

Wykorzystanie cyfrowych wskaźników okluzyjnych w celu zwiększenia dokładności okluzyjnej i zmniejszenia powikłań w przypadkach opartych na implantach

Wprowadzenie

Nowoczesna rehabilitacja implantologiczna stała się procesem komputerowym, w którym obrazowanie CBCT, planowanie operacji i oprogramowanie do projektowania uzupełnień protetycznych umożliwiają wdrożenie cyfrowego Workflow (Lerner i in. 2021). Ten workflow nie tylko pomaga lekarzowi w łatwym wykonaniu planowanego implantu, ale także zwiększa przewidywalność i kliniczny sukces osteointegracji. Pomaga również w protokołach natychmiastowego obciążenia wraz z rozwojem biologicznego łączenia powierzchni implantu z przeszczepioną kością i strukturami podtrzymującymi wokół implantu (Adell i wsp. 1981; Albrektsson i wsp. 1986).

Niemniej jednak pod koniec tego cyfrowego procesu wszystkie zamierzone elementy projektu protetycznego nie mogą uwzględniać obciążeń okluzyjnych, które występują podczas funkcjonowania nowo zainstalowanej, stałej protezy wspartej na implancie. Częstość komplikacji w protetyce implantologicznej jest większa niż w przypadku tradycyjnych uzupełnień opartych na zębach (Sailer i in. 2018), co wymaga przestrzegania schematu okluzyjnego w celu zwalczania destrukcyjnych sił okluzyjnych, które często uszkadzają uzupełnienia na implantach.

Stosowane siły okluzyjne są kontrolowane przez mechanorecepcję i propriocepcję miazgi i więzadeł ozębnej (PDL) i są w pewnym stopniu neutralizowane przez struktury przyzębia (Madani i wsp. 2017; Dario 1995). W przeciwieństwie do zębów naturalnych, absorpcja sił żucia poprzez osteopercepcję jest zmniejszona w przypadku protez osadzonych na implantach ze względu na brak więzadła przyzębia (Madani i wsp. 2017; Dario 1995). Podczas gdy zęby mogą poruszać się wierzchołkowo w zębodole o około 50 do 100 μm , ruch wierzchołkowy implantu jest ograniczony do zaledwie 3 do 5 μm (Roque 2017). W związku z tym materiał okluzyjny na koronie wspartej na implancie przenosi całą przyłożoną siłę okluzyjną i może również wpływać na integralność strukturalną zarówno łącznika, jak i korpusu implantu.

Zazwyczaj proteza wsparta na implancie jest dostarczana ze schematem okluzyjnym chroniącym implant (IPO), opracowanym przy użyciu podkładek dystansowych i bardzo cienkiej bibuły artykulacyjnej. Powierzchnia okluzyjna implantu jest teoretycznie odsunięta od przeciwległej powierzchni okluzyjnej o 25 μm , aby zapobiec przeciążeniu siły okluzyjnej podczas zamykania żuchwy o normalnej sile do maksymalnego zaguzkowania (Bozhkova 2016; Chaithanya i in. 2019; Luo i in. 2020).

Pomimo powszechnego przekonania, że IPO zapewnia odpowiednią kontrolę nad siłami okluzyjnymi, powikłania mechaniczne związane z okluzją w protezach osadzonych na implantach pozostają powszechne (Elemek i wsp. 2020; Papaspyridakos i wsp. 2020; Lerner i wsp. 2020; Sailer i wsp. 2018; Shen i wsp. 2018; Pjetursson i wsp. 2018; Drago 2016; Wittneben i wsp. 2014; Fischer i wsp. 2013; Pjetursson i wsp. 2012; Bozini i wsp. 2011; Jemt 2006), ponieważ długoterminowe badania przeżywalności wskazują, że częstość komplikacji mechanicznych w protezach osadzonych na implantach jest większa niż w przypadku naturalnych zębów. (Elemek i in. 2020; Papaspyridakos i in. 2020; Lerner i in. 2020; Sailer i in. 2018; Shen i in. 2018; Pjetursson i in. 2018; Drago 2016; Wittneben i in. 2014; Fischer i in. 2013; Pjetursson i wsp. 2012; Bozini i wsp. 2011; Jemt 2006). Dlatego w porównaniu z protezą opartą na zębie, uzupełnienie implantologiczne wymaga skrupulatnie dostosowanej okluzji, ponieważ proteza osadzona na implancie nie jest sprężysta i elastyczna. (Lerner 2020).

Istnieje wiele znanych rodzajów powikłań związanych z implantami, które wynikają ze zwiększonego przeciążenia okluzyjnego (Adell i wsp. 1981; Albrektsson i wsp. 1986; Esposito i wsp. 1998; Balshi 1996), które mogą podwyższyć poziom płynu w szczelinach okołointplantowych, upośledzając zdrowie tkanki wokół implantu, prowadząc jednocześnie do możliwej resorpcji kości. Do częstych powikłań mechanicznych należą:

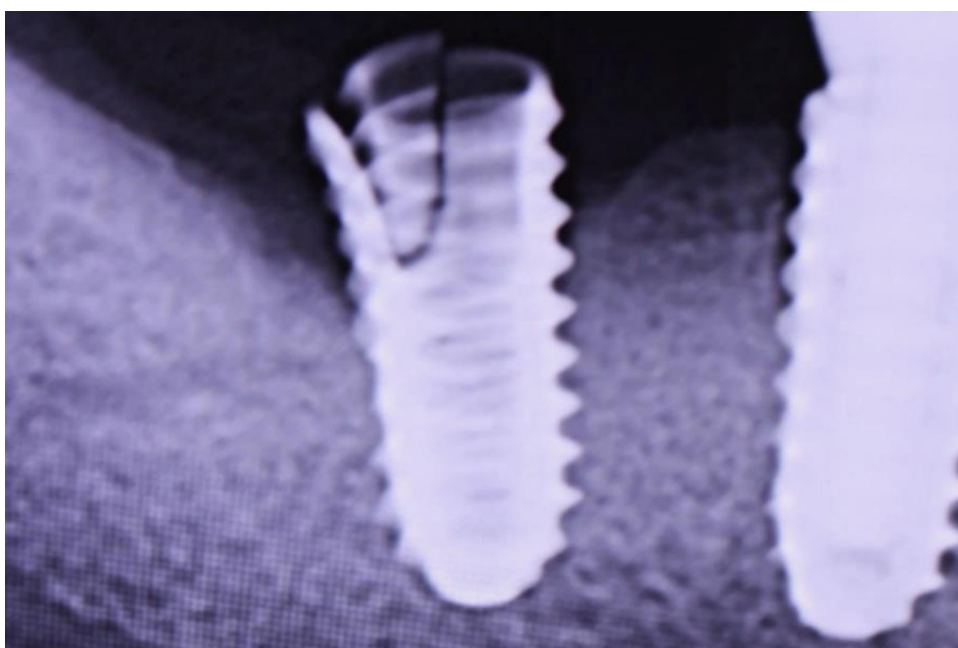
1. Odkręcanie śrub
2. Złamanie śruby
3. Uszkodzenie materiału okluzyjnego (ryc. 1)
4. Złamanie podbudowy protezy (ryc. 2)
5. Pęknięcie/złamanie łącznika
6. Utrata kości wokół implantu
7. Trudna akceptacja przez pacjenta nowej okluzji spowodowana odbudową protetyczną
8. Czasami, w ciężkich przypadkach, sam korpus implantu może pęknąć (ryc. 3)



Ryc. 1: Odpryski porcelany to najczęstsze powikłanie materiałowe implantów. Przedruk z Kerstein RB. Cyfrowa analiza okluzyjna ostatecznych uzupełnień na implantach. W nauce i klinikach stomatologii cyfrowej. Mangano C, Lerner H. Mouhyi, J Luongo G. (red.) 2021; 307-365. Youssef Impressions, Marrakesz, Maroko



Ryc. 2: Pęknięcie podbudowy hybrydowej z oderwaną częścią materiału licującego. Przedruk z Kerstein RB. Cyfrowa analiza okluzyjna ostatecznych uzupełnień na implantach. W nauce i klinikach stomatologii cyfrowej. Mangano C, Lerner H. Mouhyi, J Luongo G. (red.) 2021; 307-365. Youssef Impressions, Marrakesz, Maroko



Ryc. 3: Złamanie trzonu implantu w kształcie litery V prowadzące do powstania dystalnego ubytku kostnego towarzyszącego przemieszczeniu odbudowy protetycznej. Przedruk z Kerstein RB. Cyfrowa analiza okluzyjna ostatecznych uzupełnień na implantach. W nauce i klinikach stomatologii cyfrowej. Mangano C, Lerner H. Mouhyi, J Luongo G. (red.) 2021; 307-365. Youssef Impressions, Marrakesz, Maroko

Głównym czynnikiem przyczyniającym się do powszechnych powikłań mechanicznych związanych z okluzją jest kliniczne zastosowanie analogowych, tradycyjnych wskaźników zgryzowych, takich jak kalka artykulacyjna/folia/paski/podkowy, podkładka dystansowa „przytrzymująca”, wyciski wykonane z wosku do kontroli relacji okluzyjnych, wyciski silikonowe i modele umieszczone w artykulatorze (gipsowe i wirtualne) (Qadeer i Sarinnaphakorn 2020). Badania wykazały, że kalka artykulacyjna nie jest w stanie zmierzyć sił okluzyjnych (Balshi 1996; Qadeer i in. 2012; Saad i in. 2008; Carey i in. 2007; Bozhkova 2020), pozostawiając lekarzowi dostosowanie okluzji poprzez „subiektywną interpretację” punktów okluzyjnych odbitych przy pomocy kalki. Niestety ta metoda sprawdzania kontaktów jest bardzo podatna na błędy i nie zapewnia niezawodnej kontroli poziomów siły (Basson et

al. 2020; Sutter 2017; Kerstein & Radke 2013). Badania wykazały, że opierając się na wizualnym wykrywaniu śladów papieru artykulacyjnego, dentyści wybierają nieprawidłowe kontakty w 87-95% przypadków (Basson i in. 2020; Sutter 2017; Kerstein & Radke 2013).



Ryc. 4: Rozmiar, kształt lub głębokość koloru oznaczeń papierowych nie opisuje dokładnie sił okluzyjnych, co utrudnia implantologowi określenie prawidłowych sił kontaktów zwarciovych do leczenia. Przedrukowano z Lerner, H. Digital Occlusion in the Workflow of Implant Rehabilitations. W Kerstein RB. (wyd.). Podręcznik badań nad zastosowaniami klinicznymi komputerowej analizy okluzyjnej w Stomatologii. Hershey, Pensylwania: IGI Global, 2020; 945-995.

<http://doi:10.4018/978-1-5225-9254-9>

Wykorzystanie cyfrowych wskaźników okluzyjnych w uzupełnieniach protetycznych osadzonych na implantach.

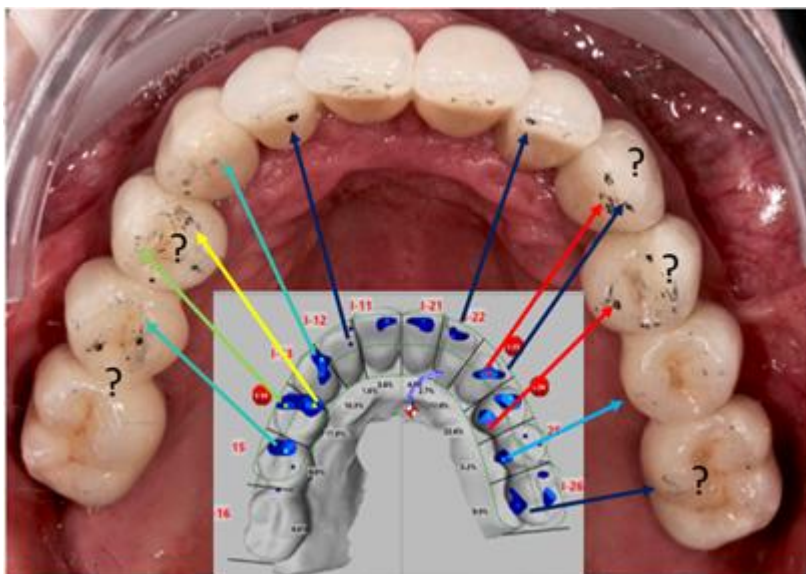
Dodanie skomputeryzowanej analizy okluzji (T-Scan 10 Novus, Tekscan, Inc., Norwood, MA, USA) podczas dostosowywania okluzji w przypadku ostatecznych uzupełnień na implantach lub w przypadku natychmiastowego obciążenia, pomaga zapewnić przewidywalne ocenianie problematycznych obciążeń okluzji podczas jej dostosowywania (Lerner 2020). Te problematyczne obciążenia okluzyjne obejmują przedwczesne kontakty i nadmierne siły kontaktowe, które mogą destabilizować odbudowę. Istnieje kilka cyfrowych narzędzi okluzyjnych, które mogą pomóc w dostosowaniu zgryzu, takich jak Accura (Dmetec Co, Ltd, Seul, Korea Południowa), Occlusense (GmbH Bausch, Niemcy) i T-Scan, przy czym ten ostatni jest najczęściej testowanym klinicznie urządzeniem (Sutter 2019).

Przeprowadzono wiele badań na T-Scan (Qadeer et al. 2020), które zweryfikowały jego dokładność w wykrywaniu problemów okluzyjnych (Koons et al. 2010), jego powtarzalność mierzenia sił (Harty et al. 2006; Koons et al. 2010; da Silva Martins i wsp. 2014; Kerstein i Radke, 2022), określania w czasie (Koons i wsp.

2012) oraz skuteczności klinicznej w wielu obszarach opieki okluzyjnej nad pacjentem (Qadeer i wsp. 2020). Istnieje wiele cyfrowych protokołów okluzji T-Scan w protetyce, implantach dentystycznych, cyfrowym sposobie pracy, TMD, posturologii, ortodoncji, periodontologii, diagnostyce okluzyjnej, stomatologii estetycznej, nadwrażliwości zębów, ortezie żuchwy, korektach okluzyjnych i edukacji pacjenta (Kerstein 2020).

Cyfrowe wskaźniki zgryzowe, takie jak T-Scan, dynamicznie rejestrują i wyświetlają czas okluzji (OT), czas dyskluzji (DT), względny procentowy rozkład siły, intensywność 256 względnych sił okluzyjnych i czas ich trwania oraz kolejność czasową wszystkich kontaktów okluzyjnych, ponieważ każdy z nich występuje między łukami podczas czynnościowych ruchów żuchwy (Kerstein 2020). Takie wskaźniki dostarczają obiektywnych danych do procesu okluzalnego dopasowania odbudowy na implancie, niezależnie od tego, czy przypadek dotyczy pełnej odbudowy stałej całego łuku zębowego, wyjmowanej protezy typu overdenture, segmentowej odbudowy na implancie lub pojedynczą koronę (Aradya i in. 2022; Mangano i in. 2021; Kuder i in. 2017; Ma i in. 2016; Cotruță i in. 2015). Niezależnie od pożądanego przez lekarza schematu okluzyjnego (Implant Protected; Prowadzony siecznie, lub zrównoważony), wskaźnik cyfrowy może ukierunkować kontakty niezbędne do korekty, gdzie wyniki badania okluzji są ilościowo lepsze w porównaniu z wynikami uzyskanymi za pomocą subiektywnie interpretowanych, nie cyfrowych wskaźników okluzyjnych.

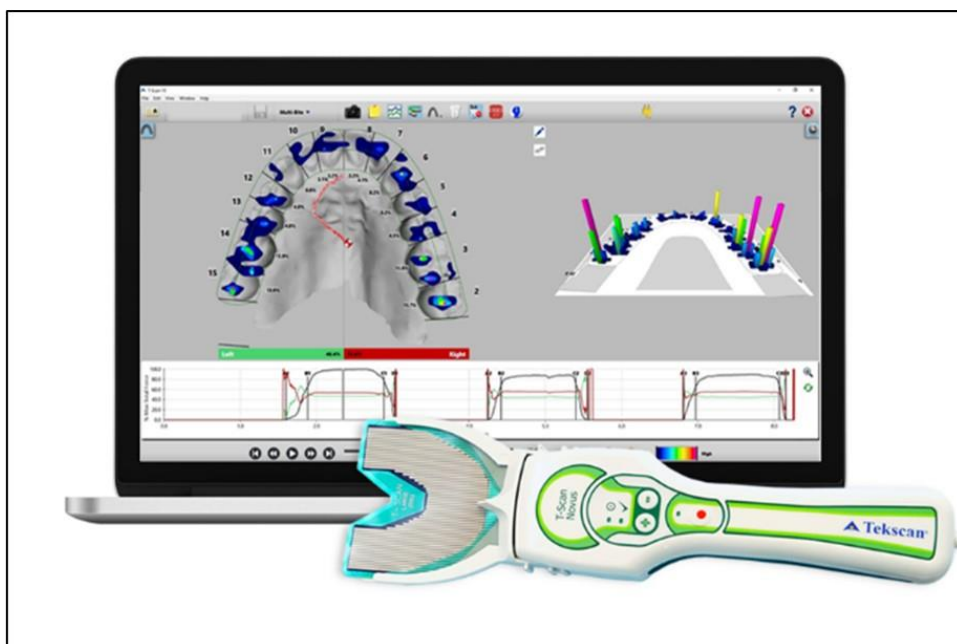
(Ryc. 5) (Qadeer i in. 2020; Andrus i in. 2019).



Rys. 5: T-Scan wskazuje kontakty zwarciove, które należy skorygować z powodu dużych sił. Ciemne ślady artykulacji na koronach implantów #I-12 i I-22 to bardzo małe siły (ciemnoniebieskie dane z T-Scan), podczas gdy jasne małe ślady na mezjalno-podniebiennej implantu #I-14 reprezentują bardzo duże siły (żółte dane ze skanu T). Czerwone dane T-Scan to miejsca, w których występują największe siły. T-Scan wskazuje rzeczywiste poziomy siły w każdym cyfrowym kontakcie, ułatwiając określanie prawidłowych miejsc do korekcji okluzyjnej.

Jak działają cyfrowe wskaźniki okluzyjne?

Dane na temat funkcjonalnej okluzji są rejestrowane wewnątrzustnie za pomocą ultracienkiego elektronicznego czujnika wykonanego na podstawie drukowanej płytki o grubości 100 µm w osłonie z Mylaru, ukształtowanego w kształcie łuku zębowego (czujnik Novus HD, Tekscan Inc. S. Norwood, MA, USA) (Ryc. 6 – 7), który umieszcza się między zębami pacjenta, gdy zwierają się one do maksymalnego zaguzkowania lub wykonują ruchy boczne. Czujnik HD znajduje się w rękojeści rejestrującej Novus, która łączy się ze stacją roboczą komputera przez interfejs USB i przesyła strumień cyfrowych informacji o kontaktach okluzyjnych do oprogramowania w celu przedstawienia wyników przeprowadzonych badań urządzeniem T-Scan 10.

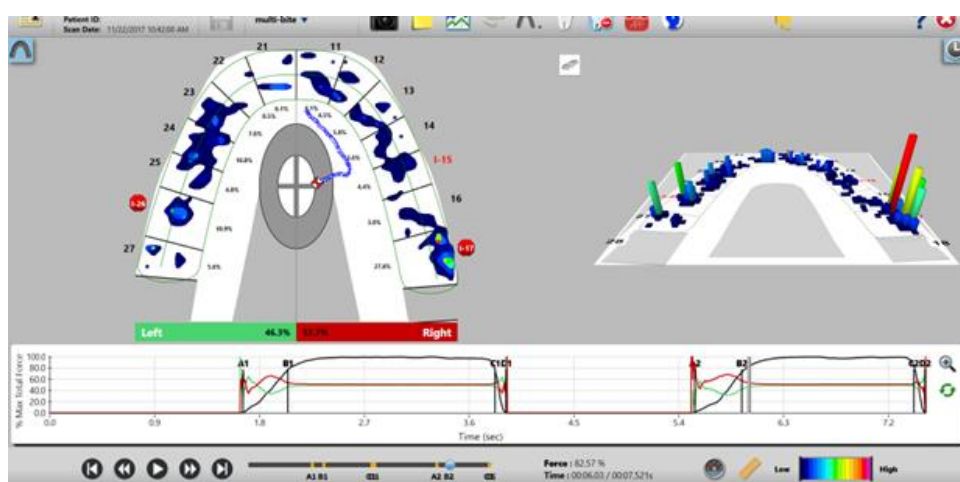


Ryc. 6: Rękojeść T-Scan 10 System Novus i pulpit z dwuwymiarowym cyfrowym skanem łuku, na który nałożone są dane siły oznaczone kolorami T-Scan, które odpowiadają trójwymiarowym, oznaczonym kolorami kolumnowym danym siły. Przedruk z Kerstein RB. Cyfrowa analiza okluzyjna ostatecznych uzupełnień na implantach. W nauce i klinikach stomatologii cyfrowej. Mangano C, Lerner H. Mouhyi, J Luongo G. (red.) 2021; 307-365. Youssef Impressions, Marrakesz, Maroko



Ryc. 7: Czujnik T-Scan High Definition (HD) umieszczony między łukami zębowymi. Przedruk z Kerstein RB. Cyfrowa analiza okluzyjna ostatecznych uzupełnień na implantach. W nauce i klinikach stomatologii cyfrowej. Mangano C, Lerner H. Mouhyi, J Luongo G. (red.) 2021; 307-365. Youssef Impressions, Marrakesz, Maroko.

Kiedy pacjent zagryza czujnik HD, przeciwstawne zęby stykają się, co powoduje ściśnięcie razem górnej i dolnej powierzchni czujnika, co powoduje zmianę rezystancji elektrycznej w każdym ze ściśniętych mierników siły o powierzchni 1 mm² (czujniki zawierają od 1500 -2200 punktów mierzących siły). Te zmiany rezystancji są następnie mierzone przez hardware T-Scan jako zmiana cyfrowego napięcia wyjściowego (DO). Gdy przyłożona siła nacisku jest większa, powoduje to większe zmiany oporu, a mniejsza siła nacisku powoduje mniejsze zmiany oporu. Mapa w oprogramowaniu T-Scan 10 odbiera strumień zmieniających się wartości napięcia wyjściowego cyfrowego sensela (z rękojeści) i organizuje je w tej samej orientacji, jaką mają czujniki w matrycy czujników. Te wywołane kontaktem zmiany napięcia są przedstawiane na wielokolorowym, dwu- i trójwymiarowym, dynamicznym wyświetlaczu graficznym (ryc. 8a) (Kerstein 2020).



Ryc. 8a: Na implantach #17 i #26 wykryto 2 obszary nadmiernej siły okluzyjnej. Wyświetlane kolorowe strefy siły (czerwony – duża siła; pomarańczowy – umiarkowanie duża siła; jasnożółty i zielony – umiarkowana siła; ciemnoniebieski – mała siła) wskazują różne siły okluzyjne. Przeciążone korony implantów #1-17 i I-26 uruchomiły ostrzeżenia dotyczące implantu (czerwone znaki stop) i obie wymagają korekty siły okluzyjnej, aby zminimalizować przyszłe uszkodzenia. Centrum trajektorii siły (COF) (niebieski zwiastun do czerwono-białej ikony rombu) kieruje się

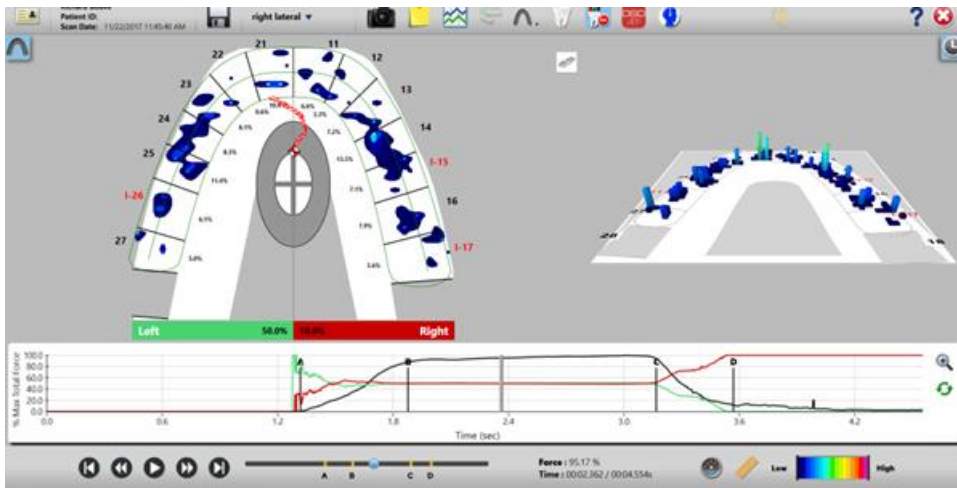
w stronę #I-17 przed zawróceniem w lewo, ponieważ siły #I-17 rosną szybciej i intensywniej niż przeciążona lewa #I-26

Cyfrowy system wskaźników wykrywa, czy siła zgryzu działająca na jeden zestaw stykających się przeciwstawnych zębów lub implantów jest większa, równa lub mniejsza niż siły zgryzu występujące na innych stykających się zębach w łukach zębowych. Pomaga to implantologowi w diagnozowaniu nadmiernie wysokich natężeń sił okluzyjnych, jednocześnie diagnozując, gdzie siła okluzyjna jest niewielka, umiarkowana, niska lub nie występuje w innych obszarach tej samej okluzji (Kerstein 2020). Określenie, gdzie nadmierne siły względne koncentrują się na implantach protetycznych, może dokładnie zdiagnozować ich położenie w celu precyzyjnie ukierunkowanych, wspomaganych komputerowo korekt okluzyjnych opartych na czasie i sile zmierzonych za pomocą urządzenia T-scan 10.

Przykład tego wspomaganego komputerowo badania sił występujących przy maksymalnym zaguzkowaniu, które wskazuje lepszą równowagę sił okluzyjnych u pacjenta z 3 izolowanymi pojedynczymi koronami na implantach, można zobaczyć na rycinach 8a i b. Implant drugiego zęba trzonowego szczęki #I-17 utrzymuje nadmierne i intensywne siły kontaktowe (32,7% całego zgryzu), które uruchamiają ostrzeżenie o przeciążeniu implantu (czerwony znak stop), jednocześnie powodując znaczny dyskomfort zgryzu u pacjenta, ponieważ ta korona była pierwotnie umieszczona 2 lata wcześniej. Nadmierna siła okluzyjna została również wykryta na implancie #I-26, uruchamiając kolejne ostrzeżenie o przeciążeniu implantu. Wykorzystując technologię T-Scan do ukierunkowania tych 2 przeciążonych koron implantów za pomocą komputerowych pomiarów okluzyjnych, uzyskano równowagę okluzyjną o szerokim zasięgu i niskiej sile, która nie wywołała żadnych ostrzeżeń dotyczących implantów (ryc. 8b). Następnie, po korekcie zwarcia i równowagi, zoptymalizowano ruchy ekskursywne boczne i protruzyjne.

Ograniczenia cyfrowych wskaźników okluzyjnych

Cyfrowe wskaźniki okluzyjne mogą wydłużyć czas przebywania pacjenta w gabinecie podczas wykonywania komputerowego leczenia okluzyjnego, ponieważ wymagają od lekarza spełnienia kryteriów wysokiej tolerancji okluzyjnej, aby w sposób wymierny ustalić wynik o niskich siłach i równowadze. (ryc. 8b). Ponadto czujniki cyfrowe nie zaznaczają styków okluzyjnych, co oznacza, że nadal potrzebna jest kalka artykulacyjna, a jedynie do „zaznaczania” kontaktów. Ich wygląd nie jest „oceniany subiektywnie” pod kątem postrzeganej siły, ponieważ dane wskaźnika cyfrowego dotyczą określonych styków w celu dostosowania. Kolejnym ograniczeniem jest to, że wskaźniki te nie mierzą siły bezwzględnej w miejscach projektowania (Kerstein 2020). Wreszcie, od lekarzy wymagana jest określona krzywa uczenia się (obejmująca szkolenie dydaktyczne i kliniczne), aby rozwinąć umiejętności niezbędne do optymalnej diagnostyki i leczenia wspomaganego komputerowo (Afrashtehfar i Qadeer, 2016).



Ryc. 8b: Usunięto nadmiar siły okluzyjnej z implantów #I-17 i I-26, aby uzyskać jedynie rozproszone niskie siły okluzyjne (niebieskie/jasnoniebieskie krótkie kolumny). Po kierowanych komputerowo ukierunkowanych korektach okluzyjnych, siły z prawej strony do lewej strony były bardzo zrównoważone, z ikoną COF (Center Of occlusal Force) spoczywającą w środku łuku (prawa = 50,0%; lewa = 50,0%)

Zalety cyfrowych wskaźników okluzyjnych

Zalety dla lekarzy

Stosowanie tej technologii ma wiele zalet klinicznych dla lekarzy w porównaniu z tradycyjnymi wskaźnikami okluzyjnymi (Qadeer, 2020), w tym:

- Wymierne sekwencjonowanie w czasie i mapowanie siły pomaga w diagnostyce i leczeniu
- Precyzyjne, ukierunkowane korekty okluzyjne wykonane na podstawie obiektywnych, metrycznych danych
- Zwiększona dokładność i wyniki kliniczne podczas wykonywania korekt okluzyjnych
- Oszczędności kosztów związane z mniejszą liczbą uszkodzeń materiałów i protez

Korzyści dla pacjentów

T-Scan ma również szereg zalet dla pacjentów (Qadeer 2020), które obejmują również:

- Pomoc wizualna zapewniająca kompleksowy wgląd i zrozumienie stanu zgryzu pacjenta
- Minimalnie inwazyjne leczenie, ponieważ pomiary okluzyjne zastępują skompromitowaną metodę subiektywnego oznaczenia za pomocą tradycyjnych wskaźników
- Lepsze wyniki okluzyjne protezy z mniejszą liczbą następstw przeciążenia
- Zmniejszona liczba wizyt kontrolnych potrzebnych do adaptacji okluzyjnej

Wnioski

Szkodliwych konsekwencji wyboru niewłaściwych kontaktów do ustawiania zgryzu jest potencjalnie wiele, ponieważ niewykryte kontakty o dużej sile pozostają na miejscu i ostatecznie powodują cykliczne przeciążenie uzupełnień implantologicznych, podczas gdy prawidłowe niewykryte kontakty o małej sile mogą zostać przypadkowo skorygowane. Subiektywność wyboru kontaktu z pewnością odgrywa decydującą rolę w wysokim odsetkiem powikłań związanych z okluzją i materiałem, z którego wykonany

jest implant. Jest to główny powód, dla którego instalowanie protez na implantach z obiektywnymi danymi na temat siły i czasu w technologii cyfrowych wskaźników okluzyjnych, takich jak T-Scan, pomaga zarówno w długoterminowej trwałości materiału składowego implantu, jak i biomechanicznym zdrowiu wokół implantu.

Ujawnienie

Dr Robert Kerstein jest konsultantem klinicznym Tekscan Inc., Norwood MA, USA. Nie otrzymuje wynagrodzenia za sprzedaż jakichkolwiek produktów Tekscan

Autor

Robert B. Kerstein



Dr Kerstein, DMD, ukończył protetykę stomatologiczną na Tufts University School of Dental Medicine, gdzie również uzyskał tytuł D.M.D. W latach 1985-1998 był aktywnym pracownikiem Tufts jako profesor kliniczny nauczający usuplenień stałych i ruchomych na Wydziale Stomatologii Zachowawczej. Zaczął publikować informacje o oryginalnej technologii T-Scan I i od tego czasu opublikował wiele artykułów naukowych na temat T-Scan II, T-Scan III, T-Scan VII, T-Scan 8, T-Scan 9 oraz współczesna wersja, technologia T-Scan 10.

Bibliografia

Adell R, Lekholm U, Rockler B, Branemark PI. A 15-year study of osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. *Int J Oral Surg*. 1981;10:387-416.

Afrashtehfar KI, Qadeer S. Computerized occlusal analysis as an alternative occlusal indicator. *Jour Craniomandibular Sleep Pract*. 2016;34:52-7

Albrektsson T, Zarb G, Worthington P, Eriksson AR. The long-term efficacy of currently used dental implants: a review and proposed criteria of success. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 1986;1:11-25

Andrus R, Quian F, Weir D, Schneider R, Huber L, Kerstein RB. Comparison of results of traditional occlusal adjustment technique w/ computer-aided occlusal adjustment technique. *Advanced Technologies and Techniques*, 2019;1(2):43-53.

Aradya A, Nagarajagowda RS, Basavaraju RM, Srinivas S, Kumararama SS. Influence of T-Scan System on Occlusion Correction of Implant Supported Protheses: A Systematic Review. *Jour Contemp Dent Pract* 2022; 23(1):105-117.

Balshi TJ. An analysis and management of fractured implants: a clinical report. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 1996;11:660-666.

Basson E, Kerstein RB, Radke J. Ability to Correctly Select High Force Occlusal Contacts from Articulating Paper Markings. *Adv Dent Tech*. 2020;2(1):101-10.

Bozhkova TP. Comparative study of occlusal contact marking indicators. *Folia Med (Plovdiv)* 2020;62(1):180-4. doi: 10.3897/folmed.62.e48018.

Bozhkova TP. The T-SCAN System in Evaluating Occlusal Contacts. *Folia Med (Plovdiv)*. 2016;58:122-130.

Bozini T, Petridis H, Garefis K, Garefis P. A meta-analysis of prosthodontic complication rates of implant-supported fixed dental prostheses in edentulous patients after an observation period of at least 5 years. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2011;26(2):304-18

Carey JP, Craig M, Kerstein RB, Radke J. Determining a relationship between applied occlusal load and articulating paper mark area. *The Open Dentistry Journal*. 2007;1:1-7.

Chaithanya R, Sajjan S, Raju AVR. A study of change in occlusal contacts and force dynamics after fixed prosthetic treatment and after equilibration – Using Tekscan III. *J Indian Prosthodont Soc*. 2019;19:9-19.

Cotruță AM, Mihăescu CS, Tănăsescu LA, et al. Analyzing the morphology and intensity of occlusal contacts in implant-prosthetic restorations using T-Scan system. *Rom Jour Morphol Embryol* 2015;56(1):277–281.

Dario LJ. How occlusal forces change in implant patients: a clinical research report. *J Am Dent Assoc*. 1995;126:1130-1133.

da Silva Martins MJ, Caramelo FJ, Ramalho da Fonseca JA, Gomes Nicolau PM. In vitro study on the sensibility and reproducibility of the new T-Scan® III HD system. *Revista Portuguesa de Estomatologia, Medicina Dentária e Cirurgia Maxilofacial*. 2014;55:14-22. doi:10.1016/j.rpemd.2014.01.001

Drago C. Frequency and type of prosthetic complications associated with interim, immediately loaded full-arch prostheses: A 2-year retrospective chart review. *J Prosthodont* 2016;25(6):433-9. doi: 10.1111/jopr.12343. Epub 2015 Sep 15.

Elemek E, Agrali OB, Kuru B, Kuru L. Peri-implantitis and Severity Level. *Eur J Dent* 2020;14(1):24-30. doi: 10.1055/s-0040-1701162. Epub 2020 Mar 13. PMID: 32168529 PMCID:

Esposito M, Hirsch JM, Lekholm U, et al. Biological factors contributing to failures of osseointegrated oral implants. *Eur J Oral Sci*. 1998;106:721-764.

Fischer K, Stenberg T. Prospective 10-year cohort study based on a randomized, controlled trial (RCT) on implant-supported full-arch maxillary prostheses. Part II: prosthetic outcomes and maintenance. *Clin Implant Dent Related Res* 2013;15:498-508

Jemt T, Johansson J. Implant treatment in the edentulous maxillae: a 15-year follow-up study on 76 consecutive patients provided with fixed prostheses. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2006;8(2):61-9. doi: 10.1111/j.1708-8208.2006.00003.x. PMID: 16774591

Kerstein RB, Radke J. Clinician accuracy when subjectively interpreting articulating paper markings. *Jour Craniomandibular Sleep Pract*. 2013;32(1):13-23.

Kerstein RB, Radke J. In-vitro consistency testing of the T-Scan 10 relative force measurement system. *Advanced Dental Technologies & Techniques*. 2022;4(2):47-58. Epub

Kerstein RB. *Handbook of Research on Clinical Applications of Computerized Occlusal Analysis in Dental Medicine*. Hershey, PA: IGI Global, 2020. Pp. 1-1550. <http://doi:10.4018/978-1-5225-9254-9>

- Kerstein RB. Digital occlusal analysis of the final implant restorations. In *Digital Dentistry Science & Clinics*. Mangano C, Lerner H, Mouhyi, J Luongo G. (Eds.). Youssef Impressions, Marrakesh, Morocco 2021; Pp. 307-365.
- Khuder T, Yunus N, Sulaiman E, et al. Association between occlusal force distribution in implant overdenture prostheses and residual ridge resorption. *Jour Oral Rehabil*. 2017;44(5):398–404.
- Koos B, Holler J, Schille C, & Godt A. Time-dependent analysis and representation of force distribution and occlusion contact in the masticatory cycle. *Journal of Orofacial Orthopedics*. 2012;73:204-14.
- Koos B, Holler J, Schille C, & Goz G. Precision of an instrumentation-based method of analyzing occlusion and its resulting distribution of forces in the dental arch. *Journal of Orofacial Orthopedics*. 2010;71:403-10.
- Lee W, Kwon HB, Kim MJ, & Lim YJ. Determination of the reliability and repeatability of a quantitative occlusal analyzer by using a piezoelectric film sensor: An in vitro study. *Jour of Prosthetic Dentistry*. 2022;127(2):331-337. doi: 10.1016/j.prosdent.2020.07.024. Epub 2020 Nov 26.
- Lerner H, Hauschild U, Sader R, Ghanaati S. Complete arch fixed reconstruction by means of guided surgery and immediate loading: a retrospective clinical study on 12 patients with 1 year follow up. *BMC Oral Health*. 2020;20:15 <https://doi.org/10.1186/s12903-019-0941-z>
- Lerner, H. Digital Occlusion in the Workflow of Implant Rehabilitations. In Kerstein RB. (Ed). *Handbook of Research on Clinical Applications of Computerized Occlusal Analysis in Dental Medicine*. Hershey, PA: IGI Global, 2020; 945-995. <http://doi:10.4018/978-1-5225-9254-9>
- Lowe, M., Harty, M., Kerstein, R.B., Radke, J A Force reproduction analysis of two recording sensors of a computerized occlusal analysis system. *Jour Craniomandibular Practice*. 2006;24(1):15-24.
- Luo Q, Ding Q, Zhang L, Xie Q. Analyzing the occlusion variation of single posterior implant-supported fixed prostheses by using the T-Scan system: A prospective 3-year follow-up study. *J Prosthet Dent*. 2020;123:79-84.
- Ma FF, Lin Y, Di P, et al. All-on-4 occlusion study: using T-Scan III occlusal analysis system. *Chin Jour Stomatol* 2016;51(9):517–520.
- Madani AS, Nakhaei M, Alami M, Hagh HR, Moazzami SM. Post-insertion Posterior Single-implant Occlusion Changes at Different Intervals: A T-Scan Computerized Occlusal Analysis. *J Contemp Dent Pract*.2017;18:927-932.
- [Papaspyridakos P](#), [Barizan Bordin T](#), [Kim YJ](#), [El-Rafie K](#), [Pagni SE](#), [Natto ZS](#), [Teixeira ER](#), [Chochlidakis K](#), [Weber HP](#). Technical complications and prosthesis survival rates with implant-supported fixed complete dental prostheses: A retrospective study with 1- to 12-year follow-up. *J Prosthodont* 2020;29(1):3-11. doi: 10.1111/jopr.13119. Epub 2019 Nov 21.
- Pjetursson BE, Thoma D, Jung R, Zwahlen M, Zembic A et al. A systematic review of the survival and complication rates of implant-supported fixed dental prostheses (FDPs) after a mean observation period of at least 5 years. *Clin Oral Implants Res*. 2012;23 Suppl 6:22-38. doi: 10.1111/j.1600-0501.2012.02546.x.
- Pjetursson BE, Valente NA, Strasding M, Zwahlen M, Liu S, Sailer I, Pjetursson BE, et al. A systematic review of the survival and complication rates of zirconia-ceramic and metal-ceramic single crowns. *Clin Oral Implants Res*. 2018;29 Suppl 16:199-214. doi: 10.1111/clr.13306. PMID: 30328190
- Qadeer S, Kerstein RB, Yung Kim RJ, Huh JB, Shin SW. Relationship between articulation paper mark size and percentage of force measured with computerized occlusal analysis. *Journal of Advanced Prosthodontics*, 2012;4:1-6.

Qadeer S, Özcan M, Edelhoff D, Van Pelt H. Accuracy, reliability and clinical implications of static compared to quantifiable occlusal indicators. *Eur J Prosthodont and Restor Dent*. 2020;28:1-1235.

Qadeer S, Sarinnaphakorn L. Comparing the force and timing limitations of traditional non digital occlusal indicators to the T-Scan computerized occlusal analysis technology. In Kerstein RB. (Ed). *Handbook of Research on Clinical Applications of Computerized Occlusal Analysis in Dental Medicine*. Hershey, PA: IGI Global, 2020; Pp. 55-99. <http://doi:10.4018/978-1-5225-9254-9>

Roque MA, Gallucci GO, Lee SJ. Occlusal Pressure Redistribution with Single Implant Restorations. *J Prosthodont*. 2017;26:275-279.

Saad MN, Weiner G, Ehrenberg D, Weiner S. Effect of load and indicator type upon occlusal contact markings. *Journal of Biomedical Materials Research, Part B, Applied Biomaterials*, 2008;85(1):18-22.

Sailer I, [Strasding M](#), [Valente NA](#), [Zwahlen M](#), [Liu S](#), [Pjetursson BE](#). A Systematic Review of the Survival and Complication Rates of Zirconia-Ceramic and Metal-Ceramic Multiple-Unit Fixed Dental Prostheses. *Clin Oral Implants Res Actions*. 2018;29 (Suppl 16):184-198. doi: 10.1111/clr.13277

Shen HD, Di P, Li JH, Luo J, Zhang Y, Lin Y. Complications of implant-supported full-arch immediate prosthesis: a retrospective analysis of 114 cases. *Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi*. 2018 5;(4):236-242. doi: 10.3760/cma.j.issn.1002-0098.2018.04.005.

Sutter, B.A. (2017) A digital poll of dentists testing the accuracy of paper mark subjective interpretation. *CRANIO*. 2017;36(6): 96-403. doi: 10.1080/08869634.2017.1362786.

Sutter, B.A. Digital Occlusion Analyzers: A product review of T-Scan 10 and Occlusense. *Advanced Dental Technologies & Techniques* 2019;2(1):1-31.

Wittneben JG, Buser D, Salvi GE, Bürgin W, Hicklin S, Brägger U. Complication and failure rates with implant-supported fixed dental prostheses and single crowns: a 10-year retrospective study. *Clin Implant Dent Related Res*, 2014;16(3):356-64. doi: 10.1111/cid.12066. Epub 2013 Apr 2.