuron içinde gerilim dağılımını ve kuronun performansını etkilediğini sonuçlar göstermektedir.

Sonuçlar

1. Çığneme kuvvetini temsil eden kuvvet uygulandığında gerilim yoğunlaşması özellikle kuvvetin uygulandığı bukkal tüberküllü, servikal ve apiks bölgelerinde olmaktadır. Bu bölgelerde restoratif malzemelerin daha kalın olarak oluşturulması sağlanmalıdır.
2. Diş yüzeyine 45° açı ile çığneme kuvvetini temsil eden kuvvet uygulandığında, meydana gelen çekme gerilim değeri ve dağılımı artmaktadır.
3. Empress 2 restoratif materyali, doğal diş yapısına en yakın gerilim dağılım özelliği gösterdi.

Kaynaklar

1. Nakamura T, Waki T, Kinuta S, Tanaka H. Strength and elastic modulus of fiber-reinforced composites used for fabricating FPDs. *Int J Prosthodont* 2003; 16: 549-553.
2. Ellner S, Bergendal T, Bergman B. Four post-and-core combinations as abutments for fixed single crowns: a prospective up to 10-year study. *Int J Prosthodont* 2003; 16: 249-254.
3. Sertgöz A. Finite element analysis study of the effect of superstructure material on stress distribution in an implant-supported fixed prosthesis. *Int J Prosthodont* 1997; 10: 19-27.
4. Farah JW, Craig RG, Meroueh KA. Finite element analysis of three-and four-unit bridges. *J Oral Rehabil* 1989; 16: 603-611.
5. O'Grady J, Sheriff M, Likeman P. A finite element analysis of a mandibular canine as a denture abutment. *Eur J Prosthodont Restorative Dent* 1996; 4: 117-121.
6. Özpinar B, Aksoy S. Akrilik ve seramik kuron uygulamış dişlere gelen kuvvetlerin oluşturduğu gerilimlerin sonlu elemanlar analizi FEA yöntemiyle incelenmesi. *EÜ Dişhek Fak Derg* 1995; 16: 29-39.
7. Verdonschot N, Fennis WM, Kuijs RH, Stoik J, Kreulen CM, Creugers NH. Generation of 3D finite element models of restored human teeth using micro-CT techniques. *Int J Prosthodont* 2001; 14: 310-315.
8. Jones ML, Hickman J, Middleton J, Knox J, Volp C. A validated finite element method study of orthodontic tooth movement in the human subject. *J Orthodont* 2001; 28: 29-38.
9. Lee WC, Eakle WS. Possible role of tensile stress in the etiology of cervical erosive lesions of teeth. *J Prosthet Dent* 1984; 52: 374-380.
10. Palamara D, Palamara JE, Tyas MJ, Messer HH. Strain patterns in cervical enamel of teeth subjected to occlusal loading. *Dent Mater* 2000; 16: 412-419.
11. Proos KA, Swain MV, Ironside J, Steven GP. Influence of margin design and taper abutment angle on a restorated crown of a first premolar using finite element analysis. *Int J Prosthodont* 2003; 16: 442-449.
12. Wheeler RC. An atlas of tooth form. W.B. Saunders, Philadelphia; 1989. 64-66.
13. Nakamura T, Imanishi A, Kashima H, Ohyama T, Ishigaki S. Stress analysis of metal-free polymer crowns using the three-dimensional finite element method. *Int J Prosthodont* 2001; 14: 401-405.
14. Aykul H, Toparlı M, Dalkız M. A calculation of stress distribution in metal-porcelain crowns by using three-dimensional finite element method. *J Oral Rehabil* 2002; 29: 381-386.
15. Sonugelen M, Artunç C. Ağız protezleri ve biyomekanik. Ege Üniversitesi Dişhekimliği Fakültesi Yayınları, No:17, Ege Meslek Yüksekokulu Basımevi, İzmir, 2002. 43-51.
16. Hojjatié B, Anusavice KJ. Three dimensional finite element analysis of glass ceramic dental crowns. *J Biomed* 1990; 23: 1157-1166.
17. Goel VK, Khera SC, Ralston JL, Chong KH. Stresses at the dentinoenamel junction of human teeth-A finite element investigation. *J Prosthet Dent* 1991; 66: 451-459.
18. Khera SC, Goel VK, Chen RCS, Gurusami SA. A three-dimensional finite element model. *Oper Dent* 1988; 13: 128-137.

19. Sakaguchi RL, Brust EW, Cross M, DeLong R, Douglas WH. Independent movement of cusps during occlusal loading. *Dent Mater* 1991; 7: 186-190.
 20. Hino T. A mechanical study on new ceramic crowns and bridges for clinical use. *Osaka Daigaku Shigaku Zasshi* 1990; 35: 240-267.
 21. Nakamura T, Nonaka M, Maruyama T. In vitro fitting accuracy of copy-milled alumina cores and all-ceramic crowns. *Int J Prosthodont* 2000; 13: 189-193.
 22. Burke FJT. Fracture resistance of teeth restored with dentin-bonded crowns: The effect of increased tooth preparation. *Quintessence Int* 1996; 27: 115-121.
 23. Shaini FJ, Shortall AC, Marquis PM. Clinical performance of porcelain laminate veneers. A retrospective evaluation over a period of 6.5 years. *J Oral Rehabil* 1997; 24: 553-559.
 24. Raigrodski AJ, Chiche GJ. The safety and efficacy of anterior ceramic fixed partial dentures: A review of the literature. *J Prosthet Dent* 2001; 86: 520-525.
 25. Wiskott HW, Nicholls JI, Belser UC. Stress fatigue: Basic principles and prosthodontic implications. *Int J Prosthodont* 1995; 8: 105-116.
-

Yazışma Adresi:

Dr. M. Ali GÜNGÖR
Ege Üniversitesi,
Dişhekimliği Fakültesi,
Protetik Diş Tedavisi AD,
35100 – Bornova / İZMİR
Faks : (232) 388 03 25
E-posta : maligungor@yahoo.com