

Dijital Oklüzal Analiz Yöntemleri

Digital Occlusal Analysis Methods

Araş. Gör. Büşra UĞURGELEN

Marmara Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi,
Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı

Orcid ID: 0000-0002-7425-9168

Doç. Dr. Buket EVREN

Marmara Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi,
Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı

Orcid ID: 0000-0003-2175-9289

Geliş tarihi: 08.09.2022

Kabul tarihi: 27.03.2023

doi: 10.5505/yeditepe.2024.44224

Yazışma adresi:

Araş. Gör. Büşra Uğurgelen

Adres: Marmara Üniversitesi Recep Tayyip Erdoğan
Külliyesi Sağlık Yerleşkesi Diş Hekimliği Fakültesi,
Başbüyük Yolu 9/3 34854

Başbüyük/Maltepe/İstanbul

Tel: 0 541 978 10 17

E-posta: busraugurgelen@yahoo.com

ÖZET

Oklüzyon, maksiller ve mandibular dişler arasındaki statik ilişki olarak tanımlanmaktadır. İdeal oklüzyonda, dişler arasındaki temaslar eş zamanlı olarak gerçekleşerek oklüzal kuvvetler homojen bir şekilde dağılmalıdır. Dengesiz oklüzal temaslar sonucunda çiğneme sisteminde oluşabilecek rahatsızlıkların önlenmesi için oklüzal analizin doğru bir şekilde yapılması büyük önem taşımaktadır. Oklüzal analiz geleneksel ve dijital yöntemlerle yapılmaktadır. Geleneksel yöntemler ile oklüzyon subjektif bir şekilde değerlendirilebilirken, temasların oluşma sırası ve yoğunluğunu da gösteren dijital yöntemler ile oklüzyon, objektif bir şekilde analiz edilebilmektedir. Bilgisayar destekli oklüzal analiz yöntemi, basınca duyarlı filmler ve bilgisayar destekli tasarım ve üretim sistemleri, oklüzal ilişkileri belirlemek için en yaygın olarak kullanılan dijital sistemlerdir.

Anahtar Kelimeler: Oklüzyon, oklüzal analiz, dijital oklüzal analiz, bilgisayarlı oklüzal analiz, bilgisayar destekli tasarım ve üretim.

ABSTRACT

Occlusion is defined as the static relationship between the maxillary and mandibular teeth. In ideal occlusion, the contacts between the teeth should occur simultaneously and the occlusal forces should be distributed homogeneously. Accurate occlusal analysis has great importance in order to prevent masticatory system disorders as a result of unbalanced occlusal contacts. Occlusal analysis is performed with conventional and digital methods. While occlusion can be evaluated subjectively with conventional methods, occlusion can be analyzed objectively with digital methods that also show the order and density of contact formation. Computerized occlusal analysis systems, pressure-sensitive film, and computer-aided design and manufacturing systems are the most commonly used digital systems to determine occlusal contacts.

Keywords: Occlusion, occlusal analysis, digital occlusal analysis, computerized occlusal analysis, computer-aided design and manufacturing.

GİRİŞ

Dengeli ve fonksiyonel bir oklüzyon, diş hekimliğinin tüm alt disiplinlerinin temelini oluşturmaktadır. Fonksiyonun düzgün bir şekilde sağlanabilmesi için oklüzal temaslar stomatognatik sistemle uyumlu olmalıdır. Dengesiz oklüzal temasların varlığında; temporomandibular eklem (TME), dişler, periodontal dokular, nöromusküler sistemden oluşan çiğneme sistemi elemanları etkilenmektedir. Ayrıca mevcut implant ve restorasyonlarda aşırı yüklenme ve kırıklar görülebilmektedir.

Oklüzal temas noktalarını bulmak ve tanımlamak için oklüzal

indikatörler kullanılmaktadır. Bu indikatörlerin doğruluğu, oklüzal tedavinin hedefi olan oklüzal uyumun sağlanması için esastır. Oklüzal analiz için halihazırda kullanılan tekniklerin duyarlılığı ve güvenilirliği, kayıt materyallerinin kalınlığına, dayanıklılığına ve elastisitesine, ayrıca ağız ortamına ve klinisyenin yorumuna bağlıdır.

Oklüzal ilişkilerin değerlendirilmesinde konvansiyonel ve dijital yöntemler kullanılmaktadır.³ Artikülasyon kağıdı, silikon kapanış materyalleri, metalik folyo, ipek şerit ve oklüzal sprej güncel olarak kullanılan konvansiyonel oklüzal analiz yöntemleridir. Bu yöntemlerle elde edilen oklüzal temasların varlığı subjektif yorum gerektirmektedir.⁴ Materyallerin tekrarlayan kullanımında ve ağız sıvıları ile temasında oklüzal kontakları göstermedeki hassasiyetlerinin azaldığı belirtilmiştir.^{5,6} Belirtilen dezavantajlarının yanında günümüzde artikülasyon kağıdı başta olmak üzere konvansiyonel yöntemler pratik olmaları, düşük maliyetli olmaları gibi nedenlerle sıklıkla kullanılmaktadır. Gelişen teknoloji ile diş hekimliğinde dijital sistemlerin kullanımı artmıştır ve oklüzal değerlendirme için de dijital sistemler geliştirilmiştir. Bilgisayar destekli oklüzal analiz yöntemi, basınca duyarlı film ve bilgisayar destekli tasarım ve üretim sistemi, oklüzal ilişkileri belirlemek için en yaygın olarak kullanılan dijital sistemlerdir.

Basınca Duyarlı Film

Dental Prescale Sistemi (Fujifilm Co., Tokyo, Japonya) olarak 1990 yılında tanıtılan sistem, 150 µm kalınlığında basınca duyarlı film (Dental Prescale; Fujifilm Co., Tokyo, Japonya) ve filmin analiz edildiği bilgisayardan (Occluzer FPD-703; Fujifilm Co., Tokyo, Japonya) oluşmaktadır (Resim 1). At nalı şekline sahip, ağız sıvılarından etkilenmeyen basınca duyarlı film, iki polietilen tetraftalat filmin arasına yerleştirilmiş renk kapsülleri ve banyo solüsyonundan oluşmaktadır.⁷ Isırma kuvveti uygulandığında renk kapsülleri patlar ve kapsül içeriği banyo solüsyonu ile reaksiyona girerek kırmızı bir renk oluşturur. Basınç arttıkça, oluşan kırmızı renk yoğunluğu artar. Film analiz için Occluzer cihazına yerleştirilerek; oklüzal kontakların sayısı, konumu, kuvveti miktarı ve kuvvet dağılımı elde edilir.⁸



Resim 1. Dental Prescale Sistemi (Fujifilm Co., Tokyo, Japonya). A. Basınca duyarlı film. B. Basınca duyarlı filmin analiz edildiği bilgisayar. C. Analiz sonuçları.⁹

Occluzer cihazında filmin incelenmesi kayıt alındıktan hemen sonra yapılmalıdır. Yapılan çalışmada basınca duyarlı filmin taranması için olan gecikmelerde ilk 2 dakikada renk yoğunluğunda hızlı bir artış (%13), ardından 2 da-

kikadan 10 dakikaya kademeli bir renk yoğunluğu artışı (%10) gösterilmiştir. Filmin taranması için olan gecikmelerde renk yoğunluğu artışının klinik olarak yanlış sonuçta sebep olabileceği sonucuna varılmıştır.⁷

Temas zamanlaması hakkında bilgi sağlamaması, bir kez kullanılan film tekrardan kullanılmaması ve zaman alıcı olması gibi dezavantajlara sahiptir.^{8,10,11}

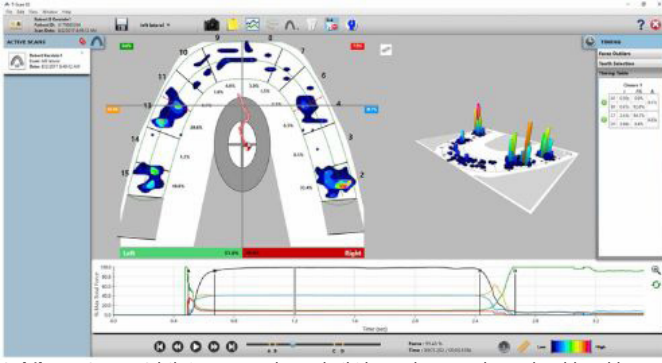
Bilgisayarlı Oklüzal Analiz Yöntemi

Maness¹², bilgisayarlı oklüzal analiz sistemi olarak T-Scan sistemini geliştirerek, T-Scan ile ilgili ilk araştırmayı 1987'de yayınlamıştır. 1984 yılında ilk üretilen T-scan I sisteminden bu yana, T-scan teknolojisi son 30 yılda daha da geliştirilmiştir. Sırasıyla T-scan II (1995), turbo kayıt özellikli T-scan III (2004), T-Scan Novus (2015) sensör kolu üretilmiştir ve yazılım sistemi olarak en son T-scan v10 (2018) olarak güncellenmiştir.¹³



Resim 2. T-Scan Novus (Tekscan Inc., Boston, ABD) sensör kolu, basınca hassas sensör (100 µm), sensör taşıyıcı ara parça.¹⁴

T-Scan sistemi; sensör kolu, sensör taşıyıcı ara parça, 100 µm kalınlığında basınca hassas sensör ve bilgisayar yazılımı olmak üzere dört elemandan oluşmaktadır (Resim 2). Hasta sensörü ısırıldığında iletken sensörde elektriksel direnç azalarak, ısırma kuvveti sayısal veriler olarak kaydedilmiş olur.¹⁵ Oklüzal temas bilgilerini analiz etmek için bilgisayar ekranında gerçek zamanlı olarak görülebilen ilk temas noktasından maksimum interküspasyona kadar olan oklüzal temaslar 0,01 saniyelik artışlarla kaydedilir.¹⁶ Oklüzal temaslar, diş temaslarının oluşma sırası ve dişlere gelen kuvvetleri yüzdesel olarak gösteren oklüzal temas zamanlama dizileri; iki boyutlu ve üç boyutlu grafikler halinde, optimum kuvvet olan maviden, kuvvetler arttıkça yeşil, sarı, turuncu, kırmızı ve pembeye kadar uzanan çubuklar ve sütunlar olarak temsil edilir. Dental arkın temsil edildiği iki boyutlu ve üç boyutlu grafikler, sağ-sol, anterior-posterior olarak dört kadrana bölünerek incelenebilmektedir¹⁴ (Şekil 1).



Şekil 1. T-Scan 10 bilgisayar yazılımında iki boyutlu ve üç boyutlu oklüzal kuvvet dağılımı grafikleri ile kuvvet-zaman grafiğinin görünümü.¹⁴

İki boyutlu dental ark grafiğinde kuvvet merkezinin konumunu belirten kuvvet merkezi işareti bulunmaktadır. Oklüzyon sırasında kuvvet merkezi, kuvvetin yoğunluğunun az olduğu bölgeden daha fazla olduğu bölgeye doğru kırmızı renkli bir yörünge oluşturarak ark üzerinde kuvvet dağılımının dengeli bir şekilde ayarlanabilmesine yardımcı olur.¹⁷ Ayrıca T-Scan sisteminin, bir elektromiyografi sistemi (Biopac systems, Kaliforniya, ABD) ile bağlantısının yapılarak oklüzal analiz ile eş zamanlı olarak kas aktivitelerinin de değerlendirilmesi mümkündür.¹⁸

T-Scan sisteminde implant dayanakları ayrı olarak değerlendirilebilmektedir. Oklüzal yüklerin dişler üzerindeki dağılımında önemli bir rol oynayan periodontal ligamentlerin implant ile kemik arasında bulunmaması ve implant dayanak materyallerinin diş kuronuna göre farklı elastisite modüllerine sahip olması nedenleriyle implantlara gelen oklüzal yükler, implantlar tarafından dişlerde olduğu gibi tolere edilememektedir. İmplant üzerine gelen aşırı oklüzal yükler nedeniyle implant çevresinde oluşan stresin implant osseointegrasyonunu tehlikeye atabileceği, peri-implantitise ve kemik kaybına yol açabileceği kanıtlanmıştır.¹⁹ Bu nedenle implant destekli protezlerdeki oklüzal yük dağılımının hassas bir şekilde ayarlanması gerekmektedir. T-Scan sisteminde implant dayanaklarının ayrı bir şekilde değerlendirilebilmesi özelliği, implant ve diş arasındaki farklar nedeniyle önem taşımaktadır.

Yeni versiyonda bulunan Digital Impression Overlay (DIO) seçeneği ile kuvvet dağılımı, hastanın ".stl" formatındaki dijital ölçüsü ile karşılaştırılabilmektedir. İntraoral tarayıcılar, restorasyonun tasarımı sürecinde oklüzal temasları gösterebilse de temasların zamanlaması ve kuvvet dağılımı ile ilgili ayrıntılı bilgi veremez. Bu nedenle T-Scan ile modellerin karşılaştırılması, oklüzal düzenlemede avantaj sağlar.¹⁴ Diğer bir bilgisayarlı oklüzal analiz yöntemi olan OccluSense (Dr. Jean Bausch GmbH & Co., Köln, Almanya), oklüzal temasları ve oklüzal kuvvet dağılımını belirlemek için 2017 yılında üretilen dijital oklüzal analiz yöntemidir.¹⁸ OccluSense sensörü 60 µm kalınlığındadır ve kırmızı renkle kaplanmış esnek yapıya sahiptir (Resim 3). Renkli kaplama artikülasyon kağıdı görevi görür ve diş üzerindeki oklüzal temasların yerinin belirlenmesine ve kontrol edilmesine yardımcı olur. Kaydedilen veriler, kablosuz ağ

aracılığıyla OccluSense iPad uygulamasına gönderilir. Diş hekimi, oklüzyon verilerini hem iki boyutlu hem de üç boyutlu görünümde ve oklüzal yük dağılımını yüzde olarak görebilir.²⁰



Resim 3. OccluSense (Dr. Jean Bausch GmbH & Co., Köln, Almanya) cihazı ve sensörü.²¹

Accura (Dmetec Co., Gyeonggi, Güney Kore), oklüzal kuvvetin değişimini gerçek zamanlı olarak gösteren 2017 yılında üretilen bilgisayarlı oklüzal analiz sistemidir. Sensör filmi poliamiddan yapılmıştır ve 160 µm kalınlığındadır. Cihaz, veri aktarımı için kablosuz ağ (Wi-Fi) aracılığıyla bilgisayara bağlanarak veriler iki boyutlu ve üç boyutlu olarak görüntülenir²² (Resim 4).



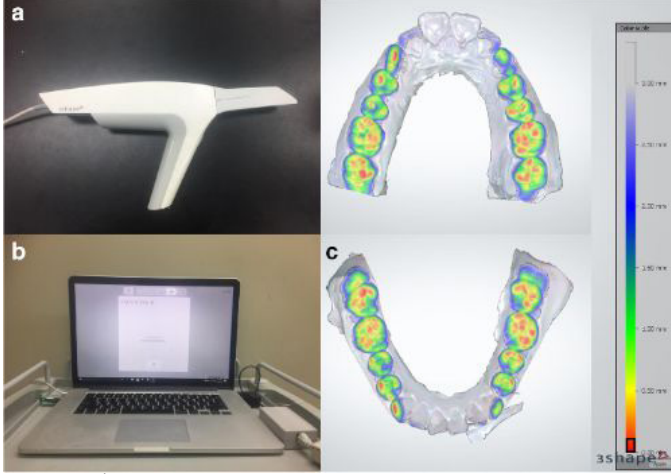
Resim 4. Accura (Dmetec Co., Gyeonggi, Güney Kore) cihazı ve bilgisayar yazılımının görünümü.²³

T-Scan ile güvenilirlik ve tekrar edilebilirliğinin karşılaştırılmasının yapıldığı bir in-vitro çalışmada, Accura ve T-Scan sisteminin güvenilirlik ve tekrarlanabilirlik oranları yüksek çıkmıştır.²³ T-Scan ve Accura sistemlerinin karşılaştırıldığı diğer bir çalışmada ise doğruluk ve hassasiyet açısından iki sistem arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır.²²

Bilgisayar Destekli Tasarım ve Üretim (CAD/CAM)

Dijital tarayıcıların gelişimi, diş hekimliği pratiğinde birçok yeniliği beraberinde getirmektedir. Ağız içi tarayıcı kullanımı ile; ölçü alımı, alçı modellerin üretimi, artikülasyon alma ve artikülasyon kağıdının kalınlığından kaynaklanan oluşabilecek hataların önüne geçilmiş olur. Dijital tarayıcılar ile interoklüzal ilişkiyi kaydetme yöntemleri, direkt yöntem ve indirekt yöntem olarak ikiye ayrılır.¹⁰ Direkt yöntem, hastanın ağız ortamının taranmasıyla dijital görüntülerin elde edildiği, indirekt yöntem ise alçı modellerin ve kapanış kaydı materyalinin taranmasıyla dijital görüntülerin elde edildiği yöntemdir. İndirekt yöntemde tarama işlemi sırasında kapanış materyalinin hareket etme riski vardır, bu nedenle direkt yöntem, herhangi bir kapanış materyaline ihtiyaç duymadan hastanın intraoral olarak oklüzyon analizinde yararlı bilgiler sunduğu için daha çok tercih edilmektedir. Bilgisayar destekli tasarım

için kullanılan birçok cihaz mevcuttur ve bu cihazlar interoklüzal kontakt mesafelerini farklı renklerde gösterebilmektedir (Resim 5). Bilgisayar destekli tasarım cihazlarında temas zamanlamasını gösteren bir seçenek olmadığı için ilk temas anının tespit edilmesi mümkün değildir. Bu cihazlarda oklüzal analiz kaydı yapılırken hastadan maksimum kuvvetle ısırma yapması istenir.^{10,16}



Resim 5. a. Intraoral tarayıcı (Trios, 3Shape Dental Systems, Kopenhag, Danimarka) b. Tarama verilerinin aktarıldığı kişisel bilgisayar. c. Renk kodlu oklüzal harita ve renk skalası.¹⁰

CAD/CAM sistemlerinde kapanış kaydı sırasında herhangi bir materyal ısırılmadığı için spontane kapanış engellenmemesi ve materyal kalınlığına bağlı refleks cevaplar oluşmaması CAD/CAM sistemlerinin avantajlarıdır. Ayrıca kayıt materyalinin olası deformasyon riski de ortadan kalkmış olur.

Oklüzal Analiz Yöntemlerinin Karşılaştırıldığı Çalışmalar

Doğru teşhisi koyabilmek ve uygun tedaviyi uygulayabilmek için oklüzal temasların belirlenmesinde kullanılan yöntemler ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Saraçoğlu ve arkadaşlarının⁵ yaptığı çalışmada günümüzde sıklıkla kullanılan artikülasyon kağıdı, ipek şerit, metalik folyo geleneksel yöntemleri ile T-Scan sisteminin tekrarlayan kullanımlarda oklüzal temasları göstermede hassasiyetlerinin azaldığı ve T-Scan hariç kullanılan materyallerin tükürükten etkilendiğini belirtilerek materyallerin oklüzal temas belirlemek için tek seferlik kullanımını önermişlerdir. Artikülasyon kağıdı ve T-Scan sisteminin karşılaştırıldığı çalışmada; T-Scan sisteminde en yüksek kuvvetin geldiği alanlar ile artikülasyon kağıdı ile en geniş boyanan alanların %38,3'ü eşleşmiştir, artikülasyon kağıdı ile boyanan alanın genişliğinin oklüzal düzenlemeler için güvenilir olmadığı sonucuna varmışlardır.²⁴ Artikülasyon kağıdı ile elde edilen temasların en fazla ve en az olduğu yerleri ile ilgili diş hekimlerinin yorumları ile T-Scan sisteminde elde edilen kuvvet dağılımı verilerinin karşılaştırıldığı çalışmada, oklüzal temasın en fazla ve en az olduğu yerlerin %12,5'i eşleştiği görülmüştür.⁴ Geleneksel ve dijital yöntemlerin karşılaştırıldığı çalışmalarda sonuç olarak kantitatif sonuç veren T-Scan sisteminin kullanımı önerilmiştir.

Koos ve arkadaşlarının¹⁵ T-Scan sisteminin hassasiyeti ve tekrar edilebilirliği ile ilgili yaptıkları çalışmada, iki farklı sensörle 5'er adet oklüzal kayıt alınmıştır. Her kayıtta sensörün 3 kez ısırılması ile elde edilen 30'ar adet çiğneme siklusunun karşılaştırılması sonucunda, sistemin hassasiyetinin yeterli olduğu ve tekrar edilebilir sonuçlar verdiği görülmüştür. T-Scan sistemi, oklüzyon analizi için objektif bir bakış açısı sağlamaktadır ancak diş yüzeyinde teması belirten bir işaret bırakmaması nedeniyle oklüzal düzenlemede pratik olmaması dezavantajına sahiptir.²⁵

CAD/CAM sistemleri günümüz diş hekimliği pratiğinde restorasyonların üretimi için sıklıkla kullanılmaktadır. Oklüzal analiz için CAD/CAM sistemlerinin diğer dijital oklüzal analiz sistemleriyle ve geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığı çalışmalar mevcuttur. Silikon esaslı oklüzal kayıt materyali ile CEREC Omnicam (Dentsply Sirona Dental GmbH, Salzburg, Avusturya) karşılaştırıldığında CEREC Omnicam (Dentsply Sirona Dental GmbH, Salzburg, Avusturya) sisteminin oklüzal analiz için yeterli veri sağladığı görülmüştür.²⁶ Ayuso-Montero ve arkadaşlarının¹⁶ yaptığı benzer çalışmada; silikon esaslı kapanış materyali, T-Scan (Tekscan Inc., Boston, ABD) ve 3Shape Trios (3Shape Dental Systems, Kopenhag, Danimarka) karşılaştırılmıştır. Oklüzal kontaktların belirlenmesinde en doğru ve en güvenilir sonuçlar silikon esaslı kapanış materyali ile elde edilmiştir. Oklüzal kontaktların belirlenmesinde intraoral tarayıcı ile T-Scan sistemi karşılaştırıldığında T-Scan ile daha güvenilir sonuçların elde edildiği görülmüştür.

Dental Prescale sistemi (Fuji Film Corp., Tokyo, Japonya) ve 3Shape Trios (3Shape Dental Systems, Kopenhag, Danimarka) intraoral tarayıcı ile in vitro olarak elde edilen oklüzal kontaktlar karşılaştırıldığında, molar ve premolar bölgesinde piksel yoğunluğu açısından fark bulunamamıştır; anterior bölgede intraoral tarayıcı ile daha fazla sayıda temas elde edildiği görülmüştür.¹⁰ Ekstraoral tarayıcı (Zfx Evolution, Zimmer Biomet Dental, Indiana, ABD) intraoral tarayıcı (Trios, 3Shape Dental Systems, Kopenhag, Danimarka) ve T-Scan (Tekscan Inc., Boston, ABD) sistemlerinin güvenilirliklerinin karşılaştırıldığı çalışmada, 8 µm kalınlığındaki artikülasyon kağıdı kontrol grubu olarak seçilmiştir ve sonuç olarak intraoral tarayıcının en güvenilir sonuçları verdiği görülmüştür.²⁷ Bostancıoğlu ve arkadaşları³ T-Scan (Tekscan Inc., Boston, ABD) ve CEREC Omnicam (Dentsply Sirona Dental GmbH, Salzburg, Avusturya) sistemlerini karşılaştırdıkları çalışmada, iki sistemin de oklüzal analiz için yeterli veri sağladığını ancak T-Scan sisteminin hassasiyetinin daha yüksek olduğu sonucuna varmışlardır.

SONUÇ

Diş hekimliği pratiğinde oklüzal analiz çoğunlukla restorasyonların uyumlandırılması için yapılmaktadır. Ancak

çiğneme sistemi elemanlarının fonksiyonel sağlığı için restoratif tedavilerden önce oklüzal analiz yapılmalıdır. Böylelikle hastanın restorasyon öncesindeki oklüzal temasları kontrol edilerek mevcut dengesiz oklüzal temaslar ya da prematür kontaklar farkedilebilir ve ileride oluşabilecek rahatsızlıkların önüne geçilmiş olur. Doğru bir oklüzal analiz yapabilmek için yoruma dayalı geleneksel yöntemler yerine kantitatif veri sağlayan dijital yöntemlerin kullanımı tercih edilmelidir. Ancak dijital yöntemler, dişler üzerinde oklüzal temasları gösterememesi sebebiyle oklüzal uyumlamada pratik değillerdir. Bu nedenle geleneksel ve dijital yöntemlerin birlikte kullanımı önerilmektedir. Diş hekimliği pratiğinde oklüzal analiz için en sık kullanılan materyal olan artikülasyon kağıdının tekrarlayan kullanımı sonucunda materyalin deformasyonu ve yalancı temas noktaları oluşma riski göz önünde bulundurulmalıdır. Yapılan çalışmalarda oklüzal analiz için kullanılan farklı kalınlıktaki materyallerden ince olanlar ile daha doğru sonuçlar elde edildiği görülmüştür. CAD/CAM sistemleri ile oklüzal analiz yapılırken oklüzal yüzeye bir materyal yerleştirilmemesinden dolayı spontane kapanış engellenmez ancak bu yöntemle yalnızca maksimum ısırma kaydının alınabildiği unutulmamalı ve sistemin diğer eksiklikleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Literatürde geleneksel yöntemlerinin karşılaştırıldığı pek çok çalışma mevcuttur ancak dijital yöntemlerin kendi içerisinde karşılaştırıldığı çalışmalar sınırlı sayıda olup daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Afrashtehfar KI, Qadeer S. Computerized occlusal analysis as an alternative occlusal indicator. *Cranio* 2016; 34: 52-57.
2. Okeson JP. Functional anatomy and biomechanics of the masticatory system. In: Okeson JP, editor. *Management of temporomandibular disorders and occlusion*. 8th ed., St. Louis, Mosby; 2019. p. 2-20.
3. Bostancıoğlu SE, Togay A, Tamam E. Comparison of two different digital occlusal analysis methods. *Clin Oral Investig* 2022; 26: 2095-2109.
4. Kerstein RB, Radke J. Clinician accuracy when subjectively interpreting articulating paper markings. *Cranio* 2014; 32: 13-23.
5. Saraçoğlu A, Özpinar B. In vivo and in vitro evaluation of occlusal indicator sensitivity. *J Prosthet Dent* 2002; 88: 522-526.
6. Toledo MF, Joias RP, Marques-Iasi YS, Neves ACC, Rode SD. Thickness and marking quality of different occlusal contact registration strips. *J Appl Oral Sci* 2014; 22: 516-521.
7. Wang TM, Chang YH, Yang TC, Lin LD. Effect of scan delay on measurements of an occlusal pressure sensitive film: An in-vitro study. *J Dent Sci* 2022; 17: 30-34.
8. Shiga H, Komino M, Uesugi H, Sano M, Yokoyama M, et al. Comparison of two dental prescale systems used for the measurement of occlusal force. *Odontology* 2020; 108: 676-680.
9. Choi YJ, Lim H, Chung CJ, Park KH, Kim KH. Two-year follow-up of changes in bite force and occlusal contact area after intraoral vertical ramus osteotomy with and without Le Fort I osteotomy. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2014; 43: 742-747.
10. Lee H, Cha J, Chun YS, Kim M. Comparison of the occlusal contact area of virtual models and actual models: a comparative in vitro study on Class I and Class II malocclusion models. *BMC Oral Health* 2018; 18: 109.
11. Verma TP, Kumathalli KI, Jain V, Kumar R. Bite force recording devices - A review. *J Clin Diagn Res* 2017; 11: ZE01-ZE05.
12. Maness WL, Benjamin M, Podoloff R, Bobick A, Golden RF. Computerized occlusal analysis: a new technology. *Quintessence Int* 1987; 18: 287-292.
13. Kerstein RB. The evolution of the T-Scan I system from 1984 to the present day T-Scan 10 system. In: Kerstein RB, editor. *Handbook of research on clinical applications of computerized occlusal analysis in dental medicine*. Hershey, PA: IGI Global; 2020. p. 1-54.
14. Anselmi R, Kerstein RB. T-Scan 10 recording dynamics, system features, and clinician user skills required for T-Scan chairside mastery. In: Kerstein RB, editor. *Handbook of research on clinical applications of computerized occlusal analysis in dental medicine*. Hershey, PA: IGI Global; 2020. p. 130-223.
15. Koos B, Godt A, Schille C, Goz G. Precision of an instrumentation-based method of analyzing occlusion and its resulting distribution of forces in the dental arch. *J Orofac Orthop* 2010; 71: 403-410.
16. Ayuso-Montero R, Mariano-Hernandez Y, Khoury-Ribas L, Rovira-Lastra B, Willaert E, et al. Reliability and validity of T-scan and 3D intraoral scanning for measuring the occlusal contact area. *J Prosthodont* 2020; 29: 19-25.
17. Kerstein RB, Thumati P, Padmaja S. Force finishing and centering to balance a removable complete denture prosthesis using the T-scan III computerized occlusal analysis system. *J Indian Prosthodont Soc* 2013; 3: 184-188.
18. Sutter B. Digital occlusion analyzers: A product review of T-Scan 10 and Occlusense. *Adv Dent Tech* 2019; 2: 2-31.
19. Naert I, Duyck J, Vandamme K. Occlusal overload and bone/implant loss. *Clin Oral Implants Res* 2012; 23: 95-107.
20. Redelberger H. The future of occlusion control. *Dent Asia* 2020; 40-41.
21. Feltrin PP, Ricci WA. Occlusal remodeling. In: Piccin HJ, Feltrin PP, Ricci WA, editors. *Logical book: A clinical*

approach to occlusion. Brasil: Napoleão - Quintessence Publishing Brasil; 2020. p. 212-262.

22. Jeong MY, Lim YJ, Kim MJ, Kwon HB. Comparison of two computerized occlusal analysis systems for indicating occlusal contacts. *J Adv Prosthodont* 2020; 12: 49-54.

23. Wonsup L, Ho-Beom K, Myung-Joo K, Young-Jun L. Determination of the reliability and repeatability of a quantitative occlusal analyzer by using a piezoelectric film sensor: An in vitro study. *J Prosthet Dent* 2022; 127: 331-337.

24. Qadeer S, Kerstein R, Kim RJY, Huh JB, Shin SW. Relationship between articulation paper mark size and percentage of force measured with computerized occlusal analysis. *J Adv Prosthodont* 2012; 4: 7-12.

25. Bozhkova T, Musurlieva N, Slavchev D. Comparative study qualitative and quantitative techniques in the study of occlusion. *Biomed Res Int* 2021: 1163874.

26. Abdulateef S, Edher F, Hannam AG, Tobias DL, Wyatt CCL. Clinical accuracy and reproducibility of virtual interocclusal records. *J Prosthet Dent* 2020; 124: 667-673.

27. Fraile C, Ferreira A, Romeo M, Alonso R, Pradies G. Clinical study comparing the accuracy of interocclusal records, digitally obtained by three different devices. *Clin Oral Invest* 2022; 26: 1957-1962.