
DENTAL SCANNERS IN PROSTHODONTICS

Blagoja Dashtevski

University "St. Cyril and Methodius ", Skopje, Faculty of Dentistry, Clinic for dental prosthodontics,
dasto2000@yahoo.com

Aneta Mijoska

University "St. Cyril and Methodius ", Skopje, Faculty of Dentistry, Clinic for dental prosthodontics
amijoska@yahoo.com

Marjan Petkov

University "St. Cyril and Methodius ", Skopje, Faculty of Dentistry, Clinic for dental prosthodontics
marjanpetkov@gmail.com

Vanco Spirov

University "St. Cyril and Methodius ", Skopje, Faculty of Dentistry, Clinic of Oral Surgery
spirov_v@yahoo.com

Oliver Dimitrovski

University "St. Cyril and Methodius ", Skopje, Faculty of Dentistry, Clinic of Oral Surgery

Abstract: As a digital technology enters in every area of everyday life, including the medicine, it begins to increase its influence in dental practice too. The term scanner in dentistry is called a 3-D scanner and refers to an instrument that collects data on the three-dimensional spatial layout and the shape of the tooth and dental structures in the mouth or the model and transforms them into a set of digital data. With the help of the scanner, the anatomic-morphological structures of the oral cavity are recorded or reflected and data are received in digital form. The first stage in the three-part CAD / CAM process of making a prosthetic device-scanning of the anatomic-morphological structures in this process presents the main basis of the future dental restoration. The scanning, as well as the remaining two parts of the CAD / CAM system are taken from the mechanical engineering sciences that incorporate dental doctrines for the production of a prosthetic devices. The dentists who want to use this technology often do not have enough time or sufficient knowledge to understand the current scanning process. The term scanner in dentistry is called a 3-D scanner and refers to an instrument that collects data on the three-dimensional spatial layout and the shape of the tooth and dental structures in the mouth or the model and transforms them into a set of digital data. With the help of the scanner, the anatomic and morphological structures of the oral cavity are recorded or reflected and data are received in digital form. For these reasons, we feel the need to demonstrate the development of the dental scanning process and its methodological procedures to obtain a virtual model. This makes it possible to obtain a complete picture of digital technology and to understand the necessary information about the scanning process that is today in everyday use. The paper presents the basic data that are currently available with the remark that this technology has a rapid development that will contribute to even better results in the manufacture of prosthetic devices.

Keywords: CAD/CAM technology, dental prosthetics

ДЕНТАЛНИ СКЕНЕРИ ВО СТОМАТОЛОШКАТА ПРОТЕТИКА

Благоја Даштевски

Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Скопје, Стоматолошки факултет, Клиника за стоматолошка
протетика dasto2000@yahoo.com

Анета Мијоска

Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Скопје, Стоматолошки факултет, Клиника за стоматолошка
протетика amijoska@yahoo.com

Марјан Петков

Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Скопје, Стоматолошки факултет, Клиника за стоматолошка
протетика marjanpetkov@gmail.com

Ванчо Спијров

Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Скопје, Стоматолошки факултет, Клиника за орална
хирургија spirov_v@yahoo.com

Оливер Димитровски

Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Скопје, Стоматолошки факултет, Клиника за орална хирургија

Апстракт: Со оглед на тоа што дигиталната технологија навлегува во секоја област од секојдневниот живот, вклучувајќи ја и медицината, таа започнува да го зголемува своето влијание и во стоматолошката практика. Првата алка во троделниот процес на CAD/CAM изработка на едно протетичко помагало - скенирањето на анатомото-морфолошки структури во овој процес претставува база на стоматолошката реставрација. Скенирањето како и преостанатите два дела на CAD/CAM системот се превземени од механичко-инженерските науки во кои се инкорпорирани стоматолошките доктрини за изработка на протетско помагало. Заради ова, стоматолозите кои сакаат да ја користат оваа технологија или немаат доволно време или доволно знаење за да го разберат сегашниот процес на скенирање. Терминот скенер во стоматологијата се нарекува 3-Д скенер и се однесува на инструмент кој ги собира податоците за тридимензионалниот просторен распоред и за формата на виличните и забните структури во устата или на моделот и ги трансформира во сет на дигитални податоци. Со помош на скенерот, се снимаат или се отсликуваат анатомото-морфолошките структури на усната празнина и се добиваат податоци во дигитална форма. Од овие причини чувствуваме потреба да го прикажеме развојот на денталниот скенирачки процес и неговите методолошки постапки со кои ќе се добие виртуелен модел. Со ова се овозможува добивање на една целосна слика на дигиталната технологија и осознавање на потребните информации за процесот на скенирање кој денеска е во секојдневна употреба. Во трудот се дадени основните податоци кои во моментот се актуелни со напомена дека оваа технологија има брз развој кој ќе допринесе за уште подобри резултати во изработка на протетските помагала.

Клучни зборови: CAD/CAM технологија, стоматолошка протетика

1. ВОВЕД

Терминот скенер во стоматологијата се нарекува 3-Д скенер и се однесува на инструмент кој ги собира податоците за тридимензионалниот просторен распоред и за формата на виличните и забните структури во устата или на моделот и ги трансформира во сет на дигитални податоци. Со помош на скенерот, се снимаат или се отсликуваат анатомото-морфолошките структури на усната празнина и се добиваат податоци во дигитална форма. Дефинирано со општи поими, 3-Д скенирањето, кое исто така се нарекува и 3-Д дигитализација, претставува користење на алатки за добивање на тридимензионални податоци за да се добие збир од X, Y и Z координати на површината на материјален објект. Секоја поединечна X, Y и Z координата се нарекува точка. Конгломератот на сите овие точки се нарекува „облак од точки“. Типичен формат за овие точки се или ASCII текстуален фајл кој ги содржи X, Y и Z координатите за секоја точка или полигонална мрежеста претстава која е позната како STL формат на фајлот. Во повеќето ситуации, поединечното скенирање не дава целосен модел на предметот. На пример, ласерскиот скенер во одреден интервал скенира само една линија на објектот која има дебелина од 1 или 2 mm, а потоа позицијата на скенерот се менува за еден чекор и потоа се скенира следната линија. Секоја скенирана линија има многу точки кои се разделуваат со одредено пич растојание (Pitch) единица мерка во компјутерски јазик, зависно од камерата која го регистрира ласерот кој се рефлектира од објектот. Камерата е со 30 Hz, која може да сними и 30 слики во секунда. Вообичаено се потребни мултипли скенови, дури и стотици, од различни правци, за да се добијат информации за сите страни на предметот. Овие скенови потоа треба да се доведат во вообичаен референтен систем, процес кој обично се нарекува *подредување*, а потоа се спојуваат за да се создаде целосен модел. За тоа, пак, се користи процес кој се нарекува *триангулација*. Скенерот добива податоци за „облак од точки“ кои имаат шум (шумот се состои од грешки, точки кои се прекриваат, несакани податоци итн.). Поради тоа, по добивањето податоци, треба да се спроведе процес на редукација на шумот преку користење на специјален софтвер за да се добијат средени податоци. Само тогаш добиените информации на овој начин можат да се претворат во површина или модел, зависно од потребите на корисникот. Скенерите, како дел од CAD/CAM технологијата во стоматолошка протетика имаат големо влијание во прецизноста на собирањето на податоците и во нивното претворање во дигитална форма, од што зависи и добивањето на финалниот производ на една протетичка реставрација односно негово налегнување во устата на пациентот

2. ПОДЕЛБА НА ДЕНТАЛНИ СКЕНЕРИ

Постојат два основни типа на скенери:

1. Механички скенери,

2. Оптички скенери.

Во зависност од различни карактеристики на скенерите постојат повеќе различни поделби, односно категоризации на скенерите. Во зависност од тоа дали сензорот на скенерот се движи мануелно или со помош на мотор се делат на:

1. Механичките скенери се делат на:

- а) Мануелни (интраорални, екстраорални)
- б) Автоматски.

Друга поделба, скенерите ги организира во зависност од тоа дали скенирачката глава го допира или не го допира објектот, на: контактни; бесконтактни скенери.

Во зависност од полето на скенирање, тие може да се поделат на:

- а) Екстраорални;
- б) Интраорални.

Во зависност од методот за собирање на податоците за тридимензионалната местоположба и форма, оптичките скенери се делат на:

- а) Екстраорални (со триангулација, со коноскопска холографија)
- б) Интраорални (со триангулација, коноскопска холографија и видео снимање)

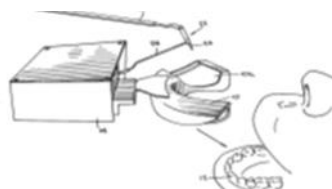
Од друга страна, интраоралните се делат на:

- Интраорални скенери со отворен систем на изработка;
- Интраорални скенери со затворен систем на изработка.

2.1. Механички скенери

2.1.1. Механички – мануелни скенери – интраорален

Основните принципи и методолошкиот пристап на механичките скенери за просторна дигитализација се опишани и патентирани од страна на Mushabac D.R. во 1977 година (US Patent Document, 4 182 312), (сл. 1). За мерење се користи сонда која со помош на раката на стоматолог се движи по површината што се скенира. Сондата е споена со носач кој е поврзан со две осовини поставени под прав агол кои се ротираат. Носачот во текот на мерењето се издолжува или скратува. Електрични потенциометри се поврзани за осовините и за носачите кои ги менуваат димензиите. На овој начин се добиваат информации за електрично мерење и дигитализација. Користењето на линеарните потенциометри, поради нивните ограничени можности, создава непрецизни податоци, поради што ваквото решение во деналната CAD/CAM технологија не е широко применето. Предноста на овој метод во однос на оптичките методи беше во можноста за дигитализација на субгингивалните подрачја.



Слика 1. Mushabac метода

2.1.2. Механички мануелни скенери – екстраорални

DentiCAD (BEGO), Vremep, во текот на почетоците кај своите истражувања дојде до развој на механичка мерна постапка (сл. 2). Таа се состоеше во напипување на објектот без притисок, со помош на минијатурна сонда, која располага со 6 оски на ротација. Нејзината грацилна градба предвидуваше интраорална употреба. Движењата на финомеханичките зглобови беа регистрирани со Хал-ови сензори и обработени во вклучениот сметач. Покрај опфаќањето на препарираниот заб, може да се напипаат и оклузалните површини на антагонистите, како и апроксималните површини на соседните заби. Потребното време за скенирање во зависност од големината на препарацијата изнесувало од 15 до 30 минути.



Слика 2. Мануелен механички екстраорален метод на 3D скенирање.

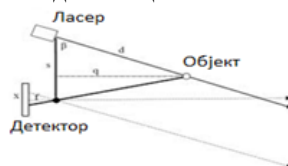
2.1.3. Механички автоматски скенери

Кај овој тип скенери, моделот се отчитува механички, линија по линија со црвена (рубинска) топка и на тој начин се мери тридимензионалната структура. Куглата се лизга по површината на забот со циркуларни движења. Притисокот на површината на забот е многу мал и е еквивалент на маса од 15 g до 20 g во точката на контакт. Времето на целосно скенирање е од 3 до 5 минути, при што скенерот регистрира 20 000 до 30 000 мерни точки. Традиционалните Procera скенери Piccolo и Forte (Nobel Biocare) се единствениот пример за механички автоматски скенери во стоматолозијата. Недостаток на оваа техника за собирање податоци е премногу комплицираниот механизам, што го прави апаратот многу скап и има подолго време на процесирање во однос на оптичките системи.

2.2. Оптички скенери – екстраорални

2.2.1. Оптички скенери - екстраорални со скенирачки метод на триангулација

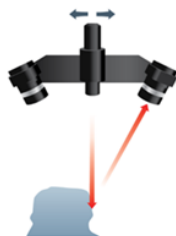
Кај овој метод се дефинираат различни триаголници коишто имаат една иста основа, односно базата на триаголниците е фиксирана и нејзината положба претходно е дефинирана и е непроменлива. Основата ја дефинираат два оптички центри, додека врвот на триаголникот е целната точка на површината што се скенира. Растојанието од оптичките центри до целната точка се пресметува со примена на основните геометриски закон, при што треба да бидат познати растојанието помеѓу двата оптички центри и аголот што го зафаќаат правите кои поминуваат низ целната точка и оптичките центри. Најчесто се користи методот на активна триангулација која ги надминува недостатоците на пасивна триангулација (сл. 3.).



Слика 3. Активна триангулација

Кај овој метод основата на триаголникот е дефинирана со една камера и извор на структурирана светлина која е проекција на светлосна шема со познат агол врз еден објект. Изворот на светлината не ја осветлува рамномерно целната површина. Светлосното поле од овој извор е структурирано, односно осветленоста на површината се менува на претходно дефиниран начин. Бидејќи површината што се скенира не е рамна, структурата на осветленоста ќе биде различна од онаа на изворот. Камерата ја регистрира таа промена во структурата, ја споредува со почетната структура и од таа разлика ги пресметува тридимензионалните геометриски карактеристики на површината. Најчесто се користи светлосен зрак (бранова должина 380 до 760 nm) кој е видлив за човековото око и ласерски зарак.

Сите денални 3D скенери се конструирани на исти принципи за скенирање, со исклучок на коноскопска холографија, и нивните карактеристики на многу едноставен начин ги презентира Hollenbeck et al. Тој ги дава основите на скенирањето што ги содржи секој скенер, а тоа се: извор на светлина, една или повеќе камери и систем за движење кој го сочинуваат неколку оски за позиционирање на скенираниот објект кон изворот на светлината и камерата. Базирајќи се на дефиниран агол и на растојанието помеѓу камерата и изворот на светлината, 3D положбата на точката од којашто проектираната светлина се рефлектира може да се пресмета користејќи ги законите на тригонометријата. Принципите на скенирање што се користат кај ласерските скенери и скенерите со бела светлина се идентични. Ласерските скенери создаваат повеќекратни линии со движење на скенирачката глава по должината на прецизни линеарни оски (сл. 4a), додека пак скенерите со бела светлина имаат фиксирана скенирачка глава, но тие проектираат неколку подвижни линиски обрасци или ленти од бела светлина последователно од централната положба (сл. 4б).



Слика 4. Принципи на 3D скенирање

а) 3D ласерски скенер со две ротациони оски и со една линеарна оска

Ласерскиот скенер создава линиска светлина, којашто поминува преку објектот користејќи ги линеарните оски.



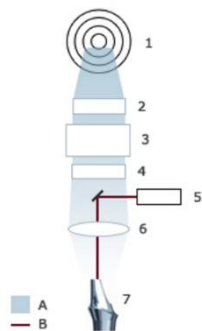
Слика 4. Принципи на 3Д скенирање

б) Скенер со бела светлина и со две ротациони оски.

Изворот на бела светлина создава повеќекратни линии на светлина, а целиот поглед на објектот е од една положба.

2.2.2. Оптички скенери - екстраорални со скенирачки метод на коноскопска холографија

Со развојот на скенирачките системи и нивната техника на скенирање, во најново време станува актуелен методот на *коноскопска холографија*. Неговата особеност овозможува примена во многу области, како што се, на пример форензиката, па и стоматологијата. Оваа нова оптичка скенирачка технологија во CAD/CAM стоматологијата ја воведува NobelProcera™ (сл. 5).



1. Интерферентна слика што ја снима детекторот
2. Поларизатор
3. Коноскопски кристал
4. Поларизатор
5. Ласер
6. Објектив
7. Објектот што се скенира

A – рефлектирана светлина од објектот што се скенира
B – ласерски зрак

Слика 5. Коноскопска холографија

Тие воведуваат нов тип скенер што ја користи појавата на коноскопска холографија, чиишто основи ги даваат авторите во 1985 година. Коноскопската холографија има повеќе предности во однос на останатите скенирачки техники, како што е на пример триангулацијата. За разлика од неа, каде што влезниот и рефлектираниот зрак изминуваат различни патишта, кај коноскопската холографија и двата зрака изминуваат еднакви патишта. При тоа, кај триангулацијата зракот паѓа под релативно мал агол (од 40° до 60°), а кај коноскопската холографија зракот паѓа под голем агол (до 85°). Ова овозможува мерење на многу стрмни рамнини, односно лесно мерење на подминирани површини, длабоки кавитети, како оние што се сретнуваат кај денталните отпечатоци. Со помош на оваа техника се добиваат многу информации за една точка, со што се добива мерење со голема точност и прецизност. Еден од поголемите недостатоци на коноскопската холографија е што не можат да се скенираат сјајни површини, какви што може да се сретнат кај метални, восочни и акрилатни површини. Скенерите што работат на принципот на коноскопска холографија имаат едноставна конструкција. Тоа овозможува, краток период на обучување, минимални интервенции во текот на скенирањето и, конечно, намалена цена на производство и примена.

Коноскопската холографија е интерферометриска техника со некохерентна светлина. Таа се базира на појавата на двојно прекршување на светлината. Светлината од диоден ласер, која може да се смета за монохроматска, поминува низ еднооски двојнопрекршувачки кристал. При тоа, затоа што брзината на простирање на светлината е различна во насока паралелна со оската и нормално на неа, светлината се прекршува на два зрака – редовен и нередовен. Брзината на редовниот зрак е постојана, но брзината на нередовниот зависи од влезниот агол, односно од аголот кој го зафаќа со оската на кристалот. За да можат двата зрака да интерферираат, на патот на светлината се поставуваат два циркуларни поларизатори, еден

пред и еден зад кристалот. Овој систем се вика *коноскоп*, а кривите што се добиваат како резултат на интерференцијата се викаат *Габорова интерферентна слика*, дефинирани со изразот:

$$I = I_0 \left(1 + \gamma_0 \cos \left(K \frac{r^2}{Z_c^2} \right) \right)$$

каде што K зависи од опто-геометриските карактеристики на системот (во

нашиот случај на моделот), γ_0 е познато како видливост на интерферентните линии, r е радијално растојание од центарот на Габоровата интерферентна слика и Z_c е таканаречено коноскопско коригирано растојание, геометриска средина на растојанието на редовниот и на нередовниот зрак во однос на рамнината на снимање (во нашиот случај во однос на рамнината на детекторот). Разликата помеѓу коригираното и вистинското растојание е занемарлива. Интерферентната слика има радијална симетрија. Со соодветна калибрација, ова овозможува да се пресмета растојанието до точката што ја емитува, светлината, односно точката што ја рефлектира светлината. На тој начин се добива информација за обликот на површината што се скенира.

2.3. Оптички скенери – интраорални

Комерцијалните 3D скенирачки системи се развиваат за да се адаптираат на потребите на стоматологијата и на големите индивидуални разлики кај пациентите. Поради тоа, се воведува нова генерација рачни скенери што лесно може да се движат низ усната шуплина. Во овој случај разликата и поместувањето од слика до слика не е точно позната, затоа што сликите се прават во произволен момент, од произволна местоположба и ориентација на скенерот, што ја отежнува обработката на податоците, но и нивното спојување во една 3D претстава. Поради тоа, овие рачни системи се потпираат на регистрација или примена на прецизно дефиниран сет од реперни точки поставени во подрачјето што се скенира Rubert et. al.

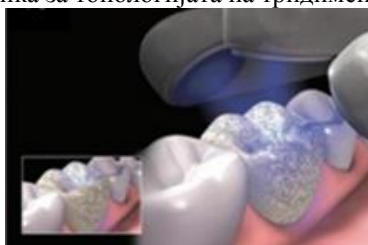
Недостатоците на овој систем се обидуваат да ги решат авторите, со тоа што предлагаат оптичко мапирање на подготвениот заб со бесконтактна скенирачка глава, која вклучува лед диода чијашто светлина поминува низ систем од препреки и процепа. На тој начин, се добива структурирано осветлување на површината на забот, а рефлектираната светлина се снима со линеарен CCD уред. Кај оптичките интраорални скенери, постојат три оптички техники на скенирање, кои функционираат во стоматолошка индустрија:

1. Техниката на триангулација ја употребуваат триангулациските скенери кои користат аголни конуси на светлина (сл. 6). Кај овој тип скенери, за да се опфати една слика од 15000 микрони, потребно е површината на забот што се скенира да биде обложена со скап и непријатен прав (сл. 7).



Слика 6. Аголни конуси на светлина

2. Паралелното конфокално сликање го овозможуваат паралелно поставени ласерски светлечки зраци (сл. 8), што генерираат осветлени точки на структурата. Интензитетот на рефлектираните светлосни зраци се мери на различни положби на фокусната рамнина, коишто претходно се детерминирани на специфични позиции, наместени така што да го регистрираат и измерат максималниот интензитет на рефлектираната светлина и оттука од овие податоци се создава слика за топологијата на тридимензионалната структура на забите.



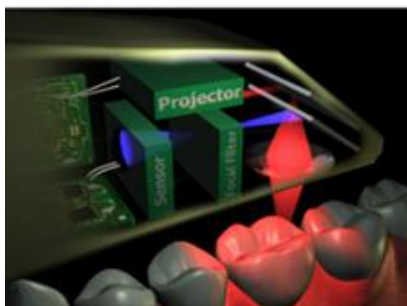
Слика 7. Површина на заб обложен со прав

Кај овој метод на скенирање не е потребно премачкување на забите со прав. Ваквата можност на скенерот му овозможува да дојде во контакт со забите и да ги скенира супрагингивалните и субгингивалните препарирани површини (сл. 9).



Слика 8. Паралелно конфокално сликање

3.Видео-снимањето уште се нарекува 3D-движечка технологија. Податоците се добиваат врз основа на принципот на активно брановидно земање примероци со структурирана светлосна проекција. Системот обезбедува активни тридимензионални слики со помош на без-оскин отворен ротирачки елемент поставен или на патот на осветлувањето или на патот на сликањето на оптичките апарати.



Слика 9. Спец. позиции на рефлектирана светлина

Интраоралните скенери во однос на поврзување на трите компоненти за изработка се поделени на т.н. - затворени системи и – отворени системи.

- Затворени системи - со можност за директна изработка

Секое скенирање кај затворен тип има предодредена патека од системот што само тој ја користи. Овој систем го користи CEREC каде скенот директно оди во системот за мелење, оставајќи ги стоматолозите без можност за избор каде да ги пратат скеновите.

- Отворен систем – без можност за директна изработка

Технологијата на дигитален отпечаток кај овој систем се состои од интраорален скенер. Во понатамошна соработка со центри за мелење на блоковите се создава отворен систем. 3М кој го создаде скенерот под име Lava Chairside соработува со Strauman (Etkon) и овластени Lava центри за мелење.

3. ДИСКУСИЈА И ЗАКЛУЧОК

Влијанието на прецизноста на скенерите во процесот на изработка на протетичко помагало можеме да го согледаме во: методите на скенирањето (контактни или неконтактни), изворот на светлина (бела светлина или ласерска монохроматска светлина), физичките карактеристики на можностите на скенирањето (движењето на носачот на модели и главата на скенерот), зголемување на резолуцијата, процесори со поголема меморија, поголем број на сензори итн. Сите набројани поединечни фактори имаат свое специфично влијание врз вкупниот збир на прецизноста на скенерот. Така, на пример, Даштевски et al. прави компаративна анализа на повеќе карактеристики кај осум скенери. Тој укажува дека вообичаено, времето на скенирањето и бројот на камери може да се поврзат со прецизноста и да се направи погрешна претпоставка за нивната поврзаност. При тоа го издвојува скенерот Zfx Evolution, кој и покрај тоа што има две камери и време на скенирање кое не е најкратко, има најголема прецизност од дури 9 μm . Согледувајќи го проблемот на послаба информираност кај стоматолозите, голем број на автори почнуваат да ги публикуваат своите трудови токму на полето на дигитализацијата и CAD/CAM технологијата.

Tarje et al. укажуваат на потребата од поголеми научни сознанија кај лекарите пред нивната употреба на дигиталната технологија. Од овие податоци можеме да заклучиме дека сите практичари кои работат на ова поле од стоматолошката протетика треба активно да се вклучат во изучувањето и правилна примена на системот, а посебно во одлуките на избор на системот кој ќе го користат во нивните ординациите за изработки на фиксно-протетички и мобилни протетички изработки.

ЛИТЕРАТУРА

- Álvarez, I., Jose, M. E., María, F., Jorge, M., Guillermo, O. 2009. On-Line Metrology with Conoscopic Holography: Beyond Triangulation Sensors. 9, 7021-7037.
- Brandestini at al. 1987. Method and apparatus for the three-dimensional registration and display of prepared teeth. U. S. Pat.No 4,837,732, Jun. 5.
- Brandestini at al. 1986. Method and apparatus for the fabrication of custom-shaped implants. U.S. Pat. No. 4,575,805, Mar. 11.
- Beuer, F., Schweiger, J., Edelhoff, D. 2008. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. Br Dent J. 10;204(9):505-11.
- Davidowitz, G., Kotick, P.G.. 2011. The use of CAD/CAM in dentistry. Dent Clin North Am. 55(3):559-70.
- Dashtevski, B., Dimitrovski, O., Spirov, V., Stavreva, N., Gigovski G. 2013. Digital Dentistry: Comparison of 3D Scanners. 18th Congress of the Balkan Stomatological Society. Skopje, Macedonia 25-28 April 1/132.
- Даштевски Б, Гугувчевски Љ, Зајков О, Петков М, Спиров В. 2014, Компаративна анализа на 3Д оптички екстраорални денални скенери. Apolonia, No. 31: 29-45.
- Durbin, D., Dennis, D., Arun, D., Ed, C. 2009. 3D dental scanner. US 7494338 B2, 24.
- Hollenbeck K., Allin T., Poel van der M. 2012. Dental Lab 3D Scanners – How they work and what works best. 3Shape Technology Research, Copenhagen, 2012
- Ireland, A.J., McNamara, C., Clover, M. J., House, K., Wenger, N., Barbour, M.E., Alemzadeh, K., Zhang, L., Sand, J.R.2008. 3D surface imaging in dentistry – what we are looking at. British Dental Journal 205, 387 - 392.
- Logozzo, S., Franceschini, G., Kilpelä, A., Caponi, M., Governi, L., Blois, L. A. 2011. Comparative Analysis Of Intraoral 3d Digital Scanners For Restorative Dentistry. The Internet Journal of Medical Technology. 5 (1).
- Nathan, B.S., Heidi, A.B., Stevens, C., Cohen, B.. 3D Digital Scanners: A High-Tech Approach to More Accurate Dental Impressions. Inside Dentistry, 2009; 5 (4).
- Roland, S., Claudia, L. 2007. CAD/CAM Systeme in Labor und Praxis. Verlag Neuer Merkur GmbH, München.
- Russell M.M., Andersson M., Dahlmo K., Razzog M., Lang B. 1995. A new computer - assisted method for fabrication of crowns and fixed partial dentures. Quinte–ssence Int, 26:757-763.
- Rubert R., et al. 2003. Interactive orthodontic care system based on intra-oral scanning of teeth. U.S. Pat. No. 6,648,640. Nov. 18.
- Spagnolo, S. G., Carla, S., Lorenzo, C. 2004. Superposed strokes analysis by conoscopic holography as an aid for a handwriting expert. J. Opt. A: Pure Appl. Opt. 6, 869.
- Sirat, G., Demetri, P. 1985. Conoscopic holography. OPTICS LETTERS / Vol. 10, No. 1/ January
- Tapie, L., Lebon, N., Mawussi, B., Fron Chabouis, H., Duret, F., Attal, J.P. 2015. Understanding dental CAD/CAM for restorations--the digital workflow from a mechanical engineering viewpoint. Int J Comput Dent. 18(1):21-44.