

# Techniki cyfrowego odwzorowania kształtu opracowanych zębów za pomocą skanerów wewnątrzustnych

## Digital techniques of mapping the shape of teeth prepared with use of intra-oral scanners

*Marta Borys<sup>1</sup>, Anna Szyszkowska<sup>2</sup>, Beata Dejak<sup>3</sup>*

<sup>1,3</sup>Z Zakładu Protetyki Stomatologicznej Uniwersytetu Medycznego w Łodzi

Kierownik: dr hab. n. med. B. Dejak

<sup>2</sup>Z Poradni Protetyki Stomatologicznej w Wielospecjalistycznej Przychodni Stomatologicznej w Łodzi

Kierownik: lek. stom. A. Teodorczuk

---

### HASŁA INDEKSOWE:

wyciski cyfrowe, skanery wewnątrzustne, iTero, Cerec AC, Lava C.O.S., E4D Dentist

---

---

### KEY WORDS:

digital impressions, intraoral scanners, iTero, Cerec AC, Lava C.O.S., E4D Dentist

---

### *Streszczenie*

*Pierwszym etapem wykonania uzupełnień protetycznych w systemach CAD/CAM jest skanowanie opracowanych zębów na modelach gipsowych lub w jamie ustnej. W niniejszym artykule omówiono cztery systemy umożliwiające komputerowe odwzorowanie kształtu opracowanego zęba za pomocą skanerów wewnątrzustnych: CEREC Acquisition Center AC (Sirona Dental), E4D Dentis (D4D Technologies), iTero (Cadent) oraz Lava Chairside Oral Scanner C.O.S. (3M ESPE). Opisano technikę skanowania i pozyskiwania obrazów oraz przesyłania uzyskanych danych do laboratorium.*

### *Summary*

*The first step in manufacturing prosthetic restorations in the CAD / CAM system is scanning of the prepared tooth either on its plaster model or directly inside the mouth. This article covers four systems, which enable computer mapping of the shape of the prepared tooth using intra-oral scanners: CEREC Acquisition Center, AC (Sirona Dental), E4D Dentist (D4D Technologies), iTero (Cadent) and the Lava Chairside Oral Scanner COS (3M ESPE). Particular stages of the scanning process, various techniques of image acquisition and transmission of the obtained data to the laboratory are described.*

---

## Wprowadzenie

W stomatologii od wielu lat wykorzystywane są skanery kontaktowe, optyczne i laserowe wchodzące w skład systemów CAD/CAM. Większość z nich jest używana do skanowania modeli w pracowniach protetycznych. W ciągu ostatnich lat cyfrowe techniki obrazowania bardzo się rozwinęły, co umożliwiło stworzenie nowych systemów, zdolnych do

rejestrowania trójwymiarowych obrazów opracowanych zębów w jamie ustnej pacjenta. Do tej pory na świecie pojawiło się 10 urządzeń służących do skanowania wewnątrzustnego: Cerec (Sirona Dental), iTero (Cadent), E4D (D4D Technologies), Lava C.O.S. (3M ESPE), IOS FastScan (IOS Technologies), Densys 3D (Densys LTD), DPI-3D (Dimensional Photonics International, INC), 3D Progress (MHT S.p.A., MHT Optic Research AG),



Ryc. 1. Zdjęcia urządzeń omawianych w artykule: a) Cerec AC, b) E4D Dentist, c) iTero, d) Lava C.O.S. (Firma Sirona Dental, D4D Technologies, Cadent, 3M ESPE).

DirectScan (HINT – ELS GMBH), Trios (3SHAPE A/S). Tylko niektóre z nich zostały wprowadzone do gabinetów stomatologicznych, pozostałe są jeszcze w trakcie testów klinicznych. W przyszłości cyfrowe wyciski optyczne („wyciski wirtualne”) mogą wyeliminować konieczność pobierania tradycyjnych wycisków (1).

Obecnie systemy CAD/CAM ze skanerami wewnątrzustnymi możemy podzielić na dwie grupy. Pierwsza to kompletne systemy CAD/CAM, które umożliwiają lekarzowi dentyście zeskanowanie opracowanego zęba, zaprojektowanie oraz wykonanie przyszłego uzupełnienia bezpośrednio w gabinecie stomatologicznym, podczas jednej wizyty. Do tej grupy należą: CEREC Acquisition Center AC (Sirona Dental) oraz E4D Dentist (D4D Technologies). Druga grupa systemów jest skoncentrowana na skanowaniu oszlifowanego zęba, a następnie przesyłaniu otrzymanych danych, za pośrednictwem internetu, do pracowni protetycznej w celu dalszej obróbki. Do tych systemów zaliczamy: iTero (Cadent), Lava Chairside Oral Scanner C.O.S. (3M ESPE) (2, 3, 4, 5, 6). W 2008 roku również firma Sirona Dental, za pośrednictwem portalu internetowego Cerec Connect umożliwiła przesyłanie wcześniej zeskanowanych danych, cyfrowym łączem do laboratorium protetycznego, celem wykonania uzupełnienia stałego (5, 7, 8). W przyszłości także firma D4D Technologies ma ułatwić sposób komunikowania się z laboratorium protetycznym dzięki E4D Sky Network (5, 6).

### System Cerec AC

System Cerec, będący skrótem od CERamic REConstruction, został stworzony przez prof. Mörmann'a i dr Brandetini w 1980 roku na Uniwersytecie w Zurychu w Szwajcarii (9, 10, 11, 12, 13). System Cerec od tego czasu przeszedł długą drogę ewolucyjną w zakresie oprogramowania i wyposażenia technologicznego. W styczniu 2009 roku pojawiła się najnowsza wersja – system Cerec AC, który został wyposażony w nową kamerę i oprogramowanie. System ten jest zintegrowany w postaci przenośnego unitu (ryc. 1a), w którego skład wchodzi kamera skanująca, komputer z monitorem i odpowiednim oprogramowaniem oraz frezarka.

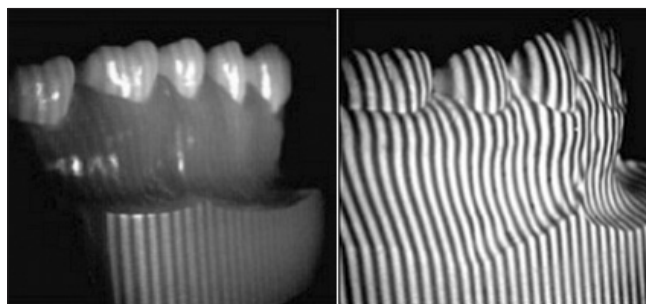
Cerec AC dzięki zastosowaniu kamery Cerec Bluecam (ryc. 2), daje możliwość pobrania „wycisku optycznego” opracowanych zębów wraz z otaczającymi tkankami wewnątrz jamy ustnej (9, 12, 13). System Cerec AC wykorzystuje źródło diodowe światła niebieskiego o długości fali 420 nm w przeciwieństwie do poprzednich wersji systemu Cerec, w których zostało użyto czerwone światło lasera (820 nm) (7, 9, 14, 15). Zastosowanie diody LED (*light-emitting diode*), emitującej światło niebieskie o krótszej długości fali, w połączeniu z wbudowanym systemem przeciwwstrząsowym poprawiło precyzję pomiarów, w porównaniu z referencyjnym, laserowym skanerem (16). Pozwoliło to na uzyskanie obrazu optycznego o dokładności do 19  $\mu\text{m}$  (7, 17).

Tworzenie obrazu Cerec AC oparte jest na kon-



Ryc. 2. Kamera skanująca Cerec AC. (Firma Sirona Dental).

cepcji triangulacji („active triangulation technique”), w której przecięcie trzech wiązek światła określa położenie danego (skanowanego) punktu w wymiarze 3D (18, 19, 20). W metodzie triangulacyjnej analizowane są położenie i kąt pomiędzy wiązką światła padającą na obiekt i odbitą od niego (21, 22). Metoda ta cechuje się dużą szybkością digitalizacji i jest wykorzystywana w wielu przemysłowych urządzeniach. Natomiast na dokładność skanów mogą ujemnie wpływać powierzchnie, które nieregularnie rozpraszają światło i nierównomiernie je odbijają (powierzchnie wygięte, zakrzywione) (2, 18, 20). W celu wyeliminowania odbłasków świetlnych i zapewnienia odpowiedniego poziomu kontrastu zwłaszcza w okolicy przyszyjkowej, obszar preparacji pokrywa się warstwą matowego proszku (dwutlenku tytanu) (ryc. 3) (18,



Ryc. 3. Różnica w jakości zeskanowanych obrazów, z zastosowaniem matowego proszku (fot. po lewej) i bez niego (po prawej) (Henkel GL: A comparison of fixed prostheses generated from conventional vs digitally scanned dental impressions).

20, 23). Warstwa ta nie może być zbyt gruba, aby zapewnić łatwe odwzorowanie i późniejszą adaptację brzeżną uzupełnienia. Zasadniczą rolę odgrywa również kąt ustawienia kamery (głowicy skanującej), który musi pokrywać się z torem wprowadzenia uzupełnienia (9, 12, 13). W systemie Cerec AC, nie jest konieczne skanowanie obrazu pod różnymi kątami, tak jak ma to miejsce w przypadku systemów Lava C.O.S., iTero. Wystarczy jedna pozycja kamery, aby pozyskać konieczne dane (15). Kamery CEREC Bluecam można umieścić bezpośrednio na zębie korzystając ze wspornika lub wykonywać zdjęcia zostawiając niewielki odstęp od powierzchni (odległość ogniskowa 14 mm). Kiedy kamera znajduje się w spoczynku, system automatycznie rozpoznaje optymalny moment rejestracji (7, 24).

Światło odbite od powierzchni zęba jest rejestrowane przez przetwornik optoelektroniczny (kamerę CCD czyli kamerę Cerec Bluecam), które następnie przez mikroprocesor jest zamieniane w trójwymiarowy obraz na ekranie monitora. Poszczególne obrazy łączy się ze sobą, uzyskując wirtualny obraz pełnych kwadrantów (25). Skanuje się powierzchnie opracowanych zębów, łuk przeciwstawny oraz pozycję centralnej okluzji „z boku” tzw. buccal scan. Wirtualne modele szczęki i żuchwy zestawiane są na podstawie tego dodatkowego skanu z pozycji centralnej okluzji. W trybie automatycznej rejestracji zdjęć, wykonanie wycisku cyfrowego kwadrantu uzębienia zajmuje około 40-60 sekund, natomiast pełnego łuku 2-3 minuty (7). Oprogramowanie systemu automatycznie wykrywa i eliminuje obrazy o niezadowalającej jakości. Obraz będący optycznym wyciskiem podłoża można powiększyć nawet 12-krotnie i zaprojektować na nim, w obecności pacjenta, przyszłe uzupełnienie protetyczne (24,26).

#### E4D Dentist

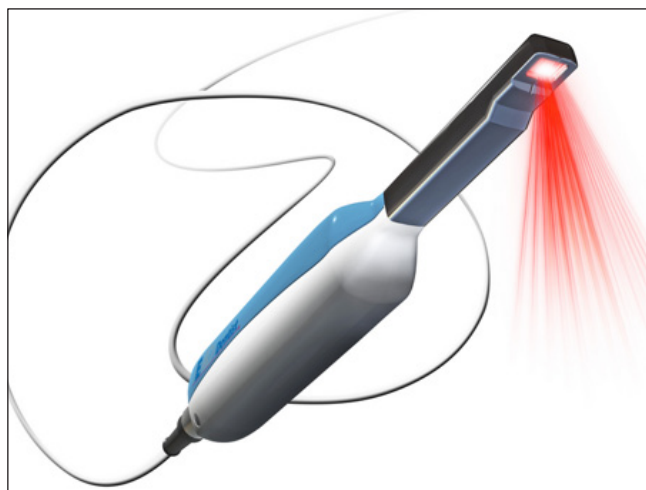
System E4D został po raz pierwszy zaprezentowany przez firmę D4D Technologies w 2008 roku. Składa się ze skanera zewnątrzustnego frezarki, komputera z monitorem oraz odpowiedniego oprogramowania (ryc.1b). Podobnie jak Cerec AC, umożliwia wykonanie uzupełnienia protetycznego przy fotelu pacjenta (27).

System E4D Dentist może skanować zarówno tkanki miękkie jak i struktury zęba bezpośrednio

w jamie ustnej, przed i po oszlifowaniu zębów, a także: tradycyjne wyciski z mas poliwinylowych i polieterowych, modele gipsowe oraz materiały służące do rejestracji zwarcia. Jeśli skanowany jest tradycyjny wycisk, system, aby stworzyć wirtualny model, musi odwrócić zeskanowany wcześniej obraz. Możliwość skanowania tradycyjnych wycisków jest zaletą w przypadku pacjentów z ograniczonym otwieraniem ust i nadmiernym wydzieleniem śliny (7, 15, 28).

Do zarejestrowania trójwymiarowego obrazu w systemie E4D wykorzystano czerwone światło lasera (do oświetlenia skanowanych powierzchni) oraz mikrolusterka, oscylujące z szybkością od 6 do 20 tysięcy cykli na sekundę. System lusterek pozwala na emisję laserowej pojedynczej wiązki światła, jednocześnie eliminując jej rozproszenie. Laser generuje światło (promieniowanie elektromagnetyczne) spójne w czasie i przestrzeni. Światło jest emitowane w postaci wiązki o bardzo małej rozbieżności i może być skonwertowane do wiązki pojedynczej, dzięki wykorzystaniu soczewek (28).

Kamera E4D (ryc. 4) ma stosunkowo mały wymiar pionowy (8 mm), mniejszy niż kamera w systemie Cerec AC, co ułatwia skanowanie ciężko dostępnych powierzchni ostatnich zębów trzonowych (7, 27). W celu rozpoczęcia procesu skanowania, kamerę należy umieścić bezpośrednio nad opracowanym zębem. Odpowiednią odległość zapewniają specjalne gumowe wsporniki umieszczone na głowicy skanującej, które umożliwiają jej stabilizację na sąsiednich zębach (7, 15).



Ryc. 4. Kamera skanująca E4D. (Firma D4D Technologies).

W przeciwieństwie do Cerec AC i Lava C.O.S., system E4D, aby zapewnić dobrą jakość skanowanego obrazu, w większości przypadków nie wymaga użycia specjalnego proszku. U niektórych pacjentów posiadających bardzo przezroczyste szkliwo lub uzupełnienia metalowe może być konieczne zastosowanie płynu odbijającego światło (E4D Accent).

W systemie E4D, do zarejestrowania trójwymiarowego obrazu, potrzebna jest seria dziewięciu osobnych zdjęć wszystkich powierzchni opracowanego zęba oraz zębów sąsiednich. Nie ma konieczności skanowania łuku przeciwstawnego, ponieważ zwarcie i wysokość przyszłego uzupełnienia są szacowane na podstawie zdjęcia zębów opracowanych i zębów sąsiednich z silikonowym kęskiem. Przechwycony obraz jest następnie przetwarzany cyfrowo i wyświetlany na monitorze. Program komputerowy umożliwia podgląd obrazu w tzw. trybie ICE („I see everything”), gdzie uwidoczniono wszystkie zdjęcia składające się na ten zeskanowany obraz (7, 15, 27).

Obydwa systemy Cerec AC i E4D posiadają własne oprogramowania umożliwiające stworzenie wirtualnego modelu 3D i zaprojektowanie przyszłego uzupełnienia protetycznego z uwzględnieniem indywidualnych warunków panujących w jamie ustnej. Oba systemy posiadają bazy dentystyczne tzw. biblioteki zębów (zawierające kształty zębów), które stanowią podstawę przy odtwarzaniu powierzchni okluzyjnych uzupełnień stałych za pomocą CAD/CAM. Zatwierdzony projekt jest wysyłany bezprzewodowo do frezarki, a wyprodukowanie ceramicznej lub kompozytowej odbudowy trwa od 10 do 20 minut.

Jedną z głównych różnic obydwu systemów dotyczy procesu projektowania kilku uzupełnień protetycznych u jednego pacjenta. W systemie E4D lekarz ma możliwość jednoczesnego projektowania do 16 uzupełnień protetycznych, co jest przydatne przy odtwarzaniu prawidłowych warunków w strefie estetycznej. Natomiast w systemie Cerec AC dopiero w momencie ukończenia projektu jednej odbudowy możemy przejść do kolejnej (15).

Systemy Cerec AC i E4D, wyposażone w urządzenia frezujące, umożliwiają bezpośrednio w gabinecie stomatologicznym wyprodukowanie koron, licówek, wkładów, nakładów, a w przypadku Cerec

AC także mostów tymczasowych do 4 pkt. W systemie CEREC AC w razie potrzeby można wykonać rzeczywisty model roboczy, wykorzystując w tym celu proces stereolitograficzny (SLA) (9, 12, 13).

Uzupełnienia mogą być frezowane z bloczków następujących materiałów: IPS-Express CAD (Ivoclar-Vivadent) – z ceramiki szklanej, IPS e.max CAD (Ivoclar-Vivadent) – z dwukrzemianu litu, Vitablocks Mark II (Sirona, Vita) – z mączki skaleńkowej, CAD-Temp (Vita) – z tymczasowego materiału polimerowego, Paradigm Z100 (3M) – z materiału kompozytowego, Paradigm C ceramic (3M) – z ceramiki szklanej, ProCad (Ivoclar-Vivadent) – z ceramiki szklanej. Bloczki te są wykonywane fabrycznie, dlatego materiały, z których się składają są homogenne, bez artefaktów w mikro- i makrostrukturze (pęcherzyków powietrza, wewnętrznych niejednorodności i pęknięć). Dlatego charakteryzują się większą wytrzymałością niż ceramiki spiekane.

### System iTERO

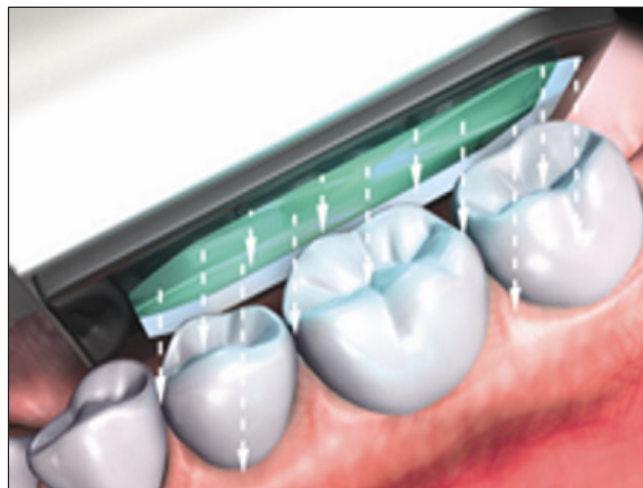
System iTero (ryc. 1c) został wprowadzony przez firmę Cadent w 2007 roku i był pierwszym samodzielnym skanerem wewnątrzustnym. Technika skanowania zastosowana w tym systemie, została nazwana metodą „parallel confocal” i jest oparta na zasadzie działania mikroskopu konfokalnego (2, 7, 15).

Mikroskop konfokalny umożliwia uzyskanie wysokiej jakości obrazów oraz ich rekonstrukcji w trzech wymiarach. Konfokalny dosłownie tłumaczy to „mający ten sam punkt ogniskowy”. Źródło światła (laser) przechodząc przez układ optyczny mikroskopu, skupia się na skanowanym obiekcie, po czym odbija się od niego. Dzięki zastosowaniu specjalnej przesłony (z małym otworem), umiejscowionej przed detektorem (kamera CCD), następuje eliminacja światła, które wpadłoby do obiektywu spoza płaszczyzny ogniskowania. Zapewnia to znaczne zwiększenie kontrastu i polepszenie jakości uzyskanego obrazu. Wyeliminowane zostają również wszelkie odbłyски, które nie pochodzą bezpośrednio z miejsca ogniskowania. Tylko obiekty znajdujące się we właściwej odległości ogniskowej odbijają z powrotem światło (30, 31).

W systemie iTERO rozwinięto tę koncepcję, przez projekcję 100,000 równoległych wiązek czer-

wonego światła lasera, rozmieszczonych w odstępach około 50 mikronów od siebie, co zapewniło średnią głębokość skanowania wynoszącą 13,5 mm. System ten może w sumie przechwycić około 3,5 mln punktów danych na każdy skanowany łuk, rejestrując obraz z dokładnością do 15  $\mu\text{m}$  (2, 7).

Do zobrazowania uzębienia nie jest konieczne użycie proszku, skaner może bezpośrednio dotykać powierzchni zęba bez obawy, że zarejestrowany obraz mógłby zostać zniekształcony (ryc. 5) (7).



Ryc. 5. iTero: metoda „parallel confocal”. (Firma D4D Technologies).

Przed rozpoczęciem skanowania należy wypełnić elektroniczną kartę laboratoryjną, uwzględniając rodzaj odbudowy, która ma zostać wykonana, jej kolor, typ preparacji – stopień przydziaśłowy. Lekarz dentysta ma możliwość wyboru wielkości skanowanego obszaru: kwadrant, poszerzony kwadrant (zawierający oba kontrateralne kły) lub pełny łuk. Aby uzyskać trójwymiarowy obraz, konieczne jest wykonanie pięciu zdjęć ukazujących następujące powierzchnie: okluzyjną, policzkową, językową i obie powierzchnie styczne wszystkich opracowanych zębów, co zajmuje około 15-20 sekund na każdy opracowany ząb. Dodatkowo należy zarejestrować językowe i policzkowe krawędzie zębów sąsiadujących, jak i przeciwstawnych oraz maksymalne zaguzkowanie (2, 7, 15). Nie ma konieczności użycia żadnego materiału do rejestracji zwarcia. Na pozyskanie obrazu górnego i dolnego kwadrantu oraz pozycji okluzji centralnej potrzebne jest mniej niż 3 minuty. Głowica skanująca iTero (ryc. 6) ma największy wymiar pionowy, co może



Ryc. 6. Kamera skanująca iTero. (Firma Cadent).



Ryc. 7. Kamera skanująca Lava C.O.S. (Firma 3M ESPE).

utrudniać przechwytywanie danych z trudno dostępnych miejsc (27).

### System LAVA C.O.S.

System LAVA C.O.S. (ryc. 1d) został zaprezentowany w lutym 2008 roku przez firmę 3M ESPE i składa się z kamery skanującej (ryc. 7) oraz ekranu dotykowego. Skaner wewnętrzny Lava rejestruje ciągły trójwymiarowy obraz video, w przeciwieństwie do pozostałych systemów, w których zapisywane są pojedyncze obrazy (15, 27). W ten sposób generowany jest praktycznie nieprzerwany strumień danych, co pozwala na uniknięcie niedokładności związanych z łączeniem poszczególnych obrazów.

Działanie systemu LAVA C.O.S. jest oparte na zupełnie innej metodzie niż pozostałe systemy, nazwanej „active wavefront sampling” (AWS), która umożliwiła wprowadzenie technologii „3D-in-Motion”.

„Active wavefront sampling” oznacza pozyskiwanie danych na temat trójwymiarowego obrazu z właściwego, jednosoczewkowego systemu obrazowania urządzenia Lava™ C.O.S. poprzez pomiar głębokości na podstawie stopnia nieostrości w podstawowym systemie optycznym. W klasycznej fotografii dany punkt obiektu jest widziany jako ostry, jeżeli mieści się w zakresie ogniskowej aparatu. Zmiana przysłony zmienia zakres ogniskowej: mały otwór przysłony powoduje zwiększenie zakresu ogniskowej; jeśli natomiast otwór przysłony jest duży, uzyskujemy ostrość

przede wszystkim w płaszczyźnie ogniskowej, natomiast wszystkie pozostałe punkty stają się nieostre. Przedmiot jest ostry dzięki małemu otworowi przysłony. Kiedy przysłona zostanie otwarta, fotografowany obiekt rozmywa się, co niesie w sobie informację o odległości obiektu od płaszczyzny ogniskowej. Jeśli użyjemy dwóch szerokich przysłon, każdy punkt będzie odzwierciedlany jako dwa obrazy, kodujące w sobie informację na temat odległości obiektu w postaci różnicy pomiędzy tymi obrazami. Różnica między obrazami wprowadza do systemu wartość  $Z$ , na podstawie której obliczane są dane obrazu trójwymiarowego. Urządzenie systemu Lava wyposażone jest w trzy matryce CMOS, dzięki którym może zdobywać dane z trzech perspektyw jednocześnie. Na podstawie tych trzech rejestrowanych jednocześnie obrazów i informacji na temat ostrości lub jej braku generowany jest trójwymiarowy obraz powierzchni w trybie video. Dla zapewnienia niezawodnego i precyzyjnego skanowania urządzenie Lava C.O.S. wykorzystuje spektrum światła odpowiadające barwie niebieskiej. Technologia ta, łącząc w sobie innowacyjny system optyczny oraz algorytmy szybkiego przetwarzania obrazu, pozwala na gromadzenie danych jako sekwencji video i ich generowanie w czasie rzeczywistym na ekranie monitora. W każdej sekundzie generowanych jest około 20 trójwymiarowych obrazów, co daje 24 miliony punktów 3D czyli 2400 obrazów dla każdego łuku (7, 15, 27, 32). W badaniu dotyczącym powtarzalności dokładnego skanowania urządze-

Tabela I. Porównanie skanerów wewnątrzustnych omówionych w artykule

	CEREC AC	E4D	iTero	Lava C.O.S
Technika pozyskiwania obrazu	Blue light LED Laser Sampling Triangulation	Red light laser	Parallel Confocal/ Telecentric	Blue light LED ActiveWavefront Sampling (AWS) 3D in Motion Wavefront Sampling (AWS) 3D in Motion
Wymagane użycie proszku	Tak (Optispray)	Czasami	Nie	Tak
Możliwość skanowania pełnego łuku	Tak	Nie	Tak	Tak
Projektowanie i frezowanie uzupełnienia protetycznego w gabinecie	Tak	Tak	Nie	Nie
Internetowe połączenie z pracownią protetyczną	Tak	Nie	Tak	Tak
Wskazania	Korony, onlay, inlay, licówki, mosty tymczasowe do 4 pkt. (mosty stałe tylko w pracowni protetycznej)	Korony, onlay, inlay, licówki	Korony, onlay, inlay, licówki mosty	Korony, onlay, inlay, licówki, mosty
Modele robocze	Modele SLA, technika addytywna (bez profilu tkanek miękkich)	Nie	Bloczki z poliuretanu, obróbka skrawaniem (odwzorowany profil tkanek miękkich)	Modele SLA, technika addytywna

nie Lava Chairside Oral Scanner C.O.S. wykazało się precyzją wynoszącą od 6 do 11  $\mu\text{m}$ .

Głowica skanera (ryc. 7) ma szerokość 13,2 milimetra i jest najmniejszą spośród opisanych systemów. Zawiera 192 niebieskie diody LED do oświetlenia jamy ustnej i 22 soczewki. Podczas skanowania kamerę należy utrzymywać w odległości od 5 do 15 mm od powierzchni zębów. Jeżeli ten zakres zostanie przekroczony, system automatycznie zatrzymuje zdobywanie kolejnych danych. Podobnie jak CEREC AC również Lava C.O.S., w celu wyeliminowania odbłasków świetlnych, wymaga delikatnego pokrycia powierzchni zębów cienką warstwą proszku – dwutlenku tytanu (7, 15, 27). W pierwszej kolejności skanowane są powierzchnie żujące, następnie policzkowe i językowe kolejnych zębów. Proces jest zakończony

w momencie, kiedy kamera powróci do zęba, od którego zaczęto przechwytywanie danych. Po zeskanowaniu obydwu łuków, pacjent przychodzi żuchwą do pozycji maksymalnego zaguzkowania. W tym położeniu skanowane są powierzchnie policzkowe zębów w celu wirtualnego zarejestrowania zwarcia (27).

W przypadku systemów LAVA C.O.S i iTero, nie ma możliwości wykonania uzupełnienia przy fotelu pacjenta, dlatego cyfrowy wycisk fragmentu łuku/kwadrantu wraz z obrazem zębów przeciwnych jest przesyłany przez portal internetowy do zewnętrznej pracowni protetycznej lub do centrum skanowania. Tam uzupełnienie protetyczne jest projektowane i może być wykonane zarówno w sposób tradycyjny jak i w technice CAD/CAM.

## Podsumowanie

We wszystkich opisanych systemach przed rozpoczęciem skanowania, w celu dokładnego odwzorowania warunków panujących w jamie ustnej, należy dokonać retrakcji dziąsła brzeżnego i zabezpieczyć zęby przed dostępem wilgoci. Można się tu posłużyć różnymi technikami, stosowanymi przy pobieraniu tradycyjnych wycisków masami elastomerowymi (nici retrakcyjne, specjalne pasty). W niektórych przypadkach może być również pomocna elektrokoagulacja (5).

Wprowadzenie technologii optoelektronicznego pobierania wycisków opracowanych zębów, umożliwiło rozwój stomatologii bezwyciskowej i pozwoliło na jeszcze ściślejsze współdziałanie pracowni protetycznych z gabinetami stomatologicznymi. W porównaniu z pobieraniem wycisku klasycznego skanowanie charakteryzuje się większą dokładnością. Rejestrowane są bowiem tkanki twarde i miękkie w prawidłowym położeniu, niezmiennym uciskiem masy wyciskowej. Eliminuje to również błąd ludzki, np. przeciągnięcie. Unika się także błędów wynikających ze zmiany konsystencji masy w trakcie zastygania, kiedy to może dojść do minimalnych zmian wymiarów. Nie występują również niedokładności pojawiające się w trakcie wykonywania modelu przez technika.

Uzupełnienia protetyczne wykonane metodą komputerową charakteryzują się bardzo dobrym przyleganiem brzeżnym, dochodzącym nawet do 40 µm, przy czym zakres od 100 do 150 µm jest uznawany za akceptowalny klinicznie (20, 26, 33, 34, 35,36). Ponadto wykorzystanie nowych oszczędnych procesów technologicznych znacznie redukuje czas trwania poszczególnych etapów pracy.

W świetle najnowszych osiągnięć technologii CAD/CAM (skanowanie wewnątrzustne, frezowane i wykonane z wykorzystaniem stereolitografii modele robocze, możliwość wykonania uzupełnienia protetycznego przy fotelu pacjenta) należy się spodziewać, że metody leczenia wspomagane komputerowo będą w przyszłości determinowały sposób funkcjonowania pracowni protetycznych i gabinetów stomatologicznych.

## Piśmiennictwo

1. McLaren E.: Communicating digitally with the laboratory: design, impressions, shade, and the digital laboratory slip. *Inside Dentistry*. 2009, 5, 4, 62-67.
2. Henkel G. L.: A comparison of fixed prostheses generated from conventional vs digitally scanned dental impressions. *Compend Contin Educ Dent*. 2007, 28, 422-424, 426-428, 430-421.
3. Mörmann W. H.: The evolution of the CEREC system. *J Am Dent Assoc*. 2006, 9, 137 Suppl:7S-13S.
4. Beuer F., Schweiger J., Edelhoff D.: Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br Dent J*. 2008, 204, 505-511.
5. Fasbinder D. J.: Digital dentistry: innovation for restorative treatment. *Compend Contin Educ Dent*. 2010, 31, 4, 2-11.
6. Levine N.: To the sky and beyond. *Dental Products Report*. 2009, 10, 116.
7. Fasbinder D. J.: Innovation in CAD/CAM technology: CEREC AC with Bluecam. *Oral Health*. 2009, 99, 3, 22-31.
8. Touchstone A., Nieting T., Ulmer N.: Digital transition: the collaboration between dentists and laboratory technicians on CAD/CAM restorations. *J Am Dent Assoc*. 2010, 141 Suppl 2, 15S-19S.
9. Gładkowska M.: Porównanie systemów CAD/CAM stosowanych we współczesnej protetyce stomatologicznej. *Protetyka Stomatologiczna*. 2008, LVIII, 2, 105-113.
10. Higgin A.: The CAD/CAM hall of fame. *Machine Design*. 1999, 10, 71, 52
11. Majewski S.: Rekonstrukcje zębów uzupełnieniami stałymi. Wydawnictwo Stom. FP., Kraków 2005.
12. Martin N., Jedyńkiewicz N. M.: Clinical performance of CEREC ceramic inlays: a systematic review. *Dent Mater*. 1999, 15, 54-61.
13. Berg N. G., Derand T.: A 5-year evaluation of ceramic inlays (CEREC). *Swed Dent J*. 1997, 21, 121-127.
14. Andersson M. et al: Clinical results with titanium crowns fabricated with machine duplication and spark erosion. *Acta Odontol Scand*. 1989, 47, 279-286.
15. Kachalia P. R., Geissberger M. J.: Dentistry a la carte: in-office CAD/CAM technology. *J Calif Dent Assoc*. 2010, 38, 323-330.



16. Kern M.: Technologia CAD/CAM poszerza zakres zastosowań stomatologii odtwórczej. *Cosmetic Dentistry*. 2010, 1, 14-64.
17. Mehl A., Ender A., Mormann W., Attin T.: Accuracy testing of a new intraoral 3D camera. *Int J Comput Dent*. 2009, 12, 11-28.
18. Kutulakos K., Steger E.: A theory of specular and refractive shape by light-path triangulation. Microsoft Research Technology. Report, MSR-TR; 2005.
19. Grasso J. E., Nalbandian J., Sanford C., Bailit H.: Effect of restoration quality on periodontal health. *J Prosthet Dent*. 1985, 53, 14-19.
20. Syrek A. et al.: Clinical evaluation of all-ceramic crowns fabricated from intraoral digital impressions based on the principle of active wavefront sampling. *J Dent*. 2010, 38, 553-559.
21. Hartley R., Sturm P.: Triangulation. *Computer Vision and Image Understanding*. 1997, 68, 2, 146-157.
22. Karbowski K.: Portable laser scanner for reverse engineering application. *Advances in Manufacturing Science and Technology*. 2005, 29, 4, 21-31.
23. Cerec 3. Operating instruction for the acquisition unit. Sirona. The Dental Company. 2004.
24. Pieper R.: Digital impressions-easier than ever. *Int J Comput Dent*. 2009, 12, 1, 47-52.
25. Kern M.: Technologia CAD/CAM poszerza zakres zastosowań stomatologii odtwórczej. *Cosmetic Dentistry*. 2010, 1, 14-64.
26. Panek H., Dąbrowa T.: Zastosowanie systemów komputerowych w wybranych procedurach klinicznych i laboratoryjnych wykonania protez stałych, *Dent Med Probl*. 2002, 39, 2, 303-307.
27. Birnbaum N. S., Aaronson H. B.: Dental impressions using 3D digital scanners: virtual becomes reality. *Compend Contin Educ Dent*. 2008, 29, 494, 496, 498-505.
28. E4D Dentist (D4D Technologies), Technical Datasheet 2009.
29. E4D Dentist. *Inside Dentistry*. 2010, 6, 4, 106.
30. Min Gu.: Principles of three dimensional imaging in confocal microscopes. World Scientific. Singapore 1996
31. Paddock S. W.: Confocal microscopy methods and protocols. Humana Press, New Jersey 1999.
32. Lava Chairside Oral Scanner C.O.S. 3M ESPE Technical Datasheet. 2009.
33. Fransson B., Oilo G., Gjeitanger R.: The fit of metal-ceramic crowns, a clinical study. *Dental Materials*. 1985, 1, 197-199.
34. Karlsson S.: The fit of Procera titanium crowns. An in vitro and clinical study. *Acta Odontologica Scandinavica*. 1993, 51, 129-134.
35. McLean J. W.: The estimation of cement film thickness by an in vivo technique. *British Dental Journal*. 1971, 131, 107-111.
36. Sulaiman F., Chai J., Jameson L. M., Wozniak W. T.: A comparison of the marginal fit of In-Ceram, IPS-Empress and Procera Crowns. *International Journal of Prosthodontics Dentistry*. 1997, 10, 478-484.

Zaakceptowano do druku: 25.I.2012 r.

Adres autorów: 92-216 Łódź, ul. Pomorska 251.

© Zarząd Główny PTS 2012.