

MOLAR DIŞLERDE İNLEY RESTORASYONLARIN MEKANİK PERFORMANSININ İNCELENMESİ: 3-BOYUTLU SONLU ELEMANLAR ANALİZİ

EVALUATION OF THE MECHANICAL PERFORMANCE OF INLAY RESTORATIONS ON MOLAR TEETH: A 3-D FINITE ELEMENT ANALYSIS

*Tan Fırat EYÜBOĞLU**

Banu ÖNAL†

Necdet ERDİLEK‡

Binnur GÖREN§

Zeynep ERGÜCÜ||

ÖZET

Amaç : Bu çalışmada farklı inley restorasyonların mekanik performansı 3-Boyutlu Sonlu Elemanlar Yöntemi kullanılarak incelenmiştir.

Gereç ve Yöntem: Çalışmada, I-DEAS programı kullanılarak 3-Boyutlu alt molar diş modellenmiştir. Dişe uygulanan kuvvet, toplam 450 N olup tüberkül sırtlarına dik gelmektedir. Modelde, X₁=rezin kompozit restorasyon, X₂=indirekt kompozit restorasyon, X₃=porselen inlay restorasyon olmak üzere üç farklı uygulama gerçekleştirilmiştir. Kuvvetler, sırasıyla fonksiyonel ve fonksiyonel olmayan tüberküllere dağılımına göre uygulanmıştır. Elastik 3-boyutlu sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak modellerde meydana gelen Von-Mises gerilmesi, zorlanma ve deplasman özellikleri incelenmiştir.

Bulgular: Von Mises gerilme dağılımlarına göre indirekt kompozit restorasyonlar, seramik inleyler ve direkt kompozit restorasyonlardan daha iyidir. Tüm modeller incelendiğinde ise maksimum zorlanma değerleri kompozit restorasyon modellerinde gözlemlenmiştir. Minimum zorlanma ise porselen inlay modellerinde görülmüştür. En az deplasman porselen inley, en fazla deplasman ise rezin kompozit modellerine aittir.

Sonuç: Çalışmamızın sonuçlarına göre geniş kavitelere seramik ve kompozit inleylerin, dar kavitelere ise rezin kompozit dolguların daha uygun olduğu söylenebilir. İndirekt kompozit ve seramik inleylerde ise fonksiyonel tüberküller, non fonksiyonel eşlerine göre daha belirgin olmalıdır.

Anahtar kelimeler: İnley, sonlu eleman analiz yöntemi, mekanik performans, molar dişler, gerilme

SUMMARY

Objective: In this study the mechanical performance of inlay restorations was evaluated using the finite element method.

Material and Method: Three-dimensional mandibular molar tooth model was generated by I_DEAS program. A total of 450 N force was applied on the model, perpendicular to the cuspal faces. Three different inlay materials were used in the study: X₁=direct composite restoration, X₂=indirect composite material, X₃=ceramic inlay material. Loads were applied to the tooth structure according to the distribution of the forces on functional and non-functional cusps. Von-Mises stress, strain and displacement distributions were evaluated using the elastic 3-dimensional finite element method.

Results: According to von Mises stress, indirect composite restorations were slightly better than direct composite inlays and the ceramic inlays respectively. Strain values in the interface between the tooth structure and restorative material were observed. Minimum values of strain were evaluated in X₃ models whilst maximum values were in X₁ models. For displacement distribution values best result was obtained X₃ models, whilst the worst result with X₁.

Conclusion: Direct composite restorations were found to be more indicated for bucco-lingually narrow cavities whilst indirect composite and ceramic restorations for bucco-lingually wider cavities.

The occlusal anatomy of the direct composite should be prepared so that the functional and non-functional cusps are equally active in chewing action.

Key Words: Inlay, finite element analysis, mechanical performance, molar teeth, stress

Makale Gönderiliş Tarihi : 16.10.2007

Yayına Kabul Tarihi: 07.01.2008

* Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Diş Hastalıkları ve Tedavisi Anabilim Dalı, Endodonti Bilim Dalı, Dt.

† Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Diş Hastalıkları ve Tedavisi Anabilim Dalı, Konservatif Bilim Dalı, Prof. Dr.

‡ Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Diş Hastalıkları ve Tedavisi Anabilim Dalı, Endodonti Bilim Dalı, Prof. Dr.

§ Dokuz Eylül Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Yrd. Doç. Dr.

|| Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Diş Hastalıkları ve Tedavisi Anabilim Dalı, Konservatif Bilim Dalı, Dr.

GİRİŞ

Direkt kompozit restorasyonların, kompozit inleylerin ve porselen inleylerin Sınıf II arka bölge restorasyonlarda başarılı oldukları daha önceki çalışmalarda gösterilmiştir^{12,15,17,20,26,31}. Kullanılan yöntemler yeterli olsa da kullanılan materyalin fiziksel özellikleri, kavitenin şekli ve sınırları restorasyonun başarısını olumsuz olarak etkileyebilir. Başarılı bir restorasyon için, uygun kavitenin hazırlanması, hassas bir okluzal anatomi oluşturulması ve doğru materyal seçilmesi büyük önem taşır^{8,21,22,25,27,32}.

Direkt kompozit restorasyonlar arka bölgedeki sınıf II kavitelere çığneme sırasında oluşan kuvvetleri karşılamakta yetersiz kalabilirler^{3,9,11,16}. Bu nedenle arka bölge restorasyonlarda kompozit ve porselen inleyler de tedavi seçenekleri arasında sayılabilir.

Kenar bütünlüğünün bozulması, hem direkt hem de indirekt restorasyonlarda karşılaşılan en önemli problemlerden biridir. İç ve kenar adaptasyonu sadece polimerizasyon büzülmesinden değil aynı zamanda çığneme kuvvetlerinden de etkilenir^{3,10,16,19,24}.

Yapılan restorasyonun başarısı, gerilme oluşumuna ve materyalin fiziksel özelliklerine bağlı olduğu için, restorasyonların, direkt veya indirekt olmasına bakılmaksızın, basma ve yorulma kuvvetleri uygulandıktan sonra değerlendirilmesi gerekir^{3,7,13,29}. Son yıllarda dental biyomekanik çalışmalarda kullanılan 3 boyutlu sonlu elemanlar analiz yöntemi, detaylı mekanik ölçümleri kolaylaştırdığı ve parametrelerin daha kontrollü olarak değiştirilmesine izin verdiği için oldukça popüler olmuştur.

Sonlu elemanlar analizinde, analiz edilecek canlı ya da cansız yapıların gerçeğe en yakın şekilde modellenmesi yapılır. Tüm model, matematiksel olarak anlamlı parçalara (elemanlara) bölünür. Elemanlar birbirlerine “düğümle” bağlı olup değişik geometrik şekillerde olabilir. Düğümler aracılığıyla bir elemandaki fiziksel değişiklik diğer elemanlara da yansır. Böylece boyutları belirlenmiş bir modelde, bilgisayar yardımı ile belirlenen şiddet, yön ve alandaki kuvvet uygulamasına bağlı olarak ortaya çıkan gerilmeler (stress), zorlanmalar (strain) ve yer değiştirmeler (deplasman) ölçülebilmektedir³⁰.

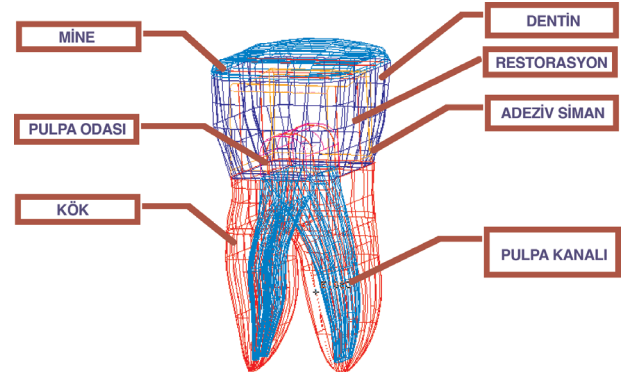
Gerilme değerleri ölçülürken Von-Mises gerilmesi dikkate alınmıştır. Von-Mises gerilmesi tüm yönlerde oluşan normal ve kayma gerilmelerinin bileşkesidir. Bu gerilme restoratif materyal ve diş dokusunda meydana gelebilecek hasarı incelemek açısından önemlidir. Bu şekilde malzemede kalıcı deformasyon meydana gelip gelmeyeceğini ya da kırılmanın olup oluşmayacağını saptamak mümkün olabilmektedir⁶.

Zorlanma (strain) olarak ifade edilen değer, birim boyda meydana gelen şekil değişimidir. Böylece şekil değiştirmenin kritik olduğu malzemelerde çeşitli yüklemelerde meydana gelebilecek şekil değiştirmeleri incelemek mümkün olabilmektedir⁶.

Bu çalışmanın amacı, Sınıf-II direkt kompozit restorasyonların, kompozit ve porselen inleylerin biyomekanik performansını, çığneme kuvvetlerini kullanarak birinci büyük azı diş modeli üzerinde 3 boyutlu sonlu elemanlar analiziyle değerlendirmektir. Uygulanan kuvvetlerin fonksiyonel ve non-fonksiyonel tüberküllere dağılımı ve bu kuvvetlerin uygulama alanlarının gerilme-zorlanma ve yer değiştirme (deplasman) üzerine olan etkileri 3 boyutlu modellerde incelenmiştir.

GEREÇ VE YÖNTEM

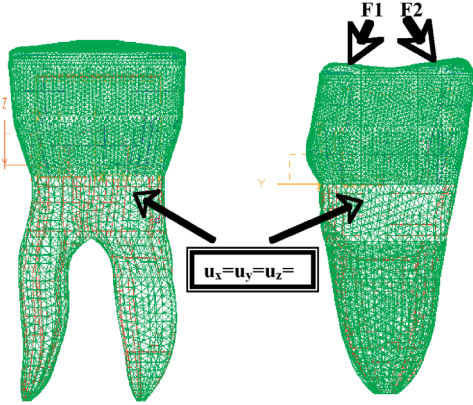
Bu çalışmada, I-DEAS (Master Series, Integrated Design, Engineering and Analysis Software) programı kullanılarak alt çene birinci büyük azı dişi 3-boyutlu olarak modellenmiştir. Sonlu elemanlar modeli her biri katı olarak modellenmiş mine, dentin, Sınıf-II (MOD) restorasyon, adeziv siman/adeziv ajan, kök dentini ve pulpa dokusundan oluşmaktadır (Şekil 1).



Şekil-1. Sonlu elemanlar analiz modeli

Tüm materyallerin lineer elastik ve isotropik olduğu kabul edilmiştir. Tablo I' de tüm materyal ve diş yapılarının mekanik özellikleri gösterilmiştir. Dişteki gerilme-zorlanma ve yer değiştirme dağılımı için üç değişik restorasyon kullanılmıştır. X1=direkt kompozit restorasyon (P50, 3M Co. ABD), X2=indirekt kompozit restorasyon (Gradia, GC, Japonya), X3=porselen inley restorasyon (Empress II, Ivoclar-Vivadent, Liechtenstein). Ara yüzeylerde, yapıştırıcı siman olarak Variolink II (Ivoclar-Vivadent, Liechtenstein), adeziv ajan olarak Optibond FL (Kerr, ABD) kullanılmıştır. Ara yüzeylerde, X1 için adeziv ajan; X2 ve X3 için yapıştırıcı siman her örnekte 70 µm kalınlıkta olacak şekilde kullanılmıştır². Sonlu elemanlar modeli, 10 düğümlü, her düğümü 3 serbestlik de-

recesine sahip 213514 tetrahedron elemandan ve 304634 düğümünden oluşmuştur. Dişin sonlu elemanlar modeli kök kısmından tüm yönlerdeki hareketini engelleyecek şekilde mesnetlenmiştir (Şekil 2). Toplam 450 N' luk kuvvet 4 değişik oranda ikiye ayrılarak (F1 ve F2) 4 farklı yükleme durumu (LC) elde edilmiştir. F1 ve F2 kuvvetleri bukkal ve lingual tüberküllere uygulanmıştır (Tablo II). Yükleme sonrası modellerde oluşan gerilme-zorlanma ve yer değiştirme dağılımları I-DEAS programı kullanılarak ölçülmüştür.



Şekil-2. Sonlu elemanlar modelinde mesnetin konumu ve uygulanan kuvvetlerin dağılımı

Tablo I Malzemelerin mekanik özellikleri

MALZEME	ELASTİSİTE MODÜLÜ (GPa)	Poisson Oranı (-)
Direkt kompozit	20 ²	0.24 ³⁰
İndirekt kompozit ³⁴	50	0.3
Seramik ²⁸	103	0.24
Yapıştırıcı siman ⁵	8.3	0.24
Adeziv ajan ³³	1.0	0.3
Dentin ¹	18.6	0.31
Mine ¹⁴	48	0.23
Pulpa ⁶	0.002	0.45

Tablo II. Yükleme Durumları

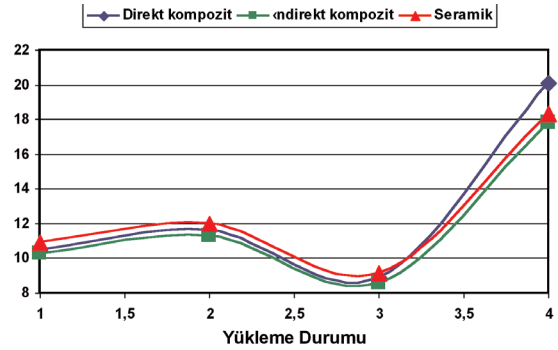
Yükleme Durumları	F1 (N)	F2 (N)
LC1 (restorasyon)	250	200
LC2 (restorasyon)	225	225
LC3 (restorasyon)	300	150
LC4 (diş)	225	225

BULGULAR

VON-MISES GERİLMESİ

Her üç materyaldeki gerilimler birbirine çok yakın olmakla birlikte indirekt kompozit materyalinde diğer iki materyalden daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 3, 6, Tablo III). Tüm materyaller için gerilim; Kuvvetin diş dokusuna geldiği LC4 yükleme koşulunda maksimum; Fonksiyonel tüberküle en fazla yükün bindiği (300N) LC3 yükleme koşulunda ise minimum düzeydedir. Gerilim açısından incelendiğinde her üç restoratif materyalde de LC3

yükleme koşulunda en düşük gerilme değerlerini vermiştir (Şekil 3, Tablo III). Von Mises dağılımında kuvvetin diş dokusuna uygulandığı LC4 yükleme koşulu tüm materyaller için en yüksek değeri vermiştir.



Şekil-3. Von-Mises Gerilmesi

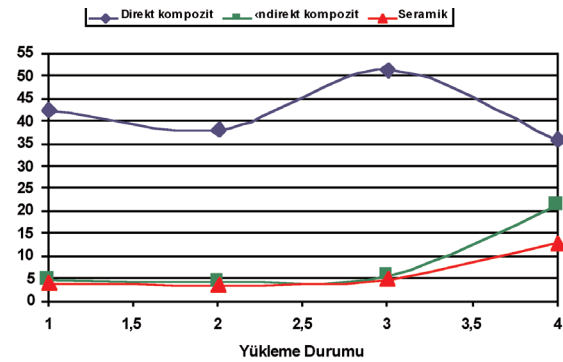
Tablo III. Von-Mises gerilme değerleri (MPa)

	Direkt Kompozit	İndirekt Kompozit	Seramik
LC1	10.5	10.3	10.9
LC2	11.6	11.3	12
LC3	8.9	8.6	9.1
LC4	20.1	17.8	18.3

ZORLANMA-BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRME

(STRAIN)

Bu çalışmada, zorlanmanın kritik olduğu değerler yapıstırıcı siman ve adeziv ajanda görülmüştür (Şekil 7). Adeziv ajan tüm yükleme durumları için en yüksek sonucu vermiştir (Şekil 4, Tablo IV). En düşük değerler porsele inleyde kullanılan yapıstırıcı simana ait bulunmuştur (Şekil 4, Tablo IV).



Şekil-4. Zorlanma değışımi

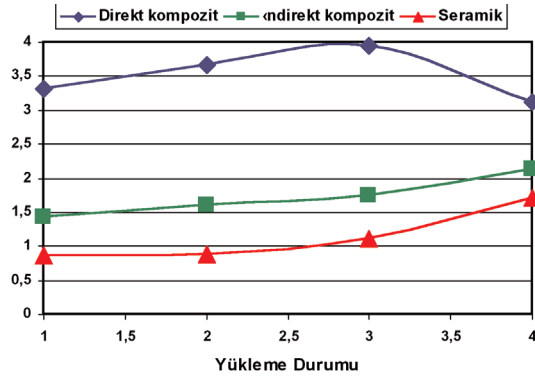
Tablo IV. Zorlanma (strain) değışeri (%)

	Direkt Kompozit	İndirekt Kompozit	Seramik
LC1	42.6*10 ⁻²	4.9*10 ⁻²	4.12*10 ⁻²
LC2	38.1*10 ⁻²	4.39*10 ⁻²	3.66*10 ⁻²
LC3	51.5*10 ⁻²	5.94*10 ⁻²	5.05*10 ⁻²
LC4	36.1*10 ⁻²	21.4*10 ⁻²	13.2*10 ⁻²

Rezin kompozit restorasyonun ara yüzeyindeki şekil değişimi 4 yükleme durumu için de diğer ara yüzeylere oranla daha yüksek çıkmıştır. Kuvvetin restorasyona geldiği LC1, LC2, LC3 yükleme koşullarında kompozit ve porselen inleylerin şekil değiştirme dağılımlarında önemli bir fark görülmemiştir. Fakat kuvvetin dış geldiği LC4 yükleme koşulunda bu restoratif materyallerin ara yüzeylerindeki şekil değişim dağılımlarında yükselme gözlemlenmiştir. Kompozit restorasyonlarda şekil değiştirme dağılımı açısından en uygun yükleme koşulu kuvvetin hem fonksiyonel hem de fonksiyonel olmayan tüberküllere eşit dağıldığı LC2 ve LC4 yükleme koşullardır. Direkt kompozit restorasyonun ara yüzeyi kuvvetin dış uygulandığı LC4 yükleme koşulu için en düşük değeri verirken Fonksiyonel tüberküle en fazla yükün bindiği LC3 yükleme koşulunda en yüksek değeri vermiştir. (Tablo IV).

MAKSİMUM YER DEĞİŞTİRME (DEPLASMAN)

Kuvvetler restorasyona geldiğinde maksimum yer değiştirmenin restorasyonda, dış geldiğinde ise dışta oluştuğu saptanmıştır (Şekil 5, Tablo V). Direkt kompozit restorasyonda yer değiştirmenin en yüksek değerlere, porselen inleylerde ise en düşük değerlere sahip olduğu görülmüştür (Şekil 5, Tablo V).



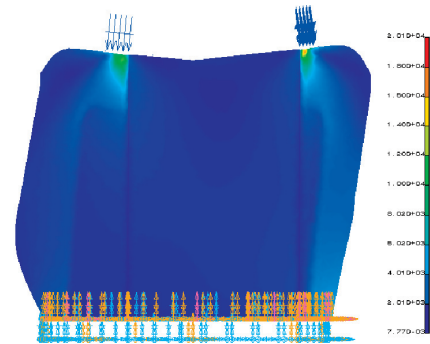
Şekil-5. Maksimum deplasman

Tablo V Maksimum yer değiştirme değerleri(mm)

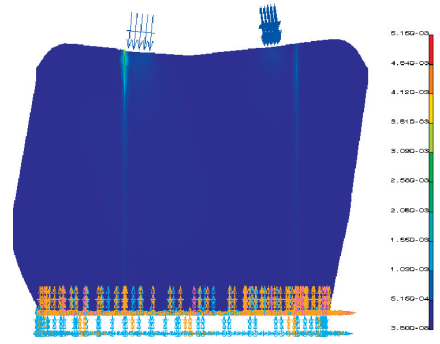
	Direkt Kompozit	İndirekt Kompozit	Seramik
LC1	3.32	1.43	0.866
LC2	3.67	1.6	0.885
LC3	3.94	1.75	1.11
LC4	3.12	2.14	1.71

Maksimum yer değiştirme dağılımının en yüksek değeri tüm yükleme durumları için kompozit restorasyona aittir (Şekil 5 - 8, Tablo V). Porselen inleyler, tüm yükleme koşullarında diğer materyallere oranla en düşük sonucu vermiştir. İndirekt kompozit restorasyonlarda seramiğe

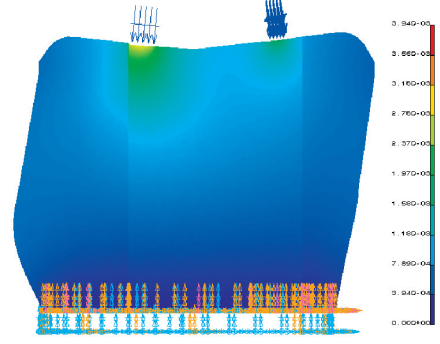
oranla tüm değerler daha yüksek bulunmuştur. LC4 yükleme durumunda, her iki materyal için de yer değiştirme dağılımı maksimum değere ulaşmıştır.



Şekil-6. Maksimum gerilme, direkt kompozitlerin bulunduğu modellerde, kuvvetin dış dokusuna geldiği LC4 (F1=225N, F2=225N) yükleme koşulunda, dış dokusunda görülmüştür.



Şekil-7. Maksimum zorlanma, direkt kompozitlerin bulunduğu modellerde, kuvvetin restorasyona geldiği LC3 (F1=300N, F2=150N) yükleme koşulunda, adeziv ajanda görülmüştür.



Şekil-8. Maksimum yer değiştirme, direkt kompozitlerin bulunduğu modellerde, kuvvetin restorasyona geldiği LC3 (F1=300N, F2=150N) yükleme koşulunda görülmüştür.

TARTIŞMA

Bu çalışmada, 1. büyük azı dişi, kırılma sıklığı göz önüne alınarak modellenmiştir. Birinci büyük azılardaki kırıklar, genelde büyük madde kayıpları ile sonuçlanmakta ve tüm kırıkların yaklaşık %50'sini oluşturmaktadırlar⁵.

Arola ve arkadaşları¹ restore edilmiş MOD kavitelere sahip molar dişlerde yaptıkları gerilme analizlerinde kırılma direncindeki azalmanın uygulanan kuvvetin miktarından çok kuvvetin uygulama alanıyla ilgili olduğu sonucuna varmışlardır. Çalışmamızda, çiğneme kuvvetlerinin diş dokusu yerine restoratif materyale gelmesi gerektiği belirlenmiştir. Böylece gerilim kuvvetlerinin artması engellenerek diş dokusu ve restoratif materyalin bütünlüğü korunabilir (Şekil 3). Dolayısıyla fonksiyonel tüberkülün aktif şekilde kullanılması gerilim kuvvetlerini azalttığı için, okluzal düzenleme esnasında fonksiyonel tüberküllerin belirginleştirilmesi restoratif materyale gelecek gerilimi azaltacaktır.

Wang ve arkadaşları³⁵ alt çene arka dişlerde bukkal tüberküllerin lingual eğimlerinin, en büyük okluzal yükleri taşıdığı ve apikal gerilimlerin yönü ve büyüklüğünde okluzal morfolojinin önemli etkisi olduğunu bildirmişlerdir.

Zorlanma dağılımı açısından en yüksek değerler ara yüzeylerde oluşmaktadır. Bunun nedeninin ara yüzeyde kullanılan yapıştırıcı siman ve adeziv ajanın düşük elastiklik modülü olduğu düşünülmektedir. Düşük elastiklik modülüne sahip materyaller, gerilimden çok zorlanma dağılımı oluştururlar. Ara yüzeydeki başarısızlık (debonding) restorasyonun başarısını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu tip başarısızlıklara, restoratif materyalde oluşan gerilim kuvvetleri sonucu oluşan başarısızlıklardan daha sık rastlanmaktadır⁴. LC4, direkt kompozit restorasyonlarda en düşük değeri göstermiştir. Bu durum, ara yüzeyin bütünlüğü için direkt kompozit materyalin çiğneme yükleriyle direkt temas etmemesinin daha avantajlı olduğunu göstermektedir. Diğer bir deyişle, direkt kompozit restorasyonlar dar kavitelere kullanılmalıdır.

Bader ve arkadaşları⁴ restore edilmiş arka dişlerde tüberkül kırıkları üzerine yaptıkları bir çalışmada 200 hastadaki kırıkla ilişkili olan 39 potansiyel risk indikatörünü 252 hastadaki sağlam dişle karşılaştırmışlardır. Arka dişlerin restorasyonlarında, kırık çizgisinin ve restorasyonun sağlam diş dokusuna olan oranının kırılmalarla ilgili önemli etkenler olduğunu saptamışlardır. Bu sonuç, çalışmamızın bulguları ile uyumludur. Zorlanma değerleri açısından restorasyon büyüdükçe ara yüzeyin bütünlüğünün bozulma riski artacaktır. Bu da restorasyonun başarısız olmasına neden olacaktır.

Yukarıda yazılanın aksine direkt kompozit restorasyon çiğneme yüklerine doğrudan maruz kalacaksa fonksiyonel ve fonksiyonel olmayan tüberküller arasındaki çiğneme kuvveti dağılımı dengelenmelidir. Von Mises dağılım bulgularının tersine, direkt kompozit restorasyonlarda

fonksiyonel tüberküllerin, non-fonksiyonel eşlerinden daha aktif olması; fonksiyonel tüberküllerin olduğu taraftaki adeziv ajanda zorlanma dağılımını arttıracaktır. Bu durum aynı taraftaki ara yüzeyde başarısızlığa yol açacaktır. Okluzal modelleme fonksiyonel tüberkülleri belirginleştirmeden, her iki tarafa da dengeli yük dağılımı sağlanacak şekilde yapılmalıdır (Şekil 4). Seramik ve kompozit inleylerde ise durum tam tersidir. Ara yüzeyin korunması için kuvvetler diş dokusu yerine restorasyon üzerine gelmelidir (Şekil 4). Restoratif materyal sert olduğu için ara yüzeyi korur ve geriye kalmış sağlam diş dokusunu destekleyebilir. Bununla birlikte fonksiyonel tüberküllerin aktivitesi ara yüzeyin korunması açısından bu materyaller için bir sorun teşkil etmemektedir. (Şekil 4).

Kramer ve Frankenberger¹⁸ seramik inleylerin geniş defektlerde bile başarılı olduğunu göstermiş, mine kontak kenarlarının eksikliğinin veya tüberküllerin yokluğunun restorasyonun kalitesini etkilemediğini belirtmiştir.

Magne ve Besler²³ seramik inley ve onleylerin okluzal yüzeylerinde kompozit inley/onleyle oranla daha zararlı gerilimlerin oluştuğuna, fakat seramik inley/onleylerin ara yüzey başarısızlıklarına karşı daha fazla koruma sağladığını, onley ve overleylerin aşırı hasar görmüş arka dişlerin tedavisinde en etkili seçim olduğunu ifade etmişlerdir.

Tüm yükleme durumlarında en yüksek yer değiştirme değerleri, direkt kompozit restorasyonlarda ölçülmüştür (Şekil 5). Direkt kompozit restorasyonlar porselen ve kompozit inleyle göre en yüksek değerleri göstermiş olup sonuçlar zorlanma dağılımı ile orantılı çıkmıştır. Buna göre direkt kompozit restorasyonlarda kuvvetler, hem restorasyonun hem de ara yüzeyin korunması için sağlam diş dokusuna gelmelidir²³. Porselen inleyler geriye kalan diş dokusunu koruma ve destekleme özelliğine sahiptirler. Kompozit inleyin elastiklik modülü düşük olduğu için porselen inleye göre daha yüksek yer değiştirme değerleri sergilemiştir. Porselen ve kompozit inleylerde çiğneme kuvvetlerinin geriye kalmış sağlam diş dokusu yerine restoratif materyalin üzerine gelmesi restorasyonun başarısı için önemlidir.^{18,23}

SONUÇ

Bu çalışmanın bulgularından elde edilen sonuçlara göre:

1. Gerilme dağılımı açısından indirekt kompozitler, yer değiştirme ve zorlanma açısından ise seramik inlay restorasyonlar daha iyi sonuç vermiştir.
2. Çalışmamızın sonuçlarında hekimlere, materyal ve yöntem seçiminde geniş kavitelere seramik ve kompozit

inleyleri, dar kavitelere ise direkt kompozit dolguları tercih etmesini önermekteyiz. Geniş ve dar terimleri ise karşı dişteki tüberküllerin restorasyon veya kavite duvarlarına temas etmesine göre değerlendirilmelidir.

3. Ayrıca okluzal modelaj sırasında, direkt kompozit restorasyonlarda fonksiyonel ve non-fonksiyonel tüberküller eşit derecede belirgin hazırlanmalıdır. İndirekt kompozit ve seramik inleylerde ise fonksiyonel tüberküller, non fonksiyonel eşlerine göre daha belirgin olmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Arola D, Galles LA, Sarubin MF, A comparison of the mechanical behavior of posterior teeth with amalgam and composite MOD restorations. *J Dent.* 29; 63-73, 2001.
2. Ausiello P, Antonio A, Davidson CL, Effect of adhesive layer properties on stress distribution in composite restorations-a 3D finite element analysis. *Dent. Mater.* 18; 295-303, 2002.
3. Ausiello P, Rengo S, Davidson CL, Watts DC, Stress distributions in adhesively cemented ceramic and resin-composite Class II inlay restorations: a 3D-FEA study. *Dent Mater.* 20: 862-872, 2004.
4. Bader JD, Shugars DA, Martin JA, Risk indicators for posterior tooth fracture. *J Am Dent Assoc.* 135: 883-892, 2004.
5. Bader JD, Shugars DA, Sturdevant JR, Consequences of posterior cusp fracture. *Gen Dent.* 52:128-131, 2004.
6. Beer FP & Johnston ER, *Mechanics of Materials*, McGraw-Hill, Japan, 1981.
7. Bott B, Hannig M, Effect of different luting materials on the marginal adaptation of Class I ceramic inlay restorations in vitro. *Dent Mater.* 19: 264-269, 2003.
8. Brucia JJ, Materials and techniques for achieving clinical excellence with indirect composite restorations. *Dent Clin North Am.* 45: 71-81 [abstract], 2001.
9. Burke FJ, Fleming GJ, Nathanson D, Marquis PM, Are adhesive technologies needed to support ceramics? An assessment of the current evidence. *J Adhes Dent.* 4: 7-22, 2002.
10. Burke FJ, Shortall AC, Successful restoration of load-bearing cavities in posterior teeth with direct-replacement resin-based composite. *Dent Update.* 28: 388-394, 396, 398, 2001.
11. Cheung GS, Reducing marginal leakage of posterior composite resin restorations: a review of clinical techniques. *J Prosthet Dent.* 63: 286-288, 1990.
12. de Souza FB, Guimaraes RP, Silva CH, A clinical evaluation of packable and microhybrid resin composite restorations: one-year report. *Quintessence Int.* 36: 41-48, 2005.
13. Dietschi D, Moor L, Evaluation of the marginal and internal adaptation of different ceramic and composite inlay systems after an in vitro fatigue test. *J Adhes Dent.* 1: 41-56, 1999.
14. Fennis WMM, Kuijs RH, Barink M, Kreulen CM, Verdonschot N, Creugers NHJ, Can internal stresses explain fracture resistance of cusp-replacing composite restorations? In *Adhesive Restorations Replacing Cusps*. PhD theses, Radboud University, Nijmegen, the Netherlands. 59-71, 2005.
15. Fuzzi M, Rappelli G, Ceramic inlays: clinical assessment and survival rate. *J Adhes Dent.* 1: 71-79 [abstract], 1999.
16. Hickel R, Manhart J, Longevity of restorations in posterior teeth and reasons for failure. *J Adhes Dent.* 3: 45-64, 2001.
17. Ko CC, Chu CS, Chung KH, Lee MC, Effects of posts on dentin stress distribution in pulpless teeth. *J Prosthet Dent.* 68: 421-427, 1992.
18. Kramer N, Frankenberger R, Clinical performance of bonded leucite-reinforced glass ceramic inlays and onlays after eight years. *Dent Mater.* 21: 262-271, 2005.
19. Kramer N, Lohbauer U, Frankenberger R, Adhesive luting of indirect restorations. *Am J Dent.* 13(Spec No): 60D-76D, 2000.
20. Leirskar J, Nordbo H, Thoresen NR, Henaug T, von der Fehr FR, Four to six years follow-up of indirect resin composite inlays/onlays. *Acta Odontol Scand.* 61: 247-251 [abstract], 2003.
21. Lin CL, Chang CH, Ko CC, Multifactorial analysis of an MOD restored human premolar using auto-mesh finite element approach. *J Oral Rehabil.* 28: 576-585, 2001.
22. Lin CL, Chang CH, Wang CH, Ko CC, Lee HE, Numerical investigation of the factors affecting interfacial stresses in an MOD restored tooth by auto-meshed finite element method. *J Oral Rehabil.* 28: 517-525, 2001.
23. Magne P, Belser UC, Porcelain versus composite inlays/onlays: effects of mechanical loads on stress distribution, adhesion, and crown flexure. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 23: 543-555, 2003.
24. Manhart J, Neuerer P, Scheibenbogen-Fuchsbrunner A, Hickel R, Three-year clinical evaluation of direct and indirect composite restorations in posterior teeth. *J Prosthet Dent.* 84: 289-296, 2000.
25. Martin FE, Recognition and prevention of failures in clinical dentistry. Aesthetic dental materials-posterior. *Ann R Australas Coll Dent Surg.* 11: 178-188, 1991.
26. Pallesen U, Qvist V, Composite resin fillings and inlays. An 11-year evaluation. *Clin Oral Investig.* 7: 71-79, 2003.
27. Razak AA, Harrison A, The effect of filler content and processing variables on dimensional accuracy of experimental composite inlay material. *J Prosthet Dent.* 77: 353-358, 1997.
28. Rubin C, Krishnamurthy N, Capilouto E, Yi H, Stress analysis of the human tooth using a three-dimensional finite element model. *J Dent Res.* 62: 82-86, 1983.
29. Shor A, Nicholls JI, Phillips KM, Libman WJ, Fatigue load of teeth restored with bonded direct composite and indirect ceramic inlays in MOD class II cavity preparations. *Int J Prosthodont.* 16: 64-69, 2003.
30. Sonugelen M, Artuç C, Ağız Protezleri ve Biyomekanik. İzmir: Ege Üniv. Diş Hek Fak. Yayınları, 2002, 3-8.
31. Spreafico RC, Krejci I, Dietschi D, Clinical performance and marginal adaptation of class II direct and semidirect composite restorations over 3.5 years in vivo. *J Dent.* 33: 499-507, 2005.
32. Suzuki S, Nagai E, Taira Y, Minesaki Y, In vitro wear of indirect composite restoratives. *J Prosthet Dent.* 88: 431-436, 2002.

33. Tortopidis D, Lyons MF, Baxendale RH, Gilmour WH, The variability of bite force measurement between sessions, in different positions within the dental arch. J Oral Rehabil. 25: 681-686, 1998.
34. Versluis A, Douglas WH, Cross M, Sakaguchi RL, Does an incremental filling technique reduce polymerization shrinkage stresses? J Dent Res. 75: 871-878, 1996.
35. Wang MQ, Zhang M, Zhang JH, Photoelastic study of the effects of occlusal surface morphology on tooth apical stress from vertical bite forces. J Contemp Dent Pract. 5: 74-93, 2004.

Yazışma adresi

Tan Fırat EYÜBOĞLU
Ege Üniversitesi
Diş Hekimliği Fakültesi
Diş Hastalıkları ve Tedavisi Anabilim Dalı
Endodonti Bilim Dalı 35100 Bornova / İzmir
Tel: 232-388-03-28 - Tel: 532-685-26-61
Fax: 232-388-03-25
e-posta: tfeyuboglu@yahoo.com