

Güncel Restoratif ve Protez Çalışmaları I

Editörler
İlter UZEL
Bülent KESİM



AKADEMİSYEN
KİTABEVİ

© Copyright 2019

Bu kitabın, basım, yayın ve satış hakları Akademisyen Kitabevi A.Ş.'ne aittir. Anılan kuruluşun izni alınmadan kitabın tümü ya da bölümleri mekanik, elektronik, fotokopi, manyetik kâğıt ve/veya başka yöntemlerle çoğaltılamaz, basılamaz, dağıtılamaz. Tablo, şekil ve grafikler izin alınmadan, ticari amaçlı kullanılamaz. Bu kitap T.C. Kültür Bakanlığı bandrolü ile satılmaktadır.

ISBN	Sayfa ve Kapak Tasarımı
978-605-258-307-4	Akademisyen Dizgi Ünitesi
Kitap Adı	Yayıncı Sertifika No
Güncel Restoratif ve Protez Çalışmaları I	25465
Editörler	Baskı ve Cilt
İlter UZEL	Bizim Matbaacılık
Bülent KESİM	Bisac Code
Yayın Koordinatörü	MED016070
Yasin Dilmen	DOI
	10.37609/akya.1447

GENEL DAĞITIM
Akademisyen Kitabevi A.Ş.

Halk Sokak 5 / A
Yenişehir / Ankara
Tel: 0312 431 16 33
siparis@akademisyen.com

www.akademisyen.com

ÖNSÖZ

Akademisyen Yayınevi yöneticileri, yaklaşık 30 yıllık yayın tecrübesini, kendi tüzel kişiliklerine aktararak uzun zamandan beri, ticarî faaliyetlerini sürdürmektedir. Anılan süre içinde, başta sağlık ve sosyal bilimler, kültürel ve sanatsal konular dahil 750 kitabı yayımlamanın gururu içindedir. Uluslararası yayınevi olmanın alt yapısını tanımlayan Akademisyen, Türkçe ve yabancı dillerde yayın yapmanın yanında, küresel bir marka yaratmanın peşindedir.

Bilimsel ve düşünsel çalışmaların kalıcı belgeleri sayılan kitaplar, bilgi kayıt ortamı olarak yüzlerce yılın tanıklarındır. Matbaanın icadıyla varoluşunu sağlam temellere oturtan kitabın geleceği, her ne kadar yeni buluşların yörüngesine taşınmış olsa da, daha uzun süre hayatımızda yer edineceği muhakkaktır.

Akademisyen Yayınevi, kendi adını taşıyan **“Bilimsel Araştırmalar Kitabı”** serisiyle Türkçe ve İngilizce olarak, uluslararası nitelik ve nicelikte, kitap yayımlama sürecini başlatmış bulunmaktadır. Her yıl Mart ve Eylül aylarında gerçekleşecek olan yayımlama süreci, tematik alt başlıklarla devam edecektir. Bu süreci destekleyen tüm hocalarımıza ve arka planda yer alan herkese teşekkür borçluyuz.

Akademisyen Yayınevi A.Ş.

İÇİNDEKİLER

Bölüm 1	Dentin Hassasiyeti: Tedavide Yeni Yaklaşımlar	1
	<i>Ayşe Tuğba ERTÜRK AVUNDUK</i>	
Bölüm 2	Dental Işık Cihazlarının Kullanımında Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar.....	17
	<i>Mehmet BULDUR</i> <i>Fatma AYTAÇ BAL</i>	
Bölüm 3	Restoratif Materyallerin Temel Mekanik Özellikleri ve Bu Özelliklerin Belirlenmesinde Kullanılan Testler.....	33
	<i>Merve AĞACCIOĞLU</i> <i>Fatma AYTAÇ BAL</i>	
Bölüm 4	Dentin Rejenerasyonu Sağlayan Materyallerin İncelenmesi	49
	<i>Gülensu TÜRKYILMAZ</i> <i>Fatma AYTAÇ BAL</i>	
Bölüm 5	Nanoteknoloji ve Nanopartiküllerin Diş Hekimliğinde Kullanımı.....	67
	<i>Canan AKAY</i> <i>Duygu KARAKIŞ</i>	
Bölüm 6	Derinlik Sensörlü Kameraların Kullanımının Diş Hekimliğine Entegrasyonu	79
	<i>Tamer ÇELAKIL</i>	

Bölüm 1

DENTİN HASSASIYETİ: TEDAVİDE YENİ YAKLAŞIMLAR

Ayşe Tuğba ERTÜRK AVUNDUK^{1*}

GİRİŞ

1. Tanım

Dentin hassasiyeti (duyarlılığı), ekspozite dentin kaynaklı kısa, keskin ağrı olarak tanımlanabilir. Tipik olarak kimyasal, termal veya ozmotik uyaranlara tepki olarak ortaya çıkmaktadır. Herhangi bir dental defekt veya patolojiye bağlı olarak gelişen ağrı belirtileri ile dentin hassasiyeti (DH) sonucu oluşan ağrının teşhis aşamasında ayırt edilmesi doğru tedavi planı için gereklidir. Dentin hassasiyeti gerçek bir hastalıktan daha çok, açığıdaki dentin yüzeyinde uyarı iletimi sonucunda oluşan bir semptom kompleksidir (Borges, Barcellos, & Gomes, 2012).

2. Dentin Hassasiyetinin Prevalansı

Hastalığın prevalans dağılımı çalışmalarda farklı bildirilmiştir. Bu farklılıkların, popülasyondaki alışkanlıkların, diyet öykülerinin ve araştırma yöntemlerindeki varyasyonlardan kaynaklandığı ileri sürülmektedir (Miglani, Aggarwal, & Ahuja, 2010). Genel olarak çoğu popülasyondaki DH görülme sıklığının %10-30 arasında değiştiği bildirilmiştir. Dentin hassasiyetinin genç yetişkinlerde en yüksek oranda prevalansa sahip iken artan yaşla birlikte bu prevalansın düştüğü, en fazla 20-40'lı yaşlarda görülmesinin en önemli nedeninin ise diş eti çekilmeleri olduğu gösterilmiştir (Bartold, 2006). Daha sonraki dönemlerde DH yaygınlığının düşmesinin nedeni dentin sklerozu, dentin kanallarının daralması, hidroksiapatit kristallerinin çökmesi sonucu kanalların tıkanması ve geçirgenliğin azalması olarak gösterilmektedir.

Birkaç çalışma, erişkin popülasyonunda çürüksüz servikal lezyonlar ve DH'ni değişen yaygınlık oranları ile bildirmiştir (Bartlett & Shah, 2006; Que & ark., 2013). Genellikle DH kadınlarda erkeklere göre biraz daha fazla oranda görülmektedir. Bu durum kadınların erkeklere göre daha iyi oral hijyen sağlamaları ve diş fırçalama alışkanlıklarına daha bağlı olmalarıyla açıklanmaktadır (Addy, 1990). Diş fırçası aşındırmasına maruz kalan ve periodontal hastalıklar sonucu dişeti çekilmelerinin ortaya çıktığı servikal bukkal dentinde DH sıklıkla tespit

1 Doktor Öğretim Üyesi, Mersin Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi AD, aysetugba@mersin.edu.tr

Teknoloji) gibi kapsüllü tıkayıcı ajanlarla birleştirilen formülasyonların dentin duyarlılığında önemli ölçüde artmış hızlı ve kalıcı bir rahatlama sağladığı rapor edilmiştir. Son zamanlarda, Gendreaue ve ark. (2011) genel olarak DH ağrısından kurtulmayı sağlayan amorf sodyum kalsiyum fosfosilikat içerikli bir diş macunu olan NovaMin'in kullanımına ilişkin klinik kanıtlar olduğunu bildirmiştir (Gendreau, Barlow, & Mason, 2011).

SONUÇ

Günümüzde görülme sıklığı giderek artan dentin hassasiyeti; etiyojisinin multifaktöriyel olması ve tedavi şeklinin sadece hastanın subjektif tepkilerine bağlı kalınarak belirlenmesi sebebiyle yaşam kalitesini doğrudan etkileyen, kompleks bir semptomlar bütünüdür. Tedavi seçenekleri halen tam olarak yeterli ve başarılı değildir. Ayrıca semptomlarının diğer dental defekt ve patolojilerle benzerlik göstermesi, klinik tanı ve teşhisini de zorlaştırmaktadır. Bu yüzden hastalar için önemli bir sorun olan dentin hassasiyetinin tedavisinde, diş hekimleri öncelikle hasta anamnezi almalı ve dikkatli bir klinik muayene ile bu problemin için tanısını koymalıdır. Etiyoloji ve risk faktörlerinin erken teşhisi ve hassasiyete neden olan alışkanlıkların değiştirilmesi ya da tamamen terk edilmesi gibi yaklaşımlar dentin hassasiyetinin giderilmesinde ve tedaviden uzun dönemde sonuç alınmasında önemlidir. Her ne kadar günümüzde dentin hassasiyetinin giderilmesinde kullanılabilecek çok geniş bir ürün yelpazesi bulunsa da bu ürünlerin yeterince etkili olmaması, madde kaybının fazla ve estetik kaygıların mevcut bulunması gibi nedenlerden ötürü tedavide dişin cam iyonomerler, kompomerler ve kompozit reçinelerle de sıklıkla tedavisi yoluna gidilebileceği unutulmamalıdır.

KAYNAKLAR

1. Addy, M. (1990). Etiology and clinical implications of dentine hypersensitivity. *Dental Clinics of North America*, 34(3), 503-514.
2. Addy, M. (2000). Dentine hypersensitivity: definition, prevalence, distribution and aetiology. *Tooth wear and sensitivity*, 239-248.
3. Addy, M. (2002). Dentine hypersensitivity: new perspectives on an old problem. *International dental journal*, 52(S5P2), 367-375.
4. Aranha, A. C. C., Pimenta, L. A. F., & Marchi, G. M. (2009). Clinical evaluation of desensitizing treatments for cervical dentin hypersensitivity. *Brazilian Oral Research*, 23(3), 333-339.
5. Aw, T. C., Lepe, X., Johnson, G. H., & Mancl, L. (2002). Characteristics of noncarious cervical lesions: a clinical investigation. *The Journal of the American Dental Association*, 133(6), 725-733.
6. Bartlett, D., & Shah, P. (2006). A critical review of non-carious cervical (wear) lesions and the role of abfraction, erosion, and abrasion. *Journal of dental research*, 85(4), 306-312.

7. Bartold, P. (2006). Dentinal hypersensitivity: a review. *Australian dental journal*, 51(3), 212-218.
8. Borges, A., Barcellos, D., & Gomes, C. (2012). Dentin hypersensitivity-etiology, treatment possibilities and other related factors: a literature review. *World Journal of Dentistry*, 3(1), 60-67.
9. Cai, F., Shen, P., Morgan, M., & Reynolds, E. (2003). Remineralization of enamel subsurface lesions in situ by sugar-free lozenges containing casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate. *Australian dental journal*, 48(4), 240-243.
10. Charig, A. J., Thong, S., Flores, F., Gupta, S., Major, E., & Winston, A. E. (2009). Mechanism of action of a desensitizing fluoride toothpaste delivering calcium and phosphate ingredients in the treatment of dental hypersensitivity. Part II: comparison with a professional treatment for tooth hypersensitivity. *Compendium of continuing education in dentistry (Jamesburg, NJ: 1995)*, 30(9), 622-624, 626, 628 passim.
11. Chu, C.-H., & Lo, E. C.-M. (2010). Dentin hypersensitivity: a review. *Hong Kong Dent J*, 7(1), 15-22.
12. Cummins, D. (2009). Dentin hypersensitivity: from diagnosis to a breakthrough therapy for everyday sensitivity relief. *Journal of Clinical Dentistry*, 20(1), 1.
13. Cummins, D. (2010). Recent advances in dentin hypersensitivity: clinically proven treatments for instant and lasting sensitivity relief. *American journal of dentistry*, 23, 3A-13A.
14. Davari, A., Ataei, E., & Assarzadeh, H. (2013). Dentin hypersensitivity: etiology, diagnosis and treatment; a literature review. *Journal of dentistry*, 14(3), 136.
15. Eisenburger, M., & Addy, M. (2002). Erosion and attrition of human enamel in vitro part I: interaction effects. *Journal of Dentistry*, 30(7-8), 341-347.
16. Forsback, A. P., Areva, S., & Salonen, J. (2004). Mineralization of dentin induced by treatment with bioactive glass S53P4 in vitro. *Acta Odontologica Scandinavica*, 62(1), 14-20.
17. Gendreau, L., Barlow, A., & Mason, S. C. (2011). Overview of the clinical evidence for the use of NovaMin in providing relief from the pain of dentin hypersensitivity. *The Journal of clinical dentistry*, 22(3), 90-95.
18. Gillam, D., & Orchardson, R. (2006). Advances in the treatment of root dentine sensitivity: mechanisms and treatment principles. *Endodontic Topics*, 13(1), 13-33.
19. He, S., Wang, Y., Li, X., & Hu, D. (2011). Effectiveness of laser therapy and topical desensitising agents in treating dentine hypersensitivity: a systematic review. *Journal of oral rehabilitation*, 38(5), 348-358.
20. Kielbassa, A. M. (2002). Dentine hypersensitivity: Simple steps for everyday diagnosis and management. *International dental journal*, 52(S5P2), 394-396.
21. Kleinberg, I. (2002). SensiStat. A new saliva-based composition for simple and effective treatment of dentinal sensitivity pain. *Dentistry today*, 21(12), 42.
22. Lee, Y., & Chung, W.-G. (2011). Management of dentin hypersensitivity. *J Korean Academy Endodontics*, 12, 16.
23. Lone, A., & Finger, W. (2002). Clinical evaluation of the role of glutardialdehyde in a one-bottle adhesive. *American journal of dentistry*, 15(5), 330-334.
24. Lussi, A. (2006). *Dental erosion: from diagnosis to therapy* (Vol. 20): Karger Medical and Scientific Publishers.
25. Markowitz, K. (2013). A new treatment alternative for sensitive teeth: a desensitizing oral rinse. *Journal of dentistry*, 41, S1-S11.
26. Miglani, S., Aggarwal, V., & Ahuja, B. (2010). Dentin hypersensitivity: Recent trends in management. *Journal of conservative dentistry: JCD*, 13(4), 218.

27. Orchardson, R., & Gillam, D. G. (2006). Managing dentin hypersensitivity. *The Journal of the American Dental Association*, 137(7), 990-998.
28. Panagakos, F., Schiff, T., & Guignon, A. (2009). Dentin hypersensitivity: effective treatment with an in-office desensitizing paste containing 8% arginine and calcium carbonate. *American journal of dentistry*, 22, 3A-7A.
29. Porto, I. C., Andrade, A. K., & Montes, M. A. (2009). Diagnosis and treatment of dental hypersensitivity. *Journal of oral science*, 51(3), 323-332.
30. Poulsen, S., Errboe, M., Mevil, Y. L., & Glenney, A. M. (2006). Potassium containing toothpastes for dentine hypersensitivity. *Cochrane Database of Systematic Reviews*(3).
31. Que, K., Guo, B., Jia, Z., Chen, Z., Yang, J., & Gao, P. (2013). A cross-sectional study: non-carious cervical lesions, cervical dentine hypersensitivity and related risk factors. *Journal of oral rehabilitation*, 40(1), 24-32.
32. Sauro, S., Gandolfi, M. G., Prati, C., & Mongiorgi, R. (2006). Oxalate-containing phytocomplexes as dentine desensitisers: An in vitro study. *Archives of oral biology*, 51(8), 655-664.
33. Schiff, T., Bonta, Y., Proskin, H., DeVizio, W., Petrone, M., & Volpe, A. (2000). Desensitizing efficacy of a new dentifrice containing 5.0% potassium nitrate and 0.454% stannous fluoride. *American journal of dentistry*, 13(3), 111-115.
34. Sgolastra, F., Petrucci, A., Gatto, R., & Monaco, A. (2011). Effectiveness of laser in dentinal hypersensitivity treatment: a systematic review. *Journal of endodontics*, 37(3), 297-303.
35. Sowinski, J., Battista, G., Petrone, M., Chaknis, P., Zhang, Y., DeVizio, W., . . . Proskin, H. (2000). A new desensitizing dentifrice--an 8-week clinical investigation. *Compendium of continuing education in dentistry*.(Jamesburg, NJ: 1995). *Supplement*(27), 11-16; quiz 28.
36. Suge, T., Kawasaki, A., Ishikawa, K., Matsuo, T., & Ebisu, S. (2006). Effects of plaque control on the patency of dentinal tubules: an in vivo study in beagle dogs. *Journal of periodontology*, 77(3), 454-459.
37. Vieira, A. H. M., Passos, V. F., de Assis, J. S., Mendonça, J. S., & Santiago, S. L. (2009). Clinical evaluation of a 3% potassium oxalate gel and a GaAlAs laser for the treatment of dentinal hypersensitivity. *Photomedicine and laser surgery*, 27(5), 807-812.
38. Vollenweider, M., Brunner, T. J., Knecht, S., Grass, R. N., Zehnder, M., Imfeld, T., & Stark, W. J. (2007). Remineralization of human dentin using ultrafine bioactive glass particles. *Acta Biomaterialia*, 3(6), 936-943.
39. Von Troil, B., Needleman, I., & Sanz, M. (2002). A systematic review of the prevalence of root sensitivity following periodontal therapy. *Journal of clinical periodontology*, 29, 173-177.
40. Walters, P. A. (2005). Dentinal hypersensitivity: a review. *J Contemp Dent Pract*, 6(2), 107-117.
41. West, N., Lussi, A., Seong, J., & Hellwig, E. (2013). Dentin hypersensitivity: pain mechanisms and aetiology of exposed cervical dentin. *Clinical oral investigations*, 17(1), 9-19.
42. Yilmaz, H. G., Cengiz, E., Kurtulmus-Yilmaz, S., & Leblebicioglu, B. (2011). Effectiveness of Er, Cr: YSGG laser on dentine hypersensitivity: a controlled clinical trial. *Journal of clinical periodontology*, 38(4), 341-346.
43. Zero, D. T., & Lussi, A. (2005). Erosion—chemical and biological factors of importance to the dental practitioner. *International dental journal*, 55(S4), 285-290.

Bölüm 2

DENTAL IŞIK CİHAZLARININ KULLANIMINDA DİKKAT EDİLMESİ GEREKEN HUSUSLAR

Mehmet BULDUR¹

Fatma AYTAÇ BAL²

GİRİŞ

Dental ışık cihazları, çoğu diş hekimi tarafından doğru kullanılmamaktadır (Santini & Turner, 2011). Bir kompozit rezinin ışıkla polimerizasyonu sürecindeki aşamaların, sonucu etkilediği gösterilmiştir (Price & ark., 2014c; Shimizu & ark., 2015). Birçok rapor restorasyonların yenilenmesini gerektiren en önemli iki nedenin; ikincil çürükler ve kütleli restorasyon kırıkları olduğunu göstermektedir (Sunnegårdh & ark., 2009; Heintze & Rousson, 2012; Kopperud & ark., 2012). Düşük oranda rezin polimerizasyonunun; kırılma, ikincil çürük veya restorasyonlarda aşınma nedeniyle başarısızlığa neden olduğuna dair yeterince dolaylı kanıt vardır (Shortall & ark., 2013; Hammouda, 2010; Rueggeberg & ark., 2009; Ferreira & ark., 2011; Feitosa & ark., 2012). 2012 yılında yapılan bir çalışmada rezin kompozit restorasyonların erken başarısızlık oranının amalgam restorasyonlarından 10 kat daha fazla olduğu bildirilmiştir. Araştırmacılar, polimerizasyon ışığının yanlış konumlandırılmasının bu başarısızlıklara katkıda bulunabileceğini iddia etmiştir (Overton & Sullivan, 2012). Ayrıca polimerizasyonu için yetersiz ışık enerjisi uygulanan rezin kompozit materyallerde; mekanik ve fiziksel özelliklerin bozulduğu (Shortall & ark., 2013; Hammouda, 2010), dişe daha zayıf bağlanma gerçekleştiği (Ferreira & ark., 2011), materyal üzerinde bakteriyel kolonizasyonun arttığı (Brambilla & ark., 2009) ve materyalin yetersiz renk kararlılığı gösterdiği (Janda & ark., 2007; Brackett & ark., 2007) bildirilmiştir. Bu nedenle, ışıkla aktive olan kompozit rezinlerin yeterli polimerizasyonunu sağlamak için, operatörlerin polimerizasyon işlemine dikkat etmeleri ve kullandıkları kompozit rezinlere uygun ışık cihazları kullanmaları önemlidir (Price & ark., 2015).

1 Doktor Öğretim Üyesi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı, mehmetbuldur@comu.edu.tr

2 Doktor Öğretim Üyesi, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı, fatma.aytac@ibu.edu.tr

(International Commission on Non-ionizing Radiation Protection), 1997). Mavi ışık tehlikesi için ACGIH eşik sınırı, ICNIRP yönergeleri ve ağırlıklı mavi ışık tehlikesi fonksiyonu ile uyumludur, 8 saatlik bir günde toplam 167 dakikalık bir süre boyunca $100 \text{ J/cm}^2\text{-sr}$ 'yi geçmemelidir (American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 2012). 1980'lerde QTH polimerizasyon ışıklarından kaynaklanan tehlikeleri değerlendiren önceki çalışmalar, bu birimlerin oküler yaralanmaya neden olma potansiyeline sahip olmadığını bildirmişlerdir. Bununla birlikte, 1980'lerde incelenen ışıkların çoğu, 400 ile 500 nm gibi geniş bir spektrum aralığında ve 400 mW/cm^2 'den daha az ışık gücü sağlamaktaydı (Satrom & ark., 1987). Son zamanlarda yapılan bir araştırma (Labrie & ark., 2011), bu ışık cihazlarıyla, ACGIH sınırlarına (American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 2012) 8 saatlik bir iş günü boyunca ulaşılabilirliğini buldu. Eğer test edilen PAC ışığında turuncu koruyucu gözlük takmayan bir operatör, uzağa bakmadan önce her polimerizasyon döngüsünün ilk saniyesinde ışık ucuna bakarsa, maksimum günlük maruz kalmayı aşmak için, yedi kez ışık uygulamasının yeterli olduğu bildirilmiştir (Labrie & ark., 2011). ACGIH kurallarında önerilen maksimum maruz kalma süresinin normal ışığa duyarlılığı olan kişiler için olduğu unutulmamalıdır; katarakt ameliyatı geçirmiş veya ışığa duyarlı hale getirici ilaçlar alan hastalar veya diş hekimleri, mavi ışığa karşı daha fazla duyarlıdır ve kısa maruz kalma süreleri ile retina hasarı meydana gelebilir (American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 2012; ICNIRP (International Commission on Non-ionizing Radiation Protection), 1997). Bazı mavi ışık filtreleme camlarının, 500 nm dalga boyundaki ışığın altındaki iletimini % 1'in altına düşürdüğü gösterilmiştir (Bruzell & ark., 2007). Mavi ışık filtreleme gözlükleri kullanıldığında, ışık cihazından gelen parlak mavi ışıktan uzağa bakmak yerine, operatör ışıkla polimerizasyon esnasında işlemi güvenle izleyebilir. Bu, restorasyona gönderilen ışık miktarını da iyileştirecektir (Seth & ark., 2012; Price & ark., 2010b; Federlin & Price, 2013).

KAYNAKÇA

1. 3M Oral Care. Elipar™ DeepCure-S Product Brochure #70-2013-0701-7. St. Paul: 3M Oral Care; 2016.
2. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2012). Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. Cincinnati, Ohio.
3. Aravamudhan K, Floyd CJE, Rakowski D, Flaim G, Dickens SH, Eichmiller FC, et al. (2006). Light-emitting diode curing light irradiance and polymerization of resin-based composite. *Journal of the American Dental Association*.
4. Ausiello P, Cassese A, Miele C, Beguinot F, Garcia-Godoy F, Jeso B Di, et al. (2013). Cytotoxicity of dental resin composites: An in vitro evaluation. *Journal of Applied Toxicology*.

5. Baldissara P, Catapano S, Scotti R (1997). Clinical and histological evaluation of thermal injury thresholds in human teeth: a preliminary study. *Journal of Oral Rehabilitation*.
6. Baroudi K, Silikas N, Watts DC (2009). In vitro pulp chamber temperature rise from irradiation and exotherm of flowable composites. *International Journal of Paediatric Dentistry*.
7. Bouillaguet S, Caillot G, Forchelet J, Cattani-Lorente M, Wataha JC, Krejci I (2005). Thermal risks from LED- and high-intensity QTH-curing units during polymerization of dental resins. *Journal of Biomedical Materials Research - Part B Applied Biomaterials*.
8. Brackett MG, Brackett WW, Browning WD, Rueggeberg FA (2007). The Effect of Light Curing Source on the Residual Yellowing of Resin Composites. *Operative Dentistry*.
9. Brambilla E, Gagliani M, Ionescu A, Fadini L, García-Godoy F (2009). The influence of light-curing time on the bacterial colonization of resin composite surfaces. *Dental Materials*.
10. Brännström M, Johnson G (1970). Movements of the dentine and pulp liquids on application of thermal stimuli an in vitro study. *Acta Odontologica Scandinavica*.
11. Brännström M, Lindén LA, Aström A (1967). The hydrodynamics of the dental tubule and of pulp fluid. A discussion of its significance in relation to dentinal sensitivity. *Caries research*.
12. Bruzell EM, Johnsen B, Aalerud TN, Christensen T (2007). Evaluation of eye protection filters for use with dental curing and bleaching lamps. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*.
13. Busemann I, Lipke C, Schattenberg A, Willershausen B, Ernst CP (2011). Shortest exposure time possible with LED curing lights. *American Journal of Dentistry*.
14. Catelan A, De Araújo LSN, Da Silveira BCM, Kawano Y, Ambrosano GMB, Marchi GM, et al. (2015). Impact of the distance of light curing on the degree of conversion and microhardness of a composite resin. *Acta Odontologica Scandinavica*.
15. Caughman WF, Caughman GB, Shiflett RA, Rueggeberg F, Schuster GS (1991). Correlation of cytotoxicity, filler loading and curing time of dental composites. *Biomaterials*.
16. Choi S, Roulet J, Heintze S, Park S (2014). Influence of Cavity Preparation, Light-curing Units, and Composite Filling on Intrapulpal Temperature Increase in an *In Vitro* Tooth Model. *Operative Dentistry*.
17. CMS (2011) FlashMax2 Product description (2011). Available at: <http://www.cms-dental.com/Default.aspx?ID=4061>
18. Corciolani G, Vichi A, Davidson CL, Ferrari M (2008). The Influence of Tip Geometry and Distance on Light-curing Efficacy. *Operative Dentistry*.
19. Dentsply Caulk. SmartLite® Focus Product Brochure, Form 544904 (R 3/20/14). Milford: Dentsply Caulk; 2014.
20. Durner J, Obermaier J, Draenert M, Ilie N (2012). Correlation of the degree of conversion with the amount of elutable substances in nano-hybrid dental composites. *Dental Materials*.
21. EMS Swiss Master Light Brochure (2013). Available at: <http://new.ems-company.com/>
22. Fan PL, Schumacher RM, Azzolin K, Geary R, Eichmiller FC (2002). Curing-light intensity and depth of cure of resin-based composites tested according to international standards. *Journal of the American Dental Association*.

23. Federlin M, Price R (2013). Improving Light-Curing Instruction in Dental School. *Journal of Dental Education*.
24. Feitosa VP, Fugolin APP, Correr AB, Correr-Sobrinho L, Consani S, Watson TF, et al. (2012). Effects of different photo-polymerization protocols on resin-dentine μ BS, mechanical properties and cross-link density of a nano-filled resin composite. *Journal of Dentistry*.
25. Feng L, Carvalho R, Suh BI (2009). Insufficient cure under the condition of high irradiance and short irradiation time. *Dental Materials*.
26. Ferracane JL, Mitchem JC, Condon JR, Todd R (1997). Wear and marginal breakdown of composites with various degrees of cure. *Journal of Dental Research*.
27. Ferreira SQ, Costa TR, Klein-Júnior CA, Accorinte M De, Meier MM, Loguercio AD, et al. (2011). Improvement of exposure times: effects on adhesive properties and resin-dentin bond strengths of etch-and-rinse adhesives. *The journal of adhesive dentistry*.
28. Flury S, Hayoz S, Peutzfeldt A, Hüsler J, Lussi A (2012). Depth of cure of resin composites: Is the ISO 4049 method suitable for bulk fill materials? *Dental Materials*.
29. Fodor L, Ullmann Y, Elman M (2011). Aesthetic applications of intense pulsed light.
30. Gomes M, DeVito-Moraes A, Francci C, Moraes R, Pereira T, Froes-Salgado N, et al. (2013). Temperature Increase at the Light Guide Tip of 15 Contemporary LED Units and Thermal Variation at the Pulpal Floor of Cavities: An Infrared Thermographic Analysis. *Operative Dentistry*.
31. Goodis HE, Winthrop V, White JM (2000). Pulpal responses to cooling tooth temperatures. *Journal of Endodontics*.
32. Hadis M, Leprince JG, Shortall AC, Devaux J, Leloup G, Palin WM (2011). High irradiance curing and anomalies of exposure reciprocity law in resin-based materials. *Journal of Dentistry*.
33. Haenel T, Hausnerová B, Steinhaus J, Price RBT, Sullivan B, Moeginger B (2015). Effect of the irradiance distribution from light curing units on the local micro-hardness of the surface of dental resins. *Dental Materials*.
34. Hammouda IM (2010). Effect of light-curing method on wear and hardness of composite resin. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*.
35. Hannig M, Bott B (1999). In-vitro pulp chamber temperature rise during composite resin polymerization with various light-curing sources. *Dental Materials*.
36. Hao X, Luo M, Wu J, Zhu S (2015). A survey of power density of light-curing units used in private dental offices in Changchun City, China. *Lasers in Medical Science*.
37. Heintze SD, Rousson V (2012). Clinical effectiveness of direct class II restorations - a meta-analysis. *The journal of adhesive dentistry*.
38. Hiemenz PC., Lodge T. (2007). Polymer chemistry. Boca Raton (FL): CRC Press.
39. ICNIRP (International Commission on Non-ionizing Radiation Protection) (1997). Guidelines on limits of exposure to broad-band incoherent optical radiation (0.38 to 3 μ m). *Health Phys*.
40. Jadhav S, Aher G, Hegde V (2009). A clinical survey of the output intensity of 200 light curing units in dental offices across Maharashtra. *Journal of Conservative Dentistry*.
41. Jakubinek MB, O'Neill C, Felix C, Price RB, White MA (2008). Temperature excursions at the pulp-dentin junction during the curing of light-activated dental restorations. *Dental Materials*.
42. Janda R, Roulet JF, Latta M, Kaminsky M, Rüttermann S (2007). Effect of exponential polymerization on color stability of resin-based filling materials. *Dental Materials*.

43. Jandt KD, Mills RW (2013). A brief history of LED photopolymerization. *Dental Materials*.
44. Khaksaran NK, Kashi TJ, Rakhshan V, Sadat Z (2015). Kinetics of pulpal temperature rise during light curing of 6 bonding agents from different generations , using light emitting diode and quartz-tungsten-halogen units : An in-vitro simulation. *Dent Res J*.
45. Kleverlaan CJ, De Gee AJ (2004). Curing efficiency and heat generation of various resin composites cured with high-intensity halogen lights. *European Journal of Oral Sciences*.
46. Kodonas K, Gogos C, Tziafa C (2009a). Effect of simulated pulpal microcirculation on intrachamber temperature changes following application of various curing units on tooth surface. *Journal of Dentistry*.
47. Kodonas K, Gogos C, Tziafas D (2009b). Effect of simulated pulpal microcirculation on intrapulpal temperature changes following application of heat on tooth surfaces. *International Endodontic Journal*.
48. Kopperud SE, Tveit AB, Gaarden T, Sandvik L, Espelid I (2012). Longevity of posterior dental restorations and reasons for failure. *European Journal of Oral Sciences*.
49. Labrie D, Moe J, Price RBT, Young ME, Felix CM (2011). Evaluation of ocular hazards from 4 types of curing lights. *Journal of the Canadian Dental Association*.
50. Leprince J, Devaux J, Mullier T, Vreven J, Leloup G (2010). Pulpal-temperature Rise and Polymerization Efficiency of LED Curing Lights. *Operative Dentistry*.
51. Leprince JG, Palin WM, Hadis MA, Devaux J, Leloup G (2013). Progress in dimethacrylate-based dental composite technology and curing efficiency. In *Dental Materials*.
52. de Magalhães Filho TR, Weig K de M, Werneck MM, da Costa Neto CA, da Costa MF (2015). Odontological light-emitting diode light-curing unit beam quality. *Journal of Biomedical Optics*.
53. Maghaireh GA, Alzraikat H, Taha NA (2013). Assessing the irradiance delivered from light-curing units in private dental offices in Jordan. *Journal of the American Dental Association*.
54. Maucoski C, Zarpellon D, Lippinski L, Santos F, Rueggeberg F, Arrais C (2016). Análise da temperatura do tecido gengival suíno exposto à luz LED polywave de alta potência. In: Proceedings of the 33nd SBPqO Annual Meeting. *Braz Oral Res*.
55. Michaud PL, Price RBT, Labrie D, Rueggeberg FA, Sullivan B (2014). Localised irradiance distribution found in dental light curing units. *Journal of Dentistry*.
56. Mjör IA (2005). Clinical diagnosis of recurrent caries. *Journal of the American Dental Association*.
57. Mouhat M, Mercer J, Stangvaltaite L, Örtengren U (2017). Light-curing units used in dentistry: factors associated with heat development—potential risk for patients. *Clinical Oral Investigations*.
58. Onisor I, Asmussen E, Krejci I (2011). Temperature rise during photo-polymerization for onlay luting. *American Journal of Dentistry*.
59. Overton JD, Sullivan DJ (2012). Early failure of Class II resin composite versus Class II amalgam restorations placed by dental students. *J Dent Educ*.
60. Price RB, Dérand T, Sedarous M, Andreou P, Loney RW (2000). Effect of distance on the power density from two light guides. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*.
61. Price RB, Felix C a (2009). Effect of delivering light in specific narrow bandwidths from 394 to 515nm on the micro-hardness of resin composites. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*.

62. Price RB, Labrie D, Rueggeberg FA, Felix CM (2010a). Irradiance differences in the violet (405 nm) and blue (460 nm) spectral ranges among dental light-curing units. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*.
63. Price RB, McLeod ME, Felix CM (2010b). Quantifying light energy delivered to a class I restoration. *Journal of the Canadian Dental Association*.
64. Price RB, Rueggeberg FA, Labrie D, Felix CM (2010c). Irradiance uniformity and distribution from dental light curing units. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*.
65. Price RB, Labrie D, Whalen JM, Felix CM (2011a). Effect of distance on irradiance and beam homogeneity from 4 light-emitting diode curing units. *Journal of the Canadian Dental Association*.
66. Price RB, Whalen JM, Price TB, Felix CM, Fahey J (2011b). The effect of specimen temperature on the polymerization of a resin-composite. *Dental Materials*.
67. Price RB, Labrie D, Kazmi S, Fahey J, Felix CM (2012). Intra- and inter-brand accuracy of four dental radiometers. *Clinical Oral Investigations*.
68. Price RB, Shortall A, Palin W (2014a). Contemporary Issues in Light Curing. *Operative Dentistry*.
69. Price RB, Strassler HE, Price HL, Seth S, Lee CJ (2014b). The effectiveness of using a patient simulator to teach light-curing skills. *Journal of the American Dental Association*.
70. Price RB, Labrie D, Rueggeberg FA, Sullivan B, Kostylev I, Fahey J (2014c). Correlation between the beam profile from a curing light and the microhardness of four resins. *Dental Materials*.
71. Price RB (2014d). Light Curing Guidelines for Practitioners: A Consensus Statement from the 2014 Symposium on Light Curing in Dentistry, Dalhousie University, Halifax, Canada. *J Can Dent Assoc*;80:e61.
72. Price RB, Ferracane JL, Shortall AC (2015). Light-Curing Units: A review of what we need to know. *Journal of Dental Research*.
73. Rencz A, Hickel R, Ilie N (2012). Curing efficiency of modern LED units. *Clinical Oral Investigations*.
74. Roberts HW, Vandewalle KS, Berzins DW, Charlton DG (2006). Accuracy of LED and halogen radiometers using different light sources. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*.
75. Rueggeberg FA (2011). State-of-the-art: Dental photocuring - A review. *Dental Materials*.
76. Rueggeberg FA, Cole MA, Looney SW, Vickers A, Swift EJ (2009). Comparison of manufacturer-recommended exposure durations with those determined using biaxial flexure strength and scraped composite thickness among a variety of light-curing units: Masters of esthetic dentistry. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*.
77. Rueggeberg FA, Giannini M, Arrais CAG, Price RBT (2017). Light curing in dentistry and clinical implications: a literature review. *Brazilian Oral Research*.
78. Runnacles P, Arrais CAG, Pochapski MT, Dos Santos FA, Coelho U, Gomes JC, et al. (2015). In vivo temperature rise in anesthetized human pulp during exposure to a polywave LED light curing unit. *Dental Materials*.
79. Santini A, Turner S (2011). Summary of: General dental practitioners' knowledge of polymerisation of resin-based composite restorations and light curing unit technology. *British Dental Journal*.
80. Satrom KD, Morris MA, Crigger LP (1987). Potential Retinal Hazards of Visible-light Photopolymerization Units. *Journal of Dental Research*.

81. Seltzer S, Bender I (1984). The Dental Pulp. Philadelphia: J.B. Lippincott;1984. p. 195-7.
82. Seth S, Lee CJ, Ayer CD (2012). Effect of instruction on dental students' ability to light-cure a simulated restoration. *Journal of the Canadian Dental Association*.
83. Al Shaafi M, Maawadh A, Al Qahtani M (2011). Evaluation of Light Intensity Output of QTH and LED Curing Devices in Various Governmental Health Institutions. *Operative Dentistry*.
84. Shimizu Y, Tsujimoto A, Furuichi T, Suzuki T, Tsubota K, Miyazaki M, et al. (2015). Influence of Light Intensity on Surface Free Energy and Dentin Bond Strength of Core Build-up Resins. *Operative Dentistry*.
85. Shortall A, El-Mahy W, Stewardson D, Addison O, Palin W (2013). Initial fracture resistance and curing temperature rise of ten contemporary resin-based composites with increasing radiant exposure. *Journal of Dentistry*.
86. Shortall AC, Felix CJ, Watts DC (2015). Robust spectrometer-based methods for characterizing radiant exitance of dental LED light curing units. *Dental Materials*.
87. Spranley TJ, Winkler M, Dagate J, Oncale D, Strother E (2012). Curing light burns. *General Dentistry*.
88. Sunitha C, Kailasam V, Padmanabhan S, Chitharanjan AB (2011). Bisphenol A release from an orthodontic adhesive and its correlation with the degree of conversion on varying light-curing tip distances. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*.
89. Sunnegårdh-Grönberg K, van Dijken JWV, Funegård U, Lindberg A, Nilsson M (2009). Selection of dental materials and longevity of replaced restorations in Public Dental Health clinics in northern Sweden. *Journal of Dentistry*.
90. The International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (2004). Guidelines on Limits of Exposure to Ultraviolet Radiation of Wavelengths Between 180 nm and 400 nm (Incoherent Optical Radiation). *Health Physics*.
91. Ultradent Products. VALO® Grand Product Prochure (2016).
92. Vandewalle KS, Roberts HW, Andrus JL, Dunn WJ (2005). Effect of light dispersion of LED curing lights on resin composite polymerization. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*.
93. Vandewalle KS, Roberts HW, Rueggeberg FA (2008). Power distribution across the face of different light guides and its effect on composite surface microhardness. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*.
94. Watts DC, Alnazzawi A (2014). Temperature-dependent polymerization shrinkage stress kinetics of resin-composites. *Dental Materials*.
95. Xu X, Sandras DA, Burgess JO (2006). Shear Bond Strength with Increasing Light-Guide Distance from Dentin. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*.
96. Zach L, Cohen G (1965). Pulp response to externally applied heat. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*.

Bölüm 3

RESTORATİF MATERYALLERİN TEMEL MEKANİK ÖZELLİKLERİ VE BU ÖZELLİKLERİN BELİRLENMESİNDE KULLANILAN TESTLER

Merve AĞACCIOĞLU¹

Fatma AYTAÇ BAL²

RESTORATİF MATERYALLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ VE KLİNİK BAŞARI

Diş hekimliğinde başarı hasta ile ilgili faktörler, tedavi edilen diş, kullanılan materyaller ve uygulanan tedavi şekli gibi birçok etkene bağlıdır. Restoratif diş hekimliğinde kullanılan materyallerin fiziksel, kimyasal, mekanik ve biyolojik özellikleri oldukça önem taşımaktadır. Bir restoratif materyalin klinik başarısı öncelikle kabul edilebilir laboratuvar test sonuçları verebilmesiyle incelenmekte ve tahmin edilmektedir.

Restoratif dental materyal özellikleri şu şekilde sınıflandırılabilir: Kimyasal özellikler: korozyon, higroskopik, çözünürlük, pH duyarlılığı, reaktivite, yüzey enerjisi ve yüzey gerilimi. Mekanik özellikler: kırılma dayanımı, baskı dayanımı, sünme, elastik modül, yorgunluk dayanımı, kırılma dayanımı, sertlik, mikro çekme dayanımı, Poisson oranı, oransal sınır, makaslama dayanımı, çekme dayanımı ve akma dayanımı. Üretim aşamasındaki önemli özellikler: maliyet, kırılma dayanımı, akma direnci, sertlik, erime sıcaklığı veya erime sıcaklık oranı, cilalanabilirlik (Anusavice, Shen & Rawls, 2013).

Materyal performanslarının belirlenmesinde hem laboratuvar hem de klinik deneyler kullanılmaktadır. Laboratuvar testleri klinik simülasyonu birebir sağlamasa da temel laboratuvar testleri ile elde edilen bilgiler yüksek öneme sahiptir (Wang & ark., 2003). Laboratuvar testleri aracılığıyla materyalleri karşılaştırmak ve klinik deneyleri yorumlamada rehber olmak üzere standardize ölçümler elde edilir (Anusavice, Shen & Rawls, 2013). Bunun yanında laboratuvar testlerinin tercih edilmesinin bazı avantajlarını şöyle sıralayabiliriz: belirli bir parametre hakkında hızlı veri toplanabilmesi, yaygın kullanılan testlerin göreceli kolaylığı,

1 Uzm. Dt, Fırat Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Restoratif Diş Tedavisi AD, agaccioglumerve@gmail.com

2 Dr.Öğr. Üyesi, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Restoratif Diş Tedavisi AD, fatma.aytac@ibu.edu.tr

var testleri kullanan çalışmalarla ilgili diğer bir önemli husus aynı parametrenin değerlendirilmesinde kullanılan farklı metotların sonuçlarının her zaman birbiriyle karşılaştırılamamasıdır. Bu kısıtlamanın sebebi çeşitli tetkik yöntemlerinin birbirinden farklı çalışma sistemleri veya örnek tasarımlarına sahip olmasıdır. Dolayısıyla farklı çalışmaların sonuç kıyaslamaları yapılırken kullanılan analiz yöntemleri hakkında bilgi edinilmelidir.

KAYNAKÇA

1. Al-Ahdal K, Silikas N, Watts DC. (2014). Rheological properties of resin composites according to variations in composition and temperature. *Dental Materials*, 30 (5), 517–524. Doi:10.1016/j.dental.2014.02.005.
2. Anusavice K, Shen C & Rawls HR. (2013). Phillips' Science of Dental Materials (12th edit). Missouri: Saunders.
3. Ayaz F, Tağtekin D, Yanıkoğlu F. (2011). Dentin Bonding and Evaluation Methods. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*. 4. 49–56.
4. Bayındır F, Yılmaz CB. (2007). Comparison of diametral tensile, flexural and compressive strengths of five core build-up materials. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 17(1), 18–23.
5. Bayne, Stephen C. (2012). Correlation of clinical performance with 'in vitro tests' of restorative dental materials that use polymer-based matrices. *Dental Materials*, 28(1), 52–71. Doi: 10.1016/j.dental.2011.08.594.
6. Bek G, Eligüzeloğlu E. (2008). Effect of flowable composite resin on microtensile bond strength to dentin. *GÜ Diş Hek Fak Derg*, 25(2), 1–6.
7. Bergoli CD, Amaral M, Boaro LC, Braga RR, Valandro LF. (2012). Fiber post cementation strategies: effect of mechanical cycling on push-out bond strength and cement polymerization stress. *The Journal Of Adhesive Dentistry*, 14(5), 471–478. Doi: 10.3290/j.jad.a28389.
8. Biçer ZA, Karakış D, Doğan A, Şahin Y. (2014). The effect of different chemical media on the hardness and wear resistance of indirect composites. *Acta Odontologica Turcica*, 31(3), 134–139. Doi:10.17214/aot.16455.
9. Boaro LC, Gonçalves F, Guimarães TC, Ferracane JL, Pfeifer CS, Braga RR. (2013). Sorption, solubility, shrinkage and mechanical properties of 'low-shrinkage' commercial resin composites. *Dental Materials*, 29(4), 398–404. Doi:10.1016/j.dental.2013.01.006.
10. Braga RR, Yamamoto T, Tyler K, Boaro LC, Ferracane JL, Swain M V. (2012). A comparative study between crack analysis and a mechanical test for assessing the polymerization stress of restorative composites. *Dental Materials*, 28(6), 632–641. Doi:10.1016/j.dental.2012.02.008.
11. Braga RR, Meira JBC, Boaro LCC, Xavier TA. (2010). Adhesion to tooth structure: a critical review of 'macro' test methods. *Dental Materials*, 26(2), 38–49. Doi: 10.1016/j.dental.2009.11.150.
12. Cunha LG, Alonso RCB, Pfeifer CSC, Correr-Sobrinho L, Ferracane JL, Sinhoreti MAC. (2007). Modulated photoactivation methods: Influence on contraction stress, degree of conversion and push-out bond strength of composite restoratives. *Journal of dentistry*, 35(4), 318–24. Doi:10.1016/j.jdent.2006.10.003.

13. De Munck J, Van Landuyt K, Peumans M, Poitevin A, Lambrechts P, Braem M, Van Meerbeek B. (2005). A critical review of the durability of adhesion to tooth tissue: methods and results. *J Dent Res*, 84(2),118–132. Doi: 10.1177/154405910508400204.
14. De Oliveira DC, Ayres AP, Rocha MG, Giannini M, Puppini Rontani RM, Ferracane JL, Sinhoreti MA. (2015). Effect of different in vitro aging methods on color stability of a dental resin-based composite using cielab and CIEDE2000 color-difference formulas. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 27(5), 22-30. Doi:10.1111/jerd.12155.
15. Della Bona A, Benetti P, Borba M, Cecchetti D. (2008). Flexural and diametral tensile strength of composite resins. *Brazilian oral research*, 22(1), 84–89.
16. Ferracane JL. (2011). Resin composite-State of the art. *Dental Materials*, 27(1), 29–38. Doi: 10.1016/j.dental.2010.10.020.
17. Ferracane JL. (2013). Resin-based composite performance: Are there some things we can't predict? *Dental Materials*, 29(1), 51–58. Doi: 10.1016/j.dental.2012.06.013.
18. Fukushima T, Inoue Y, Miyazaki K, Itoh T. (2001). Effect of primers containing n-methylolacrylamide or n-methylolmethacrylamide on dentin bond durability of a resin composite after 5 years. *Journal of Dentistry*, 29(3), 227–234.
19. Gale MS, Darvell BW. (1999). Thermal cycling procedures for laboratory testing of dental restorations. *Journal of Dentistry*, 27(2), 89–99.
20. Hambire UV, Tripathi VK. (2014). Optimization of compressive strength of zirconia based dental composites. *Bulletin of Materials Science*, 37(6), 1315–1320. Doi: 10.1007/s12034-014-0077-3.
21. Hara AT, Pimenta LAF, Rodrigues AL.(2001). Influence of cross-head speed on resin-dentin shear bond strength. *Dental Materials*, 17(2), 165–69.
22. Heintze SD, Barkmeier WW, Latta M, Rousson V. (2011). Round robin test: Wear of nine dental restorative materials in six different wear simulators - Supplement to the round robin test of 2005. *Dental Materials*, 27(2), 1–9. Doi: 10.1016/j.dental.2010.09.003.
23. Heintze SD, Zellweger G, Zappini G (2007). The relationship between physical parameters and wear of dental composites. *Wear*, 263(7–12), 1138–1146. Doi: 10.1016/j.wear.2006.12.010.
24. Heintze SD. (2006). How to qualify and validate wear simulation devices and methods. *Dental materials*, 22(8), 712–734. Doi: 10.1016/j.dental.2006.02.002.
25. Heintze SD, Zellweger G, Cavalleri A, Ferracane J. (2006). Influence of the antagonist material on the wear of different composites using two different wear simulation methods. *Dental Materials*, 22(2), 166–75. Doi: 10.1016/j.dental.2005.04.012.
26. Ilie N, Hickel R, Valceanu AS, Huth KC. (2012). Fracture toughness of dental restorative materials. *Clinical Oral Investigations*, 16, 489–498. Doi: 10.1007/s00784-011-0525-z.
27. Jaikumar RA, Madhulika N, Pradeep Kumar R, Vijayalakshmi K. (2014). Comparison of impact strength in three different types of denture base resins – an in-vitro study. *Pakistan Oral & Dental Journal*, 34(2),373–377.
28. Kern M, Barloi A, Yang B. (2009). Surface conditioning influences zirconia ceramic bonding. *Journal of dental research*, 88(9), 817–22. Doi: 10.1177/0022034509340881.
29. Koottathape N, Takahashi H, Iwasaki N, Kanehira M, Finger WJ. (2014). Quantitative wear and wear damage analysis of composite resins in vitro. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 29,508–516. Doi: 10.1016/j.jmbbm.2013.10.003.

30. Mante FK, Wadenya RO, Bienstock D, Mendelsohn J, LaFleur EE. (2010). Effect of liquid rubber additions on physical properties of Bis-GMA based dental resins. *Dental Materials*, 26(2), 164–168. Doi: 10.1016/j.dental.2009.09.010.
31. Morresi AL, D’Amario M, Capogreco M, Gatto R, Marzo G, D’Arcangelo C, Monaco A. (2014). Thermal cycling for restorative materials: Does a standardized protocol exist in laboratory testing? A literature review. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 29, 295–308. Doi: 10.1016/j.jmbbm.2013.09.013.
32. O’Brien WJ. (2009). *Dental Materials and Their Selection*. (4th edit). Illinois: Quintessence.
33. Ornaghi BP, Meier MM, Lohbauer U, Braga RR. (2014). . Fracture toughness and cyclic fatigue resistance of resin composites with different filler size distributions. *Dental Materials*, 30(7), 742–751. Doi:10.1016/j.dental.2014.04.004.
34. Ölmez A, Tuna D. (2002). Polimerizasyon büzülmesine etki eden faktörler. *Cumhuriyet dental journal* 5(1),52-57.
35. Palaniappan S, Celis JP, Van Meerbeek B, Peumans M, Lambrechts P. (2013). Correlating in vitro scratch test with in vivo contact free occlusal area wear of contemporary dental composites. *Dental Materials*, 29(3), 259–268. Doi:10.1016/j.dental.2012.10.007.
36. Pick B, Meira JBC, Driemeier L, Braga RR. (2010). A critical view on biaxial and short-beam uniaxial flexural strength tests applied to resin composites using Weibull, fractographic and finite element analyses. *Dental Materials* ,26(6), 83–90. Doi: 10.1016/j.dental.2009.09.002.
37. Quinn JB, Quinn GD. (2010). Material properties and fractography of an indirect dental resin composite. *Dental Materials*, 26(6), 589–599. Doi: 10.1016/j.dental.2010.02.008.
38. Sakaguchi RL, Powers JM. (2012). *Craig’s Restorative Dental Materials*. (13th edit). Philadelphia: Mosby.
39. Salerno M, Derchi G, Thorat S, Ceseracciu L, Ruffilli R, Barone AC. (2011). Surface morphology and mechanical properties of new-generation flowable resin composites for dental restoration. *Dental Materials*, 27(12),1221–1228. Doi:10.1016/j.dental.2011.08.596.
40. Salgado VE, Borba MM, Cavalcante LM, de Moraes RR, Schneider LF.(2015). Effect of photoinitiator combinations on hardness, depth of cure, and color of model resin composites. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 27, 41–48. doi: 10.1111/jerd.12146.
41. Soderholm KJ. (2010). Review of the fracture toughness approach. *Dental Materials*, 26(2), 63–77. Doi: 10.1016/j.dental.2009.
42. Taşveren S. (2005). The comparison of the surface hardness of two different restorative materials. *Cumhuriyet Dental Journal*, 8(2).
43. Tekçe N. (2013). The correlation between laboratory bond tests and clinical outcome. *EÜ Dışhek Fak Derg*, 34(2), 57–65. Doi:10.5505/eudfd.2013.03064.
44. Thomaidis S, Kakaboura A, Mueller WD, Zinelis S. (2013). Mechanical properties of contemporary composite resins and their interrelations. *Dental Materials*, 29(8),132–141. doi:10.1016/j.dental.2013.04.025.
45. Uppal M, Ganesh A, Balagopal S, Kaur G. (2013). Profilometric analysis of two composite resins’ surface repolished after tooth brush abrasion with three polishing systems. *J Conserv Dent*, 16(4), 309–313. Doi: 10.4103/0972-0707.114356.

46. VanderVoort GF. (2007). Metallography, principles and Practice. (4th edit). Materials Park.
47. Van Heumen CCM, Kreulen CM, Bronkhorst EM, Lesaffre E, Creugers NHJ. (2008). Fiber-reinforced dental composites in beam testing. *Dental Materials*, 24(11), 1435–1443. Doi: 10.1016/j.dental.2008.06.006.
48. Van Meerbeek B, Peumans M, Poitevin A, Mine A, Van Ende A, Neves A, De Munck J. (2010). Relationship between bond-strength tests and clinical outcomes. *Dental Materials*, 26(2), 100-121. Doi: 10.1016/j.dental.2009.11.148.
49. Von Fraunhofer JA.(2013). Dental Materials at a Glance. (Second edit). United States: Wiley-Blackwell.
50. Wang L, D’Alpino PHP, Lopes LG, Pereira JC. (2003). Mechanical properties of dental restorative materials: relative contribution of laboratory tests. *Journal of applied oral science*, 11(3), 162–167.
51. Watanabe H, Khera SC, Vargas MA, Qian F. (2008). Fracture toughness comparison of six resin composites. *Dental Materials* 24(3), 418–25. Doi: 10.1016/j.dental.2007.06.018.

Bölüm 4

DENTİN REJENERASYONU SAĞLAYAN MATERYALLERİN İNCELENMESİ

Gülensu TÜRKİYILMAZ¹
Fatma AYTAÇ BAL²

GİRİŞ

Endodontik ve restoratif tedavilerde kullanılan materyallere alternatif olarak son dönemde birçok materyal, diş hekimliği uygulamaları için kullanıma sunulmuştur. Bu materyaller posterior dişlerin restorasyonunda, pulpa kuafajı gibi uygulamalarda kullanılmıştır. Yapılan birçok in vivo ve in vitro çalışmada materyallerin tersiyer dentin yapımını indüklediği, biyoaktif ve biyouyumlu olduğu saptanmıştır.

Vital pulpanın tamir edilebilmesi için kullanılacak materyallerin pulpa kök hücrelerini uyarması, bu hücrelerin iyileşme potansiyellerinin artırılması ve dentin formasyonunun hızlandırılması için odontoblastlara diferansiyasyonlarını indüklemelidir. Bu amaçla çeşitli biyolojik ve biyolojik olmayan materyaller araştırılmaktadır.

Bu derleme materyallerin bileşimini, dentinogenezise katkısını literatürde yer alan bilgiler ışığında sunmayı amaçlamaktadır.

DENTİN STİMÜLE ETMEDE KULLANILAN MATERYALLER

Dentinogenez, kraniyal nöral krest kaynaklı hücrelerin odontoblastlara farklılaşmasının ardından pre dentin ve dentin salgılanmasını içerir. Diş gelişiminin geç evrelerinde, odontoblastlar, iç mine epitelinin etkisi altında dental papillanın ektomezenşim hücrelerinden farklılaşır (Nino-Barrera & ark 2013).

Onarıcı ve / veya rejeneratif dentin için yeni strateji, ilk olarak pulpa dokusunun bu doğal iyileşme potansiyelini geliştirmek, ikincisi, biyomühendislik ile odontoblastları ve dentin matrisini ex vivo çalışmalarla gelişmesini destekleyici materyalleri üretmek ve dokuyu implante etmektir. Tedavinin nihai amacı, pulpa

1 Arş. Gör., Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi
Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı gulensuturkiyilmaz@ibu.edu.tr

2 Dr. Öğr. Üyesi, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi
Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı Fatma.aytac@ibu.edu.tr

onarıcı dentin, pulpa canlılığını korumak için, yoğun hasar görmüş dokunun hemen altında bir mineralize doku köprüsü sağlar(Nowicka, 2013).

Büyüme faktörlerinin reparatif dentin formasyonu indüklenmesi amacıyla topikal olarak uygulamalarında, yarılanma ömrünün sınırlı olması,yüksek protein konsantrasyonlarının yol açtığı oldukça yüksek maliyetler bu faktörlerin protein formlarıyla kullanılmalarında önemli engeller olarak karşımıza çıkmaktadır(M. Nakashima, 2005).

Kalsiyum hidroksit standart olarak kabul edilse de çözünürlüğü nedeniyle sızıntıya ve sekonder inflamasyona yol açabileceği görülmüştür(Gudkina, 2012).

Biyoaktif ve biyouyumlu bir materyal olan MTA yüksek sızdırmazlık sağlar ve son yıllarda kalsiyum hidroksite alternatif olarak kuafaj tedavilerinde sert doku oluşumu indüklediği görülmektedir. Ancak uzun sertleşme süresi, manipülasyonunun zor olması, iki seans gerektirmesi ve yüksek maliyeti kullanımını sınırlamaktadır. Biodentine MTA'ya göre daha hızlı sertleşir, manipülasyonu daha kolaydır ve tek seansta tedaviye olanak tanır(Nayak & Hasan, 2014).

Antibiyotiklerin ise sert dokuyu oluşturabilmesi için öncelikle pulpada stabil kan pıhtısı oluşturması gerekir. Çünkü bu pıhtının içinde hücrelerin odontoblastlara farklılaşmasını uyaracak ve hücre büyümesini sağlayacak faktörler görev yapar(Kaida & ark, 2008).

Doku mühendisliği ışığında rejenerasyon sağlayan veya propolis, mine matris proteini gibi kuafaj tedavisinde kullanılacak materyallerin günümüze dek yapılan çalışmalarda, geliştirilen yeni yöntemlere bakıldığında; miktarı, tedavinin kaç aşamalı olacağı, rejenerasyon gözlenebilmesi için ideal zaman aralığı, kullanılacak ideal materyal gibi pek çok konuda daha ileri çalışmalar yapılması gerekmektedir.

KAYNAKÇA

1. Åberg, T., Wozney, J., & Thesleff, I. (1997). Expression patterns of bone morphogenetic proteins (Bmps) in the developing mouse tooth suggest roles in morphogenesis and cell differentiation. *Developmental dynamics: an official publication of the American Association of Anatomists*, 210(4), 383-396.
2. Accorinte Mde, L., Holland, R., Reis, A., Bortoluzzi, M. C., Murata, S. S., Dezan, E., Jr., . . . Alessandro, L. D. (2008). Evaluation of mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide cement as pulp-capping agents in human teeth. *J Endod*, 34(1), 1-6. doi:10.1016/j.joen.2007.09.012
3. Ahangari, Z., Naseri, M., Jalili, M., Mansouri, Y., Mashhadiabbas, F., & Torkaman, A. (2012). Effect of propolis on dentin regeneration and the potential role of dental pulp stem cell in Guinea pigs. *Cell J*, 13(4), 223-228.
4. Al-Hezaimi, K., Al-Tayar, B. A., BaJuaifer, Y. S., Salameh, Z., Al-Fouzan, K., & Tay, F. R. (2011). A hybrid approach to direct pulp capping by using emdogain with a capping material. *J Endod*, 37(5), 667-672.

5. Amir, L. R., Suniarti, D. F., Utami, S., & Abbas, B. (2014). Chitosan as a potential osteogenic factor compared with dexamethasone in cultured macaque dental pulp stromal cells. *Cell Tissue Res*, 358(2), 407-415. doi:10.1007/s00441-014-1938-1
6. Asl Aminabadi, N., Maljaei, E., Erfanparast, L., Ala Aghbali, A., Hamishehkar, H., & Najafpour, E. (2013). Simvastatin versus Calcium Hydroxide Direct Pulp Capping of Human Primary Molars: A Randomized Clinical Trial. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects*, 7(1), 8-14. doi:10.5681/joddd.2013.002
7. Bodem, O., Blumenshine, S., Zeh, D., & Koch, M. J. (2004). Direct pulp capping with mineral trioxide aggregate in a primary molar: a case report. *Int J Paediatr Dent*, 14(5), 376-379. doi:10.1111/j.1365-263X.2004.00547.x
8. Camilleri, J., Laurent, P., & About, I. (2014). Hydration of biodentine, Theracal LC, and a prototype tricalcium silicate-based dentin replacement material after pulp capping in entire tooth cultures. *J Endod*, 40(11), 1846-1854.
9. Casagrande, L., Cordeiro, M. M., Nör, S. A., & Nör, J. E. (2011). Dental pulp stem cells in regenerative dentistry. *Odontology*, 99(1), 1-7.
10. Chang, S. W., Lee, S. Y., Kum, K. Y., & Kim, E. C. (2014). Effects of ProRoot MTA, Bioaggregate, and Micromega MTA on odontoblastic differentiation in human dental pulp cells. *J Endod*, 40(1), 113-118. doi:10.1016/j.joen.2013.09.036
11. Davidson, D., Blanc, A., Fillion, D., Wang, H., Plut, P., Pfeffer, G., . . . Henderson, J. E. (2005). Fibroblast growth factor (FGF) 18 signals through FGF receptor 3 to promote chondrogenesis. *Journal of Biological Chemistry*, 280(21), 20509-20515.
12. Decup, F., Six, N., Palmier, B., Buch, D., Lasfargues, J. J., Salih, E., & Goldberg, M. (2000). Bone sialoprotein-induced reparative dentinogenesis in the pulp of rat's molar. *Clin Oral Investig*, 4(2), 110-119.
13. Dobie, K., Smith, G., Sloan, A. J., & Smith, A. J. (2002). Effects of alginate hydrogels and TGF-beta 1 on human dental pulp repair in vitro. *Connect Tissue Res*, 43(2-3), 387-390.
14. Dziubinska, P., Jaskolska, M., Przyborowska, P., & Adamiak, Z. (2013). Stem cells in dentistry--review of literature. *Pol J Vet Sci*, 16(1), 135-140.
15. Ford, T. R., Torabinejad, M., Abedi, H. R., Bakland, L. K., & Kariyawasam, S. P. (1996). Using mineral trioxide aggregate as a pulp-capping material. *J Am Dent Assoc*, 127(10), 1491-1494.
16. Foroughi, M. R., Karbasi, S., & Ebrahimi-Kahrizsangi, R. (2013). Mechanical evaluation of nHAp scaffold coated with poly-3-hydroxybutyrate for bone tissue engineering. *J Nanosci Nanotechnol*, 13(2), 1555-1562.
17. Galler, K. M., Buchalla, W., Hiller, K. A., Federlin, M., Eidt, A., Schiefersteiner, M., & Schmalz, G. (2015). Influence of root canal disinfectants on growth factor release from dentin. *J Endod*, 41(3), 363-368. doi:10.1016/j.joen.2014.11.021
18. Galler, K. M., D'Souza, R. N., Hartgerink, J. D., & Schmalz, G. (2011). Scaffolds for dental pulp tissue engineering. *Adv Dent Res*, 23(3), 333-339. doi:10.1177/0022034511405326
19. Galler, K. M., Widbiller, M., Buchalla, W., Eidt, A., Hiller, K. A., Hoffer, P. C., & Schmalz, G. (2016). EDTA conditioning of dentine promotes adhesion, migration and differentiation of dental pulp stem cells. *Int Endod J*, 49(6), 581-590. doi:10.1111/iej.12492
20. Gathani, K. M., & Raghavendra, S. S. (2016). Scaffolds in regenerative endodontics: A review. *Dent Res J (Isfahan)*, 13(5), 379-386.

21. Ghoddusi, J., Forghani, M., & Parisay, I. (2014). New approaches in vital pulp therapy in permanent teeth. *Iranian endodontic journal*, 9(1), 15.
22. Grewal, N., Salhan, R., Kaur, N., & Patel, H. B. (2016). Comparative evaluation of calcium silicate-based dentin substitute (Biodentine((R))) and calcium hydroxide (pulpdent) in the formation of reactive dentin bridge in regenerative pulpotomy of vital primary teeth: Triple blind, randomized clinical trial. *Contemp Clin Dent*, 7(4), 457-463. doi:10.4103/0976-237x.194116
23. Gronthos, S., Brahimi, J., Li, W., Fisher, L., Cherman, N., Boyde, A., Shi, S. (2002). Stem cell properties of human dental pulp stem cells. *J Dent Res*, 81(8), 531-535.
24. Gudkina, J., Mindere, A., Locane, G., & Brinkmane, A. (2012). Review of the success of pulp exposure treatment of cariously and traumatically exposed pulps in immature permanent incisors and molars. *Stomatologija*, 14(3), 71-80.
25. Guven, E. P., Yalvac, M. E., Sahin, F., Yazici, M. M., Rizvanov, A. A., & Bayirli, G. (2011). Effect of dental materials calcium hydroxide-containing cement, mineral trioxide aggregate, and enamel matrix derivative on proliferation and differentiation of human tooth germ stem cells. *J Endod*, 37(5), 650-656.
26. Hashemi-Beni, B., Khoroushi, M., Foroughi, M. R., Karbasi, S., & Khademi, A. A. (2017). Tissue engineering: Dentin - pulp complex regeneration approaches (A review). *Tissue Cell*, 49(5), 552-564. doi:10.1016/j.tice.2017.07.002
27. Heikinheimo, K. (1994). Stage-specific expression of decapentaplegic-Vg-related genes 2, 4, and 6 (bone morphogenetic proteins 2, 4, and 6) during human tooth morphogenesis. *J Dent Res*, 73(3), 590-597.
28. Holland, R., de Souza, V., Murata, S. S., Nery, M. J., Bernabe, P. F., Otoboni Filho, J. A., & Dezan Junior, E. (2001). Healing process of dog dental pulp after pulpotomy and pulp covering with mineral trioxide aggregate or Portland cement. *Braz Dent J*, 12(2), 109-113.
29. Hu, T., Xu, H., Sang, L., Wang, L., Dokiparty, K. D., Lv, H., . . . Qiu, X. (2016). A novel layer-by-layer self-assembly biomimetic hydroxyapatite-cell sheet for bone tissue engineering. *Journal of Biomaterials and Tissue Engineering*, 6(12), 931-937.
30. Huang, G. T., Gronthos, S., & Shi, S. (2009). Mesenchymal stem cells derived from dental tissues vs. those from other sources: their biology and role in regenerative medicine. *J Dent Res*, 88(9), 792-806. doi:10.1177/0022034509340867
31. Huang, G. T., Yamaza, T., Shea, L. D., Djouad, F., Kuhn, N. Z., Tuan, R. S., & Shi, S. (2010). Stem/progenitor cell-mediated de novo regeneration of dental pulp with newly deposited continuous layer of dentin in an in vivo model. *Tissue Eng Part A*, 16(2), 605-615. doi:10.1089/ten.TEA.2009.0518
32. Inuyama, Y., Kitamura, C., Nishihara, T., Morotomi, T., Nagayoshi, M., Tabata, Y., . . . Terashita, M. (2010). Effects of hyaluronic acid sponge as a scaffold on odontoblastic cell line and amputated dental pulp. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*, 92(1), 120-128. doi:10.1002/jbm.b.31497
33. Jeon, M., Song, J. S., Choi, B. J., Choi, H. J., Shin, D. M., Jung, H. S., & Kim, S. O. (2014). In vitro and in vivo characteristics of stem cells from human exfoliated deciduous teeth obtained by enzymatic disaggregation and outgrowth. *Arch Oral Biol*, 59(10), 1013-1023. doi:10.1016/j.archoralbio.2014.06.002
34. Kaida, H., Hamachi, T., Anan, H., & Maeda, K. (2008). Wound healing process of injured pulp tissues with emdogain gel. *J Endod*, 34(1), 26-30. doi:10.1016/j.joen.2007.09.011

35. Khoroushi, M., Mousavinasab, S., Keshani, F., & Hashemi, S. (2013). Effect of resin-modified glass ionomer containing bioactive glass on the flexural strength and morphology of demineralized dentin. *Operative dentistry*, 38(2), E21-E30.
36. Kikuchi, N., Kitamura, C., Morotomi, T., Inuyama, Y., Ishimatsu, H., Tabata, Y., . . . Terashita, M. (2007). Formation of dentin-like particles in dentin defects above exposed pulp by controlled release of fibroblast growth factor 2 from gelatin hydrogels. *J Endod*, 33(10), 1198-1202. doi:10.1016/j.joen.2007.07.025
37. Kim, J. G., Son, K. M., Park, H. C., Zhu, T., Kwon, J. H., & Yang, H. C. (2013). Stimulating effects of quercetin and phenamil on differentiation of human dental pulp cells. *European journal of oral sciences*, 121(6), 559-565.
38. Kim, Y.-B., Shon, W.-J., Lee, W., Kum, K.-Y., Baek, S.-H., & Bae, K.-S. (2010). Gene expression profiling concerning mineralization in human dental pulp cells treated with mineral trioxide aggregate. *J Endod*, 36(11), 1831-1838.
39. Kumabe, S., Nakatsuka, M., Kim, G. S., Jue, S. S., Aikawa, F., Shin, J. W., & Iwai, Y. (2006). Human dental pulp cell culture and cell transplantation with an alginate scaffold. *Okajimas Folia Anat Jpn*, 82(4), 147-155.
40. Kuo, C. K., & Ma, P. X. (2001). Ionically crosslinked alginate hydrogels as scaffolds for tissue engineering: part 1. Structure, gelation rate and mechanical properties. *Bio-materials*, 22(6), 511-521.
41. Lee, S. Y., Min, K. S., Choi, G. W., Park, J. H., Park, S. H., Lee, S. I., & Kim, E. C. (2012). Effects of simvastatin and enamel matrix derivative on Portland cement with bismuth oxide-induced growth and odontoblastic differentiation in human dental pulp cells. *J Endod*, 38(3), 405-410. doi:10.1016/j.joen.2011.12.025
42. Li, F., Liu, X., Zhao, S., Wu, H., & Xu, H. H. (2014). Porous chitosan bilayer membrane containing TGF- β 1 loaded microspheres for pulp capping and reparative dentin formation in a dog model. *Dental Materials*, 30(2), 172-181.
43. Lichtman, M. K., Otero-Vinas, M., & Falanga, V. (2016). Transforming growth factor beta (TGF-beta) isoforms in wound healing and fibrosis. *Wound Repair Regen*, 24(2), 215-222. doi:10.1111/wrr.12398
44. Madhally, S. V., & Matthew, H. W. (1999). Porous chitosan scaffolds for tissue engineering. *Biomaterials*, 20(12), 1133-1142.
45. Martín, A., Unda, F. J., Bègue-Kirn, C., Ruch, J. V., & Aréchaga, J. (1998). Effects of aFGF, bFGF, TGF β 1 and IGF-I on odontoblast differentiation in vitro. *European journal of oral sciences*, 106(S1), 117-121.
46. Matsunaga, T., Yanagiguchi, K., Yamada, S., Ohara, N., Ikeda, T., & Hayashi, Y. (2006). Chitosan monomer promotes tissue regeneration on dental pulp wounds. *Journal of Biomedical Materials Research Part A: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials*, 76(4), 711-720.
47. Mauth, C., Huwig, A., Graf-Hausner, U., & Roulet, J. (2007). Restorative applications for dental pulp therapy. *Topics in tissue engineering*, 3(3), 1-32.
48. Montazeri, M., Karbasi, S., Foroughi, M. R., Monshi, A., & Ebrahimi-Kahrizsangi, R. (2015). Evaluation of mechanical property and bioactivity of nano-bioglass 45S5 scaffold coated with poly-3-hydroxybutyrate. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 26(2), 62.
49. Mooney, D. J., Powell, C., Piana, J., & Rutherford, B. (1996). Engineering dental pulp-like tissue in vitro. *Biotechnol Prog*, 12(6), 865-868. doi:10.1021/bp960073f

50. Murray, P. E., Garcia-Godoy, F., & Hargreaves, K. M. (2007). Regenerative endodontics: a review of current status and a call for action. *J Endod*, 33(4), 377-390. doi:10.1016/j.joen.2006.09.013
51. Nakashima, M. (2005). Bone morphogenetic proteins in dentin regeneration for potential use in endodontic therapy. *Cytokine Growth Factor Rev*, 16(3), 369-376. doi:10.1016/j.cytogfr.2005.02.011
52. Nakashima, M., Mizunuma, K., Murakami, T., & Akamine, A. (2002). Induction of dental pulp stem cell differentiation into odontoblasts by electroporation-mediated gene delivery of growth/differentiation factor 11 (Gdf11). *Gene therapy*, 9(12), 814.
53. Narayanan, K., Srinivas, R., Ramachandran, A., Hao, J., Quinn, B., & George, A. (2001). Differentiation of embryonic mesenchymal cells to odontoblast-like cells by overexpression of dentin matrix protein 1. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 98(8), 4516-4521. doi:10.1073/pnas.081075198
54. Nayak, G., & Hasan, M. F. (2014). Biodentine-a novel dentinal substitute for single visit apexification. *Restor Dent Endod*, 39(2), 120-125. doi:10.5395/rde.2014.39.2.120
55. Nino-Barrera, J. L., Gutierrez, M. L., & Garzon-Alvarado, D. A. (2013). A theoretical model of dentinogenesis: dentin and dentinal tubule formation. *Comput Methods Programs Biomed*, 112(1), 219-227. doi:10.1016/j.cmpb.2013.06.010
56. Nowicka, A., Lipski, M., Parafiniuk, M., Sporniak-Tutak, K., Lichota, D., Kosierkiewicz, A., Buczkowska-Radlinska, J. (2013). Response of human dental pulp capped with biodentine and mineral trioxide aggregate. *J Endod*, 39(6), 743-747. doi:10.1016/j.joen.2013.01.005
57. Parameswaran, A. (2013). Sturdevant's art and science of operative dentistry. *Journal of Conservative Dentistry*, 16(5), 480.
58. Patel, R., & Cohenca, N. (2006). Maturogenesis of a cariously exposed immature permanent tooth using MTA for direct pulp capping: a case report. *Dent Traumatol*, 22(6), 328-333. doi:10.1111/j.1600-9657.2006.00471.x
59. Piva, E., Tarle, S. A., Nor, J. E., Zou, D., Hatfield, E., Guinn, T., . . . Kaigler, D. (2017). Dental Pulp Tissue Regeneration Using Dental Pulp Stem Cells Isolated and Expanded in Human Serum. *J Endod*, 43(4), 568-574. doi:10.1016/j.joen.2016.11.018
60. Prescott, R. S., Alsanea, R., Fayad, M. I., Johnson, B. R., Wenckus, C. S., Hao, J., . . . George, A. (2008). In vivo generation of dental pulp-like tissue by using dental pulp stem cells, a collagen scaffold, and dentin matrix protein 1 after subcutaneous transplantation in mice. *J Endod*, 34(4), 421-426. doi:10.1016/j.joen.2008.02.005
61. Saito, T., Ogawa, M., Hata, Y., & Bessho, K. (2004). Acceleration effect of human recombinant bone morphogenetic protein-2 on differentiation of human pulp cells into odontoblasts. *J Endod*, 30(4), 205-208. doi:10.1097/00004770-200404000-00005
62. Sakai, V. T., Zhang, Z., Dong, Z., Neiva, K. G., Machado, M. A., Shi, S., . . . Nor, J. E. (2010). SHED differentiate into functional odontoblasts and endothelium. *J Dent Res*, 89(8), 791-796. doi:10.1177/0022034510368647
63. Schroder, U. (1985). Effects of calcium hydroxide-containing pulp-capping agents on pulp cell migration, proliferation, and differentiation. *J Dent Res*, 64 Spec No, 541-548. doi:10.1177/002203458506400407
64. Sloan, A. J., & Waddington, R. J. (2009). Dental pulp stem cells: what, where, how? *Int J Paediatr Dent*, 19(1), 61-70. doi:10.1111/j.1365-263X.2008.00964.x
65. Soares, D. G., Anovazzi, G., Bordini, E. A. F., Zuta, U. O., Silva Leite, M. L. A., Basso, F. G., de Souza Costa, C. A. (2018). Biological Analysis of Simvastatin-re-

- leasing Chitosan Scaffold as a Cell-free System for Pulp-dentin Regeneration. *J Endod*, 44(6), 971-976.e971. doi:10.1016/j.joen.2018.02.014
66. Song, M., Kang, M., Kim, H.-C., & Kim, E. (2015). A randomized controlled study of the use of ProRoot mineral trioxide aggregate and Endocem as direct pulp capping materials. *J Endod*, 41(1), 11-15.
67. Sonoyama, W., Liu, Y., Fang, D., Yamaza, T., Seo, B. M., Zhang, C., . . . Shi, S. (2006). Mesenchymal stem cell-mediated functional tooth regeneration in swine. *PLoS One*, 1, e79. doi:10.1371/journal.pone.0000079
68. Suzuki, M., Ogisu, T., Kato, C., Shinkai, K., & Katoh, Y. (2011). Effect of CO(2) laser irradiation on wound healing of exposed rat pulp. *Odontology*, 99(1), 34-44. doi:10.1007/s10266-010-0140-5
69. Thesleff, I., & Mikkola, M. (2002). The role of growth factors in tooth development. *International review of cytology*, 217, 93-135.
70. Țuculină, M. J., Răescu, M., Dascălu, I. T., Popescu, M., Andreescu, C. F., Dăguci, C., . . . Baniță, I. M. (2013). Indirect pulp capping in young patients: immunohistological study of pulp-dentin complex. *Rom J Morphol Embryol*, 54(4), 1081-1086.
71. Vainio, S., Karavanova, I., Jowett, A., & Thesleff, I. (1993). Identification of BMP-4 as a signal mediating secondary induction between epithelial and mesenchymal tissues during early tooth development. *Cell*, 75(1), 45-58.
72. Wang, J., Liu, X., Jin, X., Ma, H., Hu, J., Ni, L., & Ma, P. X. (2010). The odontogenic differentiation of human dental pulp stem cells on nanofibrous poly(L-lactic acid) scaffolds in vitro and in vivo. *Acta Biomater*, 6(10), 3856-3863. doi:10.1016/j.actbio.2010.04.009
73. Wang, X., Sha, X. J., Li, G. H., Yang, F. S., Ji, K., Wen, L. Y., . . . Xuan, K. (2012). Comparative characterization of stem cells from human exfoliated deciduous teeth and dental pulp stem cells. *Arch Oral Biol*, 57(9), 1231-1240. doi:10.1016/j.archoralbio.2012.02.014
74. Wang, Y. H., Rutherford, B., Upholt, W. B., & Mina, M. (1999). Effects of BMP-7 on mouse tooth mesenchyme and chick mandibular mesenchyme. *Dev Dyn*, 216(4-5), 320-335. doi:10.1002/(sici)1097-0177(199912)216:4/5<320::aid-dvdy2>3.0.co;2-h
75. Yang, X., Han, G., Pang, X., & Fan, M. (2012). Chitosan/collagen scaffold containing bone morphogenetic protein-7 DNA supports dental pulp stem cell differentiation in vitro and in vivo. *Journal of biomedical materials research Part A*.
76. Zanini, M., Sautier, J. M., Berdal, A., & Simon, S. (2012). Biodentine induces immortalized murine pulp cell differentiation into odontoblast-like cells and stimulates biomineralization. *J Endod*, 38(9), 1220-1226. doi:10.1016/j.joen.2012.04.018
77. Zhang, W., Walboomers, X. F., van Kuppevelt, T. H., Daamen, W. F., Bian, Z., & Jansen, J. A. (2006). The performance of human dental pulp stem cells on different three-dimensional scaffold materials. *Biomaterials*, 27(33), 5658-5668. doi:10.1016/j.biomaterials.2006.07.013
78. Zhao, S., Sloan, A. J., Murray, P. E., Lumley, P. J., & Smith, A. J. (2000). Ultrastructural localisation of TGF-beta exposure in dentine by chemical treatment. *Histochem J*, 32(8), 489-494.
79. Zhao, Y., Gao, S., Zhao, S., Li, Y., Cheng, L., Li, J., & Yin, Y. (2012). Synthesis and characterization of disulfide-crosslinked alginate hydrogel scaffolds. *Materials Science and Engineering: C*, 32(8), 2153-2162.

Bölüm 5

NANOTEKNOLOJİ VE NANOPARTİKÜLLERİN DIŞ HEKİMLİĞİNDE KULLANIMI

Canan AKAY¹
Duygu KARAKIŞ²

GİRİŞ

Nanoteknoloji bilimi, maddenin moleküler ve atomik seviyelerdeki kontrolünü kapsamaktadır (Nagpal & ark., 2011). Farklı kimyasal ve fiziksel metotlar kullanılarak 0.1 ile 100 nanometre boyutları arasında değişen fonksiyonel materyaller ve yapıların molekül mühendisliği ile üretimi nano teknolojiyi tanımlar (Kosla, 2009). Yunanca “nan(n)os” kelimesinden türemiş olan ve “cüce” anlamına gelen “nano”, bir fiziksel ölçünün milyarda birine işaret eden bir ön ektir. Örneğin 1 nanometre, 10^{-9} metredir ve yaklaşık olarak 2 veya 3 atom boyutundadır (Ingle & Gopal, 2011), (Ozak & Ozkan, 2013). Nano teknoloji terimi ilk olarak 1974 yılında Tokyo Bilim Üniversitesi’nden Norio Taniguchi adlı bilim adamı tarafından kullanılmıştır (Sahoo, Parveen, Panda & 2007). Taniguchi nano teknolojiyi genel olarak “Malzemelerin atom atom ya da molekül molekül işlenmesi, ayrılması, birleştirilmesi ve bozulması” olarak tanımlamıştır (Taniguchi, 1974). Nanoteknolojinin gelişmesini sağlayan buluş ise 1981’de Binnig ve Rohrer tarafından Tarama Tünelleme Mikroskobu’nun ve bu gelişmeyi takiben 1986’da fullerenlerin ve karbon nanotüplerin keşfedilmesi ile olmuştur (Satyanarayana & Rai, 2011).

Nano materyallerin özelliklerini diğer materyallerden ayıran 2 önemli faktör bulunmaktadır bunlar; yüzey alanının artması ve kuantum etkisidir. Örneğin 30 nm’lik bir parça atomlarının %5’ini, 10 nm’lik bir parça atomlarının %20’sini ve 3 nm’lik bir parça atomlarının %50’sini yüzeyinde bulundurur. Nano partiküller daha büyük partiküller ile karşılaştırıldığında birim başına daha fazla yüzey alanına sahiptirler. Yüzey alanı etkileri ile paralel olarak, kuantum efektleri maddenin özelliklerine hâkim olmaya başlar. Özellikle nano ölçekli boyutun en küçük sınıra yaklaştıkça, malzemenin optik, fizik ve manyetik davranışları etkilenir. Örneğin nano kristalin nikel sertleştirilmiş çelik kadar dayanıklıdır (Drexler, 2006). Boyuta bağlı değişen özellikler nano ölçekli nesnelerin inanılmaz bir potansiyele

1 Doç. Dr., Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Dış Hekimliği Fakültesi Protetik Dış Tedavisi Anabilim Dalı Mail:cnngcr2@hotmail.com

2 Doç. Dr., Gazi Üniversitesi Dış Hekimliği Fakültesi Protetik Dış Tedavisi Anabilim Dalı Mail:dtduygukc@hotmail.com

dentifrobotlar, 1-10 /m / saniye hızındaki bir amipin hareket hızına sahip olması beklenmektedir. Üretimleri ucuz ve tamamen mekanik olan robotların, yutulması halinde etkinlikleri zararsız bir şekilde durdurulabilir. Belirgin bir şekilde üretilen dentifrobotlar plak ve diğer bölgelerdeki patojen bakterileri tanır ve tahrip eder, ancak normal florada yaklaşık 500 zararsız türü etkilemez ve bu nedenle sağlıklı bir ekosistemin oluşumuna katkıda bulunur. Dentifrobotlar ağız kokusunun ana nedenlerinden biri olan bakteri yapım ürünlerini ortadan kaldırarak halitozise karşı sürekli bir bariyer oluşturur. Böylece, genç yaşlardan itibaren diş eti hastalıkları ortadan kaldıracak gibi görülmektedir (Freitas, 2000).

Ortodontik nanorobotlar, diş eti, periodontal ligament ve alveoler kemik dahil olmak üzere tüm periodontal dokuları doğrudan manipüle edebilir. Ağrısız bir şekilde birkaç saat içinde dişleri düzeltebilir, döndürebilir veya dikey olarak yeniden konumlandırabilir (Bhardwaj & ark., 2014), (Chandki & ark., 2018).

KAYNAKLAR

1. Abiodun-Solanke, I., Ajayi, D. & Arigbede, A. (2014) Nanotechnology and its application in dentistry. *Ann. Med. Health Sci. Res.* 4(3), 171–177
2. Akay, C., Tanış, MÇ. & Sevim, H. (2017) Effect of artificial saliva with different pH levels on the cytotoxicity of soft denture lining materials. *The International journal of artificial organs*, 40(10), 581-588
3. Akay, C. & Çakırbay Tanis M. (2018) Kolorimetrik MTT testi kullanarak geleneksel protez kaide materyali ile yumusak astar materyalinin in vitro sitotoksik özelliklerinin değerlendirilmesi. *SDÜ Tıp Fakültesi Dergisi*, 25(2), 157-166
4. Akay, C., Cevik, P., Karakis, D. & Sevim, H. (2018). In Vitro Cytotoxicity of Maxillofacial Silicone Elastomers: Effect of Nano particles. *Journal of Prosthodontics*, 27(6), 584-587.
5. Albrecht, M.A., Evans C.W. & Raston CL. (2006) Green chemistry and the health implications of nanoparticles. *Green Chem*, 8(5), 417–432
6. Bhardwaj, A., Bhardwaj, A., Misuriya, A., Maroli, S., Manjula, S., & Singh, A. K. (2014). Nanotechnology in dentistry: Present and future. *Journal of international oral health*, 6(1), 121.
7. Bouwmeester, H., Dekkers, S., Noordam, M., Hagens, W., Bulder A., de Heer, C. (2007) Health impact of nanotechnologies in food production. *Institute of Food Safety Wageningen University and Research Centre (RIKILT) and National Institute for Public Health & the Environment (RIVM)*
8. Cai, W., Gao, T., Hong, H. & Sun, J. (2008) Applications of gold nanoparticles in cancer nanotechnology. *Nanotechnol Sci Appl*, 1, 17–32.
9. Çevik Pınar. (2013) Silika ve titanyum dioksit ilavesinin iki farklı maksillofasiyal silikon elastomerin mekanik özelliklerine etkisi. Selçuk Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Konya.
10. Cevik, P. & Eraslan, O. (2017). Effects of the addition of titanium dioxide and silanated silica nanoparticles on the mechanical properties of maxillofacial silicones. *Journal of Prosthodontics*, 26(7), 611-615.
11. Chandki, R., Kala, M., Kumar, K.N., Brigit, B., Banthia, P., Banthia, R. (2012) Nanodentistry: Exploring the beauty of miniature. *J Clin Exp Dent*, 4(2), 119–124

12. Chakraborty, M., Jain, S. Rani, V. (2011) Nanotechnology: emerging tool for diagnostics and therapeutics. *Appl Biochem Biotechnol*, 165(5–6), 1178–1187.
13. Chaudhry, Q., Scotter, M., Blackburn, J., Ross, B., Boxall, A., Castle, L. (2008) Applications and implications of nanotechnologies for the food sector. *Food Addit Contam A Chem Anal Control Expo Risk Assess*, 25, 241–258
14. Chithrani, B.D., Ghazani, A.A. & Chan, W.C. (2006) Determining the size and shape dependence of gold nanoparticle uptake into mammalian cells. *Nano Lett*, 6(4), 662–668.
15. Çakırbay Tanıs, M. & Akay, C. (2018) İki Farklı Yumusak Astar Materyalinin Sitotoksik Özelliklerinin İncelenmesi. *Akdeniz Tıp Dergisi*, 2, 137-143
16. Diana, V., Bossolasco, P., Moscatelli, D., Silani, V. & Cova, L. (2013) Dose dependent side effect of superparamagnetic iron oxide nanoparticle labeling on cell motility in two fetal stem cell populations. *PLoS One*, 8(11):e78435.
17. Drexler KE. Nanosystems: Molecular Machinery Manufacturing and Computation. New York: John Wiley and Sons; 2006.
18. Freitas, RA., (2000) JR Nanodentistry. *J Am Dent Assoc*, 131, 1559–1565
19. Gambhir, R.S., Sogi, G.M., Nirola, A., Brar, R., Sekhon, T., & Kakar, H. (2013) Nanotechnology in dentistry: current achievements and prospects. *J Orofac Sci*, 5, 9-14
20. Gómez, L.G. (2013) Nanopartículas de plata: tecnología para su obtención, caracterización y actividad biológica [Silver nanoparticles: technology for their production, characterization and biological activity]. *Investigación en Discapacidad*, 2, 18–22.
21. Iga M, Takeshige F, Ui T, Torii M. (1991) The relationship between polymerization shrinkage measured by a modified dilatometer and the inorganic filler content of light-cured composites. *Dent Mater J*, 10:38–45.
22. Ingle, E. & Gopal S. (2011) Nanodentistry: a hype or hope. *J Oral Health Comm Dent*, 52, 64-67
23. Kanaparthi R, Kanaparthi A. (2011) The changing face of dentistry nanotechnology. *Int J Nanomedicine*, 6, 2799-804.
24. Kavaz, D. (2011) Nanoteknoloji. *Nanobülten*, 13, 12-9
25. Kohler, N., Sun, C., Wang, J. & Zhang, M. (2005) Methotrexate-modified superparamagnetic nanoparticles and their intracellular uptake into human cancer cells. *Langmuir*, 21(19), 8858–886
26. Kosla, R. (2009) Nanotechnology in Dentistry. *Famdent Practical Dentistry Handbook*, 9, 69-84
27. Kong LX, Peng Z, Li SD, Bartold M. (2006) Nanotechnology and its role in the management of periodontal diseases. *Periodontol 2000*, 40:184-196.
28. Kürkçüoğlu, İ., Köroğlu, A., Özkır, S. E., & Ateş, M. (2014). Nanoteknoloji kavramı ve diş hekimliğindeki uygulamaları. *SDU Journal of Health Science Institute/SDÜ Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(2), 77-80
29. Lee, J. H., Jo, J. K., Kim, D. A., Patel, K. D., Kim, H. W., & Lee, H. H. (2018). Nanographene oxide incorporated into PMMA resin to prevent microbial adhesion. *Dental Materials*, 34(4), 63-72.
30. Lipovsky, A., Nitzan, Y., Gedanken, A., & Lubart, R. (2011) Antifungal activity of ZnO nanoparticles – the role of ROS mediated cell injury. *Nanotechnology*, 22(10), 105101
31. Lutz, F., Setcos JC, Phillips, R.W., & Roulet, J.F. (1983) Dental restorative resins. Types and characteristics. *Dent Clin North Am*, 27:699–712.
32. Manke, A., Wang, L., & Rojanasakul, Y. (2013) Mechanisms of nanoparticle-induced oxidative stress and toxicity. *Biomed Res Int* 942916.

33. Mitra SB, Wu D, & Holmes BN. (2003) An application of nanotechnology in advanced dental materials. *J Am Dent Assoc*, 134:1382-1390.
34. Monteiro, D. R., Gorup, L. F., Takamiya, A. S., Ruvollo-Filho, A. C., de Camargo, E. R., & Barbosa, D. B. (2009). The growing importance of materials that prevent microbial adhesion: antimicrobial effect of medical devices containing silver. *International journal of antimicrobial agents*, 34(2), 103-110.
35. Morones, J. R., Elechiguerra, J. L., Camacho, A., Holt, K., Kouri, J. B., Ramírez, J. T., & Yacaman, M. J. (2005). The bactericidal effect of silver nanoparticles. *Nanotechnology*, 16(10), 2346.
36. Munksgaard EC, Hansen EK, Kato H. (1987) Wall-to-wall polymerization contraction of composite resins versus filler content. *Scand J Dent Res*, 95:526-531.
37. Nagpal, A., Kaur, J., Sharma, S., Bansal, A., & Sacchdev, P. (2011) Nanotechnology-the era of molecular dentistry. *Indian J. Dent Sci*, 5, 80-82
38. Nuñez-Anita, R. E., Acosta-Torres, L. S., Vilar-Pineda, J., Martínez-Espinosa, J. C., de la Fuente-Hernández, J., & Castaño, V. M. (2014). Toxicology of antimicrobial nanoparticles for prosthetic devices. *International Journal of nanomedicine*, 9, 3999.
39. Ozak, S.T., Ozkan, P.(2013) Nanotechnology and dentistry. *Eur J Dent*, 7, 145-151
40. Pal, S., Tak, Y. K., & Song, J. M. (2007). Does the antibacterial activity of silver nanoparticles depend on the shape of the nanoparticle? A study of the gram-negative bacterium *Escherichia coli*. *Applied and environmental microbiology*, 73(6), 1712-1720.
41. Panchbhai, A. (2019). Nanotechnology in dentistry. In Applications of Nanocomposite Materials in Dentistry (pp. 191-203). *Woodhead Publishing*.
42. Park, B. (2007). Current and future applications of nanotechnology. *Nanotechnology: Consequences for human health and the environment*. Cambridge, UK: RSC Publishing, 1-18.
43. Pokrowiecki, R., Pałka, K., & Mielczarek, A. (2018). Nanomaterials in dentistry: a cornerstone or a black box? *Nanomedicine*, 13(6), 639-667. doi:10.2217/nnm-2017-0329
44. Rao, K.V.P. & Kumar, J.S. (2013) Nanotechnology in dentistry. *KDJ*, 36, 56-59.
45. Ren, G., Hu, D., Cheng, E. W., Vargas-Reus, M. A., Reip, P., & Allaker, R. P. (2009). Characterisation of copper oxide nanoparticles for antimicrobial applications. *International journal of antimicrobial agents*, 33(6), 587-590
46. Sahoo SK, Parveen S, Panda JJ. (2007) The present and future of nanotechnology in human health care. *Nanomedicine*, 3(1):20-31.
47. Satyanarayana TSV, Rai R.(2011) Nanotechnology: the future. *J Interdiscip Dentistry*, 1: 93-100.
48. Schmalz, G., Hickel R, van Landuyt, K.L. & Reichl FX. (2017) Nanoparticles in dentistry. *Dental Materials*, 33(11), 1298-1314
49. Seetharam, R.N. (2006) Nanotoxicity: threat posed by nanoparticles. *Curr Sci.*, 93, 769-770
50. Sivaramakrishnan, S. M. & Neelakantan, P. (2014). Nanotechnology in Dentistry-What does the Future Hold in Store?. *Dentistry*, 4(2), 1.
51. Slane, J., Vivanco, J., Rose, W., Ploeg, H. L., & Squire, M. (2015) Mechanical, material, and antimicrobial properties of acrylic bone cement impregnated with silver nanoparticles. *Materials Science and Engineering: C*, 48, 188-196.
52. Song, R., Jiao, X., & Lin, L. (2011) Improvement of mechanical and antimicrobial properties of denture base resin by nano-titanium dioxide and nano-silicon dioxide particles. *Pigment & Resin Technology*, 40(6), 393-398.

53. Sperling, R.A., Rivera Gil, P., Zhang, F., Zanella M & Parak WJ. (2008) Biological applications of gold nanoparticles. *Chem Soc Rev*, 37(9), 1896–1908.
54. Taniguchi, N. “On the Basic Concept of ‘Nano-Technology’,” Proc. Intl. Conf. Prod. Eng. Tokyo, Part II, Japan Society of Precision Engineering, 1974, pp 18–23
55. Tay, L.Y., Herrera, D.R., Quishida, C.C.C., Carlos, I.Z. & Joge JH. (2012) Effect of water storage and heat treatment on the cytotoxicity of soft liners. *Gerodontology*, 29, 275- 80
56. Terry DA. (2004) Direct applications of a nanocomposite resin system: Part 1 – The evolution of contemporary composite materials. *Pract Proced Aesthet Dent*, 16:417–422.
57. Williams, D. N., Ehrman, S. H., & Holoman, T. R. P. (2006). Evaluation of the microbial growth response to inorganic nanoparticles. *Journal of nanobiotechnology*, 4(1), 3.
58. Williams, D.F. (2008). On the mechanisms of biocompatibility. *Biomaterials*, 29(20), 2941–2953.
59. Xu, R., Xu, X. & Fu, G. (2002), “Application performance of nano-titanium dioxide in antimicrobial plastic”, *Plastics*, 1 (3), 26-9.
60. Yılmaz N. & Akkaya M. (2007) Nanoteknoloji. *Türk Diş Hekimleri Birliği Dergisi*, 101, 76-82.
61. Yoon, K. Y., Byeon, J. H., Park, J. H., & Hwang, J. (2007). Susceptibility constants of *Escherichia coli* and *Bacillus subtilis* to silver and copper nanoparticles. *Science of the Total Environment*, 373(2-3), 572-575
62. Zu, Y., Mu, Y. & Li, X. (1999), “Nano-titanium dioxide – a new type of inorganic antimicrobial agent”, *Modern Chemicals*, 19 (8), 46-8.

Bölüm 6

DERİNLİK SENSÖRLÜ KAMERALARIN KULLANIMININ DIŞ HEKİMLİĞİNE ENTEGRASYONU

Tamer ÇELAKIL¹

GENEL BİLGİLER

Üç boyutlu (3D) tarama ve modelleme teknolojisi, uzun yıllardır 3D ölçümleme ve 3D üretim alanlarında uygulanmaktadır. (Wang & ark., 2018) Bununla birlikte, gelişen teknolojinin sağlamış olduğu kazanımlar ile 3D teknolojisi, farklı uygulama alanlarında da kendisine yer bulmuştur. 3D televizyonlar, sanal gerçeklik, yüz tanıma, 3D mimari ve rekonstrüksiyon, tıbbi görüntüleme, nesne yeniden yapılandırma işlemleri ve mobil robotik teknolojiler bu uygulama alanlarından bazılarıdır. (Yang & ark., 2014; Morell-Gimenez & ark., 2014) 3D teknolojisinde bir sahne ya da görüntünün 3D verisi, doku ve derinlik görüntüsünden meydana gelir. Yani bu teknolojinin asıl amaçlarından birisi, elde edilecek olan görüntüye ait derinlik verisinin hesaplanmasıdır. Doku bilgisi renkli kameralar tarafından kolayca elde edilebilse de, derinlik bilgisinin elde edilmesi çoğunlukla zorlayıcı olmaktadır. (Yang & ark., 2014) Literatürde derinlik görüntüsü, bir sahnenin ya da objenin piksel yoğunluğunun hesaplanmasından ziyade kameraya olan uzaklığı ile ilgili veriye sahip olan basit bir 2 boyutlu (2D) görüntü olarak tanımlanmaktadır. (Kerr & ark., 2018) Uzaklık terimi ise, görüntülemeyi yapan kamera ile obje arasındaki mesafeyi açıklamak için kullanılmaktadır. (Kerr & ark., 2018)

Mevcut bir sahne ya da objenin daha fazla doku ve derinlik verisini elde edebilmek için geleneksel 2 boyutlu renki kamera (RGB) kullanmak yerine derinlik kamerasının kullanılması gerekmektedir. (Kerr & ark., 2018) Günümüz teknolojisinde, birçok farklı sektörde kullanılan ve giderek kullanım alanı artan, çok sayıda 3D sensör tabanlı derinlik kameraları (RGB-D) bulunmaktadır. RGB-D sensörleri, düşük maliyetleri nedeniyle 3D modellemede büyük ilgi görmüştür. (Darwish & ark., 2017) Hızla gelişen ve geliştirilen bu kameraların sahip oldukları teknik özelliklere bağlı olarak avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. (Siena & ark., 2018) Bu sebeple, RGB-D sensörlerinin teknik özelliklerinin belirlenmesi ve bilinmesi önem arz etmektedir.

1 Araş. Gör. Dr., İstanbul Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi A.D., tamer.celakil@istanbul.edu.tr

SONUÇ

Diş hekimliğinde, özellikle kafa ve yüz anatomisinin 3D verisini elde edebilmek için tekrarlanabilirliği ve güvenilirliği kanıtlanmış derinlik kameralarından faydalanılabilir. Nispeten yeni bir teknoloji olan derinlik kameralarının diş hekimliği alanına entegrasyonu sürecinde muhtemel zorluklar ile karşılaşılacak olsa da, yapılacak olan klinik ve laboratuvar çalışmaları ile ucuz, portatif ve zaman kaybı yaratmayan uygulamaların yerini alması beklenebilir.

KAYNAKLAR

1. Bullas AM, Choppin S, Heller B, Wheat J. (2016) Validity and repeatability of a depth camera-based surface imaging system for thigh volume measurement. *J Sports Sci*, 34 (20):1998-2004. Doi: 10.1080/02640414.2016.1149604.
2. Darwish W, Tang S, Li W, Chen W. (2017) A New Calibration Method for Commercial RGB-D Sensors. *Sensors (Basel)*, 17 (6). pii: E1204. Doi: 10.3390/s17061204.
3. Galna B, Jackson D, Schofield G, McNaney R, Webster M, Barry G, Mhiripiri D, Balaam M, Olivier P, Rochester L. (2014) Retraining function in people with Parkinson's disease using the Microsoft kinect: game design and pilot testing. *J Neuroeng Rehabil*, 14 (11):60. Doi: 10.1186/1743-0003-11-60.
4. Kerr D, Coleman S, McGinnity MT. (2018) Biologically Inspired Intensity and Depth Image Edge Extraction. *IEEE Trans Neural Netw Learn Syst*, 29 (11):5356-5365. Doi: 10.1109/TNNLS.2018.2797994.
5. Kim Y, Ham B, Oh C, Sohn K. (2016) Structure Selective Depth Superresolution for RGB-D Cameras. *IEEE Trans Image Process*, 25 (11):5227-38. Doi: 10.1109/TIP.2016.2601262.
6. Kordi M, Haralabidis N, Huby M, Barratt PR, Howatson G, Wheat JS. (2019) Reliability and validity of depth camera 3D scanning to determine thigh volume. *J Sports Sci*, 37 (1):36-41. Doi: 10.1080/02640414.2018.1480857.
7. Liu W, Zhang Y, Tang S, Tang J, Hong R, Li J. (2013) Accurate estimation of human body orientation from RGB-D sensors. *IEEE Trans Cybern*, 43 (5):1442-52. Doi: 10.1109/TCYB.2013.2272636.
8. Lo KH, Wang YF, Hua KL. (2018) Edge-Preserving Depth Map Upsampling by Joint Trilateral Filter. *IEEE Trans Cybern*, 48 (1):371-384. Doi: 10.1109/TCYB.2016.2637661.
9. Morell-Gimenez V, Saval-Calvo M, Azorin-Lopez J, Garcia-Rodriguez J, Cazorla M, Orts-Escolano S, Fuster-Guillo A. (2014) A comparative study of registration methods for RGB-D video of static scenes. *Sensors (Basel)*, 14 (5):8547-76. Doi: 10.3390/s140508547.
10. Ortiz-Gutiérrez R, Cano-de-la-Cuerda R, Galán-del-Río F, Alguacil-Diego IM, Palacios-Ceña D, Miangolarra-Page JC. (2013) A telerehabilitation program improves postural control in multiple sclerosis patients: a Spanish preliminary study. *Int J Environ Res Public Health*, 10 (11):5697-710. Doi: 10.3390/ijerph10115697.
11. Palacios JM, Sagüés C, Montijano E, Llorente S. (2013) Human-computer interaction based on hand gestures using RGB-D sensors. *Sensors (Basel)*, 13 (9):11842-60. Doi: 10.3390/s130911842.

12. Siena FL, Byrom B, Watts P, Breedon P. (2018) Utilising the Intel RealSense Camera for Measuring Health Outcomes in Clinical Research. *J Med Syst*, 42 (3):53. Doi: 10.1007/s10916-018-0905-x.
13. Sin H, Lee G. Additional virtual reality training using Xbox Kinect in stroke survivors with hemiplegia. (2013) *Am J Phys Med Rehabil*, 92 (10):871-80. Doi: 10.1097/PHM.0b013e3182a38e40.
14. Wang S, Zuo X, Du C, Wang R, Zheng J, Yang R. (2018) Dynamic Non-Rigid Objects Reconstruction with a Single RGB-D Sensor. *Sensors (Basel)*, 18 (3). pii: E886. Doi: 10.3390/s18030886.
15. Yang J, Ye X, Li K, Hou C, Wang Y. (2014) Color-guided depth recovery from RGB-D data using an adaptive autoregressive model. *IEEE Trans Image Process*, 23 (8):3443-58. Doi: 10.1109/TIP.2014.2329776.
16. Yang K, Wang K, Hu W, Bai J. (2016) Expanding the Detection of Traversable Area with RealSense for the Visually Impaired. *Sensors (Basel)*, 16 (11). pii: E1954. Doi: 10.3390/s16111954