# CAD/CAM ФРЕЗОВАНИ ИНТРАКАНАЛНИ ИНДИВИДУАЛНИ ЩИФТОВЕ. ЛИТЕРАТУРЕН ОБЗОР

М. Методиева, DMD*, Е. Радева, DMD, PhD**

# CAD/CAM-MILLED CUSTOM INTRACANAL POSTS: A LITERATURE REVIEW

M. Metodieva, DMD*, E. Radeva, DMD, PhD**

**Резюме.** *CAD/CAM технологиите намират все по-широко приложение в денталната медицина, включително и в изработката на индивидуални интраканални щифтове. Техният напредък позволява създаването на персонализирани възстановявания с висока прецизност, адаптирани към анатомията на кореновия канал. Използването на фрезовани CAD/CAM щифтове намалява нуждата от композитни изграждания, осигурява минимална дебелина на циментовия слой и увеличава ретенцията и фрактурната резистентност.*

*Материалите за изработка на тези щифтове включват полимери, подсилени със стъклени влакна, блокове от хибридна керамика (наричана още смолисто-композитна) и цирконий. Те се класифицират според наличието на стъклена фаза и полимерна матрица в три основни групи: смолно-керамични композити, поликристални и стъклокерамични материали. Всеки материал предлага различен баланс между еластичност, якост и естетика.*

*Обработката на повърхността преди циментиране е критичен фактор за дълготрайния успех на щифтовото възстановяване. Изборът на подходящ цимент и правилен протокол за циментиране е също толкова ключов.*

*Настоящият обзор обобщава актуалните материали и техники, използвани при изработване на CAD/CAM индивидуални щифтове, с акцент върху повърхностната обработка и факторите, влияещи върху адхезията.*

**Ключови думи:** *CAD/CAM, интраканални индивидуални щифтове, хибридна керамика, цименти*

**Summary**. *CAD/CAM technologies are finding increasingly wide application in dentistry, including the fabrication of custom intracanal posts. Advances in these technologies enable the creation of high-precision, personalized restorations adapted to root canal anatomy. Milled CAD/CAM posts reduce the need for composite core build-ups, ensure a minimal cement layer thickness, and enhance retention and fracture resistance.*

*Materials used to fabricate these posts include glass fiber-reinforced polymers, hybrid ceramic blocks (also known as resin-matrix ceramics), and zirconia. They are classified into three main groups based on the presence of a glass phase and a polymer matrix: resin-ceramic composites, polycrystalline materials, and glass-ceramics. Each material offers a different balance of elasticity, strength, and aesthetics.*

*Surface treatment before cementation is critical to the long-term success of the post restoration. Choosing an appropriate cement and following the correct cementation protocol are equally crucial. This review summarizes current materials and techniques for fabricating CAD/CAM custom posts, focusing on surface treatment and factors influencing adhesion.*

**Keywords**: *CAD/CAM, custom intracanal posts, hybrid ceramics, cements.*

* Редовен докторант, катедра „Консервативно зъболечение“, ФДМ, МУ – София.

** Доцент, доктор, катедра „Консервативно зъболечение“, ФДМ, МУ – София.

## Въведение

Първата употреба на CAD/CAM (компютърно-асистиран дизайн/компютърно-асистирано производство) в денталната медицина може да се проследи в края 70-те и началото на 80-те години на XX век. Една от първите документирани употреби е била в областта на протетичната дентална медицина, по-конкретно в тази на неснемаемото протезиране – мостове и корони. През 1983 г., Франсоа Дюре, френски зъболекар, представя концепцията за CAD/CAM в денталната медицина със своя труд върху CEREC системата (Chairside Economical Restoration of the Esthetic Ceramics). CEREC системата използва компютърни технологии, за да направи дизайн и да фрезова керамични възстановявания директно в денталния кабинет, което внася революция в дентална практика [12].

CAD/CAM технологията позволява адаптацията и персонализацията на дентални възстановявания към индивидуалните нужди и предпочитания на всеки пациент. Настоящи проучвания продължават да изследват нови още по-естетични и устойчиви материали, които са биосъвместими и отговарящи на всички изисквания за функционалност. Тази система продължава да променя областта на денталната медицина, предлагайки голямо удобство, акуратност на възстановяванията, бързина и естетика за дентални лекари и техните пациенти [7]. Отново Франсоа Дюре запознава света на денталната медицина с качествата и потенциала на фиброщифтовете през 1989 г. През 1990 г. публикува първия научен труд, посветен на фиброщифтовете. За него избира да изследва карбоновите щифтове заради техните добри механични качества като: якост на опън и твърдост, електропроводимост и ниска токсичност [26]. Този материал е революционен за стоматологията, тъй като е ефективна алтернатива на металните щифтове. Модулът на еластичност на тези подсилени с влакна материали е по-близък до този на дентина, отколкото използваните преди това метални щифтове, а резултатите от клиничните проучвания са обещаващи [69].

## Дигиталната дентална медицина в помощ на пост-ендодонтските възстановявания

Дигиталната стоматология и предимствата на CAD/CAM резултират във високо прецизна, ефективна и точна система, която скъсява времето за изработка и намаля количеството на производствени грешки [65]. Следователно използването на CAD-CAM технология за производство на анатомични сглобяеми персонализирани интрарадикуларни щифтове изглежда значима опция, особено като се има предвид възможността за фрезоване както на щифта, така и на пънчето, което би елиминирало необходимостта изграждане на пънче от композитен материал [58]. Голямо предимство в следствие на така прецизно изработения CAD/CAM щифт, който приляга изключително точно на кореновия канал, е много тънкия слой цимент (50–70 μm), който е небходим за циментирането на тази конструкция. Намалява се и рискът от разлепване [67]. В допълнение се увеличава фрактурната резистентност и ретенцията – в сравнение с фабричните щифтове.

## Материали за изработка на интраканални индивидуални CAD/CAM щифтове

Различни материали могат да бъдат използвани при фрезоването с CAD/CAM – като например метал, полимери, керамика. В ранните опити за фрезоване на индивудиални щифтове с CAD/CAM са използвани циркониеви блокчета, към настоящия момент мнозинството от научни данни и опити, правени с различни материали, докладват за много добри качества на подсилените със стъклени влакна композитни материали [51]. Производителите не спират да разработват нови формули и комбинации за фрезоването с CAD/CAM, които съчетават преимуществените качества на керамиката – като механични качества и стабилност на цвета, заедно с композитните материали, които от своя страна имат близък модул на еластичност до този на дентина [3]. В зависимост от това дали съдържат стъклена фаза или полимерна матрица, CAD/CAM керамичните материали могат да бъдат разделени на три основни категории: смолисто-керамични композити, поликристални керамики и стъкломатрични керамики [39].

## Хибридна керамика

Стъклокерамиките дълго време са били водещи при фрезоването с CAD/CAM, но тяхната чупливост и значителна разлика в модула на еластичност

с естествените зъбни тъкани повишават риска от фрактури. От друга страна, композитните смоли са по-еластични, но се характеризират с недостатъчна механична якост. В отговор на това, през последните години изследователи комбинират двата материала с цел да съчетаят техните предимства и така създават смолисто-керамичните композити, познати още като хибридни керамики [45]. Според микроструктурния състав на керамиката и смолата, тези материали обикновено се разделят на два типа: нанокерамики на смолиста основа и полимерно инфилтрирани керамични мрежи (PICN). В сравнение със стъклокерамиките, смолисто-керамичните композити са: по-евтини, по-устойчиви на умора, с по-висока якост на огъване, по-малко склонни към пукнатини при циклично натоварване и по-меки, което намалява износването на фрезите по време на обработка [59].

## Поликристални керамики

Поликристалната керамика е неорганичен материал, който се отличава от стъклокерамиката с това, че не съдържа стъклена фаза, а всички кристали са плътно и равномерно подредени. Тази структура ограничава разпространението на пукнатини и определя по-високата ѝ твърдост и здравина спрямо стъклокерамичните материали, като същевременно е по-устойчива на разрушение [77]. Поради липсата на стъклена фаза, поликристалната керамика не се поддава добре на ецване с флуороводородна киселина. Освен това непрозрачността ѝ е по-изразена, в сравнение със стъклокерамиките [41].

Най-разпространените поликристални керамики на пазара са на основа на циркониев диоксид. Цирконият се отличава с изключителна твърдост и якост, като може да понесе високи натоварвания при фрактура [14]. Той има по-добра якост на огъване и устойчивост на счупване, по-нисък еластичен модул и топлопроводимост [79]. В системите CAD/CAM най-често се използва итриево-стабилизиран тетрагонален поликристален цирконий (3Y-TZP). Поради липсата на стъклена фаза не се ецва лесно и традиционната силанизация е слабо ефективна [28]. За да се подобри адхезията, повърхността се обработва чрез пясъкоструене, предизвиквайки локална фазова трансформация. Но ако налягането или частиците са прекалено големи, това може да доведе до дефекти и отслабване на материала [19].

## Стъклено-матрични керамики

Стъклено-матричните керамики, известни още като микрокристално стъкло, представляват структурна комбинация от стъклена и кристална фаза и са първият и най-често използван материал в CAD/CAM. Стъклокерамиките наподобяват композити – с керамика като подсилваща фаза и стъклена матрица [60].

Най-голямото предимство на стъклената фаза е, че позволява ецване с флуороводородна киселина, което значително улеснява адхезията към зъбните тъкани. Освен това стъклената матрица определя естетичните свойства на материала – колкото по-високо е съдържанието на стъклена фаза, толкова по-голяма е прозрачността на керамиката [68]. Въпреки това, по-високото съдържание на стъклена фаза води до по-ниска механична здравина и по-голяма податливост към умора на материала [55]. Затова добавянето на подсилващи компоненти като бял гранат, литиев силикат или циркониев диоксид позволява подобряване на механичните свойства и по-добър клиничен резултат. В зависимост от състава си, CAD/CAM стъклокерамиките се делят на: фелдшпатни керамики, стъклокерамики, подсилени с левцит (левко-гранит), литиево-силикатни стъклокерамики, литиево-силикатни стъклокерамики, подсилени с циркониев диоксид. Стъклокерамичните материали се отличават с отлични оптични качества [18, 13, 14]. Цирконият в стабилно състояние (циркониев диоксид $ZrO_2$), често наричан „керамична стомана“ [37], е признат не само заради явлението „разширение в следствие на механично напрежение“, но и поради комбинацията от изключителна здравина, висока фрактурна устойчивост и твърдост по Викерс [42, 73].

Новият клас т. нар. „хибридни керамики“ предлага редица предимства – устойчивост на фрактури, добра еластичност, лесна и прецизна обработка чрез фрезоване, висок полиращ потенциал и минимално отчупване по краищата [46, 31]. Пример за такъв материал е хибридната керамика Vita Enamic – според данните от производителя 75% от съставът ѝ е фелдшпатова кемарика и 25% е полимер. Друг такъв материал е нано-керамичния композит – Lava Ultimate Restorative с 80% състав на керамични наночастици.

## Grandio® Blocs (VOCO) - Характеристика, качества, състав и повърхностна обработка

Grandio Blocs на VOCO е нанохибриден CAD/CAM материал, съчетаващ механичните качества на керамиката с еластичността и обработваемостта на композитите [29]. Съставен е от 86% неорганични пълнители (по маса) и 14% смолиста матрица, което му придава висока флексурална якост (~333 MPa), добра износоустойчивост и естетични качества, подобни на керамичните материали. Модулът му на еластичност е близък до този на дентина, което намалява риска от фрактури и улеснява интеграцията с естествените зъбни тъкани. Материалът е лесен за фрезоване, не изисква изпичане след CAD/CAM обработка и може да бъде коригиран интраорално с композит. Това го прави особено подходящ за възстановявания тип инлей, онлей, фасети и корони. При корекция на стари реставрации с Grandio Blocs се препоръчва механична обработка с диамантен борер (bur grinding), която показва най-високи стойности на срязваща якост на връзката. Пясъкоструйното обработване също е ефективно, докато лазерната обработка с Er: YAG не дава съществени подобрения [29]. След предварителна обработка се прилагат силанов праймер и универсален адхезив, за постигане на оптимална адхезия при циментиране.

## Полиетеретеркетони

Изучават се все по-нови и нови материали за фрезоването на CAD/CAM индивидуални щифтове като такъв е Полиетеркетона (PEEK) [30]. PEEK е термопластичен полимер и показва отлична биосъвместимост, механични свойства и химическа стабилност. Модулът на еластичност на PEEK е поблизък до този на човешкия зъбен емайл и по-нисък от този на традиционните материали за щифтови изграждания, включително стъклени влакна, метали и керамика [58]. Ползите, докладвани при употребата на този нов материал са редукцията на концентрацията на стрес в щифта и по-ниската честота на коренови фрактури [35].

## Техники за изработка на индивидуални CAD/CAM фрезовани щифтове

Както при конвенционалните фабрични щифтове, така и при CAD/CAM фрезованите, има няколко техники за изработка. Разликата е най-вече свързана с метода за вземане на отпечатък от интраканалното пространство. Разграничаваме индиректна техника (полу-дигитална), директна техника (изцяло дигитален подход). В литературата се среща и т. нар. хибридна техника, при която се снема и аналогов, и дигитален отпечатък, за да се осигури 100% достоверност на работното пространството. При индиректната техника с интраорален скенер се сканира восъчен модел или снет аналогов отпечатък на препарираното вече интраканално пространство. Следва дигитален дизайн на индивудуалния щифт чрез софтуер и принтиране или фрезоване на щифта [33]. Тази техника е взета от ранен доклад, свързан с ползването на CAD/CAM, когато са се използвали циркониеви блокчета [8]. По-скорошни доклади дават данни за друг индиректен метод, при който се използва отпечатък от поливинил силоксан, вместо восък отпечатък, фрезова се напълненото с наночастици смолисто блокче и резултатът е индивидуалното възстановяване [32]. Предимствата на тази методика са по-малко време на зъболекарския стол и по-добра точност на възстановяването [75].

При директната техника отпечатък се взема в интраоралното пространство с интраорален скенер. Отпечатъкът се взема със специални сканпост накрайници, които са съвместими по размер с дриловете, използвани за препарирането на кореноканалното пространство или директно се сканира интраканалното пространство със скенера [57]. Следваща стъпка е фрезоването.

Дигиталната техника спестява клиничното време за работа и лабораторни етапи. Точността и прецизността на дигиталната техника с интраорален скенер е по-добра в сравнение със сканирането на взети аналогови отпечатъци и със сканиране на ляти гипсови модели [54, 34]. Това, което трябва да се отбележи при този подход е, че движенията на пациента, силно ограниченото интраорално пространство, влагата и постоянния слюнчен поток са фактори, свързани с пациента, които силно влияят на процеса на сканиране и могат да го компроментират [34].

## Обработка на щифтовата повърхност

Адхезията между щифтовото изграждане, зъбната тъкан и цимента е от ключово значение за дългосрочния успех на лечението [9]. Недостатъчната адхезия води до слаба маргинална адаптация, микропросмукване, ниска задръжка и понижена устойчивост на фрактура [43, 15]. Освен микромеханичното задържане, химичната връзка с повърхността на възстановяването е също важна [6, 20]. Силанизацията улеснява химичното свързване между хидрофобния композитен цимент и хидрофилната керамика [49, 64].

За създаване на микромеханична задръжка се прилагат силанизиращи и прайминг агенти върху микроретенционни повърхности [21]. За да се увеличи площта на тези повърхности и да се подобри хидрофилността, се прилагат различни повърхностни обработки, включително: ецване с киселинни агенти [6, 25], силикатно покритие [4, 23, 24], механична абразия с диамантени инструменти [51, 52], песъкоструйна обработка [6, 25, 44, 5], лазери [43, 15, 6, 23, 24, 17, 36], плазма, както и комбинации от тези методи [22]. Хидрофлуорната киселина (HF) създава микропори чрез селективно отстраняване на стъклената фаза, подпомагайки механичната адхезия [17]. Въпреки това, липсата на стъклена фаза при някои смолисти керамики ограничава ефективността на HF [30], а нейната токсичност представлява риск за здравето [24]. Обработката чрез песъкоструене осигурява грапава и чиста повърхност, но ефективността ѝ зависи от множество фактори: размер на частиците, налягане, разстояние, време и ъгъл на въздействие [63]. Прекомерното налягане може да създаде пукнатини и да отслаби материала [30]. Лазерите, използвани в денталната практика, включват: Er: YAG, Er, Cr: YSGG, Nd: YAG и фемтосекундни лазери [43, 6, 25, 23, 24, 30, 27]. Особено обещаващ е Er: YAG, тъй като дължината на вълната му съвпада с пиковете на абсорбция на водата [63]. Лазерната обработка обаче може да предизвика термични напрежения, затова настройките, особено мощността, са от критично значение [30, 38]. При лабораторно (in vitro) изследване, направено през 2025 г. се стига до заключенията, че комбинираната употреба на песъкоструене и киселинно ецване води до по-висока якост на свързване и по-добра повърхностна грапавост, в сравнение с прилагането на всяка от процедурите поотделно. Когато се използват самостоятелно, и двете техники постигат сходни резултати, но съвместното им приложение показва синергичен ефект [74]. Според друго скорошно проучване, сравняващо ефекта от различни техники за повърхностна обработка върху хибридни CAD/CAM материали, най-добра якост на срязване е отчетена при прилагане на пясъкоструене с алуминиев оксид, последвано от силанизиране. От друга страна, киселинното ецване с HF води до повишаване на повърхностната енергия, но не и на адхезивната якост, особено при материали с по-ниско неорганично съдържание (например VarseoSmile Crown Plus). Авторите заключават, че микромеханичната обработка е по-ефективна от химическата и препоръчват да се избягва HF при хибридни CAD/CAM материали [61].

## Материали, използвани за циментиране

Много проучвания са направени в посоката да се открият най-добрите методи за подсилване на връзката между интраканалния щифт-циментиращото средство и повърхността на кореноканалния дентин. Голям процент от неуспешните случаи на щифтовите възстановявания са именно поради компрометирана връзка между дентина и щифта [56, 16]. Най-добри резултати се наблюдават при почистването със спирт и обработката на щифтовата повърхност с бонд [50]. Изучаването на тези въпроси, с цел осигуряването на още по-добра адхезия и минимизирането на провалените случаи, продължава. С развитието на адхезивната дентална медицина и все по-забележимият прогрес на адхезивните продукти, тепърва предстои да се утвърди още по-обещаващ протокол на обработка. След фрезоването на индивидуалния щифт, механичната и химична обработка на интраканалното пространство и повърхността на самия щифт, следва друг ключов момент, отговорен за дълготрайността на изграждането – циментирането на шифта в канала. Циментите, използвани в стоматологията, се класифицират според химичния им състав и приложението им [66]. Независимо от избора на материал, той трябва да притежава консистенция и дебелина на филма, подходяща за циментиране [10, 52, 1]. В зависимост от химичния им строеж денталните цименти могат да бъдат на водна, маслена или смолиста основа. Циментите, използвани за нуждите на временното циментиране, са най-често на маслена основа [66, 76]. Тези за постоянно циментиране са на водна или смолиста основа, като всеки има своята индикация за употреба [70]. Когато са на водна основа, по време на употребата им пре-

търпяват киселинна реакция и съответно стават с киселинен характер [48]. Те не са адхезивни или имат ниска якост на свързване с твърдите тъкани на зъба [47]. Циментите на смолиста основа са най-скорошно развитото циментиращо средство за денталните нужди. Към днешна дата те формират добро химично свързване с дентина и емайла, имат по-добра свързваща връзка и предсказуемост, в сравнение с миналото [40, 78, 72]. Делят се според това дали са самоадхезивни или се налага предварителен адхезивен протокол (с ецване, бонд); друга класификация е според начина им на полимеризация – светлинна; химио- или двойнополимеризиращи. Подходящи двойно полимеризиращи цименти са например RelyX Unicem (3M ESPE); Panavia (Kuraray). Те са най-често използваните цименти при циментирането на CAD/CAM фрезованите щифтове. Прогресът и изучаването на химичните свойства на тези цименти продължава.

## Клинична ефективност на CAD/CAM щифтовете

Наличните in vitro и in vivo проучвания показват, че индивидуално фрезованите CAD/CAM щифтове демонстрират добра клинична устойчивост, особено когато са изработени от материали с модул на еластичност, близък до този на дентина (напр. Grandio Blocs, PEEK). Съобщава се за по-нисък риск от коренови фрактури и по-добра адаптация към канала в сравнение с фабричните фиброщифтове [62, 2]. Въпреки това дългосрочни клинични изследвания с проследяване над 5–10 години са все още ограничени. Необходима е по-широка база от данни, за да се направят сигурни заключения относно преживяемостта и устойчивостта на тези конструкции при различни клинични условия.

## Икономически аспекти и ограничения в приложението на CAD/CAM щифтовете

Въпреки доказаните предимства по отношение на точност и естетика, CAD/CAM фрезованите щифтове изискват значителни първоначални инвестиции – в софтуер, фрезоващи устройства и обучение на персонала. В някои случаи, разходите за индивидуален CAD/CAM щифт могат да бъдат значително по-високи в сравнение със стандартни пост-ендодонтски възстановявания, което ограничава широкото им приложение в ежедневната практика [53]. Въпреки това намаленият риск от повторни процедури, по-добрата биомеханична устойчивост и естетичен резултат могат да оправдаят по-високата цена в дългосрочен план, което остава обект на бъдещи проучвания.

## Библиография


1. Aker Sagen M, Dahl JE, Matinlinna JP, Tibballs JE, Rønold HJ. The influence of the resin-based cement layer on ceramic-dentin bond strength. Eur J Oral Sci. 2021 Aug 31; 129(4).
2. Al-Dabbagh RA, Sindi MA, Sanari MA, Manna AI, Al-Dabbagh MA. Effect of a circumferential ferrule on the survival and success of endodontically treated teeth restored with fiber posts: A systematic review and meta-analysis. J Prosthet Dent. 2024 Dec; 132(6): 1251–9.
3. al-Qarni FD. Customized Post and Cores Fabricated with CAD/CAM Technology: A Literature Review. Int J Gen Med. 2022 May; Volume 15: 4771–9.
4. Alp G, Subaşı MG, Johnston WM, Yilmaz B. Effect of different resin cements and surface treatments on the shear bond strength of ceramic-glass polymer materials. J Prosthet Dent. 2018 Sep; 120(3): 454–61.
5. Alp G, Subaşı MG, Johnston WM, Yilmaz B. Effect of different resin cements and surface treatments on the shear bond strength of ceramic-glass polymer materials. J Prosthet Dent. 2018 Sep; 120(3) :454–61.
6. Ataol AS, Ergun G. Repair bond strength of resin composite to bilayer dental ceramics. J Adv Prosthodont. 2018; 10(2): 101.
7. Ausiello P, Franciosa P, Martorelli M, Watts DC. Mechanical behavior of post-restored upper canine teeth: A 3D FE analysis. Dental Materials. 2011 Dec 1; 27(12): 1285–94.
8. Awad MA, Marghalani TY. Fabrication of a custom-made ceramic post and core using CAD-CAM technology. J Prosthet Dent. 2007 Aug; 98(2): 161–2.
9. Awad MM, Albedaiwi L, Almahdy A, Khan R, Silikas N, Hatamleh MM, et al. Effect of universal adhesives on microtensile bond strength to hybrid ceramic. BMC Oral Health. 2019 Dec 6; 19(1): 178.
10. Bagheri R. Film thickness and flow properties of resin-based cements at different temperatures. J Dent (Shiraz). 2013 Jun; 14(2): 57–63.
11. Bahadır HS, Bayraktar Y. Evaluation of the repair capacities and color stabilities of a resin nanoceramic and hybrid CAD/CAM blocks. J Adv Prosthodont. 2020; 12(3): 140.
12. Barizon KTL, Bergeron C, Vargas MA, Qian F, Cobb DS, Gratton DG, et al. Ceramic materials for porcelain veneers. Part I: Correlation between translucency parameters and contrast ratio. J Prosthet Dent. 2013 Nov; 110(5): 397–401.
13. Barizon KTL, Bergeron C, Vargas MA, Qian F, Cobb DS, Gratton DG, et al. Ceramic materials for porcelain

veneers: part II. Effect of material, shade, and thickness on translucency. J Prosthet Dent. 2014 Oct; 112(4): 864–70.
14. Barizon KTL, Bergeron C, Vargas MA, Qian F, Cobb DS, Gratton DG, et al. Ceramic materials for porcelain veneers: Part II. Effect of material, shade, and thickness on translucency. J Prosthet Dent [Internet]. 2014 Oct 1 [cited 2025 Jun 20]; 112(4): 864–70. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022391314002601.
15. Barutcigil K, Barutcigil Ç, Kul E, Özarslan MM, Buyukkaplan US. Effect of Different Surface Treatments on Bond Strength of Resin Cement to a CAD/CAM Restorative Material. Journal of Prosthodontics. 2019 Jan 23; 28(1): 71–8.
16. Bateman G, Ricketts DNJ, Saunders WP. Fibre-based post systems: a review. Br Dent J. 2003 Jul 12; 195(1): 43–8.
17. Bayraktar Y, Arslan M, Demirtag Z. Repair bond strength and surface topography of resin-ceramic and ceramic restorative blocks treated by laser and conventional surface treatments. Microsc Res Tech. 2021 Jun 8; 84(6): 1145–54.
18. Belli R, Petschelt A, Hofner B, Hajtó J, Scherrer SS, Lohbauer U. Fracture Rates and Lifetime Estimations of CAD/CAM All-ceramic Restorations. J Dent Res. 2016 Jan 1; 95(1): 67–73.
19. Blatz MB, Vonderheide M, Conejo J. The Effect of Resin Bonding on Long-Term Success of High-Strength Ceramics. J Dent Res. 2018 Feb 6; 97(2): 132–9.
20. Blatz MB, Sadan A, Kern M. Resin-ceramic bonding: A review of the literature. J Prosthet Dent. 2003 Mar; 89(3): 268–74.
21. Blatz MB, Conejo J, Alammar A, Ayub J. Current Protocols for Resin-Bonded Dental Ceramics. Dent Clin North Am. 2022 Oct; 66(4): 603–25.
22. Castro EF de / AVLB / NG / AOS de / DCT dos S / GM. Adhesion, Mechanical Properties, and Microstructure of Resin-matrix CAD-CAM Ceramics. J Adhes Dent. 2020.
23. Çelik E, Sahin SC, Dede DÖ. Shear Bond Strength of Nanohybrid Composite to the Resin Matrix Ceramics After Different Surface Treatments. Photomed Laser Surg. 2018 Aug; 36(8): 424–30.
24. Çelik E, Şahin SC, Dede DÖ. Effect of surface treatments on the bond strength of indirect resin composite to resin matrix ceramics. J Adv Prosthodont. 2019; 11(4): 223.
25. Cengiz-Yanardag E, Kurtulmus Yilmaz S, Karakaya I, Ongun S. Effect of Different Surface Treatment Methods on Micro-Shear Bond Strength of CAD-CAM Restorative Materials to Resin Cement. J Adhes Sci Technol. 2019 Jan 17; 33(2): 110–23.
26. Cunha-Cruz J, Wataha JC, Zhou L, Manning W, Trantow M, Bettendorf MM, et al. Treating Dentin Hypersensitivity. The Journal of the American Dental Association. 2010 Sep 1; 141(9): 1097–105.
27. Demirtag Z, Culhaoglu A. Surface Roughness of Ceramic-Resin Composites After Femtosecond Laser Irradiation, Sandblasting or Acid Etching and Their Bond Strength With and Without Silanization to a Resin Cement. Oper Dent. 2019 Mar 1; 44(2): 156–67.
28. Dena CNSD. A systematic review of the clinical survival of zirconia implants. Clin Oral Investig. 2016.
29. Dikici B, Türkeş Başaran E, Şirinsükan N, Can E. Repair Bond Strength and Surface Roughness Evaluation of CAD/CAM Materials After Various Surface Pretreatments. Coatings. 2025 Apr 7; 15(4): 432.
30. El-Damanhoury HM, A. Elsahn N, Sheela S, Gaintantzopoulou MD. Adhesive luting to hybrid ceramic and resin composite CAD/CAM Blocks: Er: YAG Laser versus chemical etching and micro-abrasion pretreatment. J Prosthodont Res. 2021; 65(2): 225–34.
31. Facenda JC, Borba M, Corazza PH. A literature review on the new polymer-infiltrated ceramic-network material (PICN). J Esthet Restor Dent. 2018 Jul; 30(4): 281–6.
32. Falcão Spina DR, da Costa RG, Correr GM, Rached RN. Scanning of root canal impression for the fabrication of a resin CAD-CAM-customized post-and-core. J Prosthet Dent. 2018 Aug; 120(2): 242–5.
33. Farah RI, Aloraini AS, Al-Haj Ali SN. Fabrication of Custom Post-And-Core Using a Directly Fabricated Silicone Pattern and Digital Workflow. Journal of Prosthodontics. 2020 Aug 2; 29(7): 631–5.
34. Flügge T V., Schlager S, Nelson K, Nahles S, Metzger MC. Precision of intraoral digital dental impressions with iTero and extraoral digitization with the iTero and a model scanner. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 2013 Sep 1; 144(3): 471–8.
35. Galgali DrNR, Dange DrSP, Mahale DrKM, Khalikar DrSA. A novel approach of restoring endodontically treated tooth by using cad-cam milled Peek post and core system: A case report. International Journal of Applied Dental Sciences. 2021 Oct 1; 7(4): 09–13.
36. García-Sanz V, Paredes-Gallardo V, Mendoza-Yero O, Carbonell-Leal M, Albaladejo A, Montiel-Company JM, et al. The effects of lasers on bond strength to ceramic materials: A systematic review and meta-analysis. PLoS One. 2018 Jan 2; 13(1): e0190736.
37. GARVIE RC, HANNINK RH, PASCOE RT. Ceramic steel? Nature. 1975 Dec; 258(5537): 703–4.
38. Gökçe B, Özpinar B, Dündar M, Çömlekoglu E, Sen BH, Güngör MA. Bond Strengths of All-Ceramics: Acid vs Laser Etching. Oper Dent. 2007 Mar 1; 32(2): 173–8.
39. Gonzaga Car. CAD/CAM post-and-core using different esthetic materials: Fracture resistance and bond strenghts. 2017.
40. Goulart M, Borges Veleda B, Damin D, Bovi Ambrosano GM, Coelho de Souza FH, Erhardt MCG. Preheated composite resin used as a luting agent for indirect restorations: effects on bond strength and resin-dentin interfaces. Int J Esthet Dent. 2018; 13(1): 86–97.
41. Gracis S, Thompson V, Ferencz J, Silva N, Bonfante E. A New Classification System for All-Ceramic and Ceramic-like Restorative Materials. Int J Prosthodont. 2016 May; 28(3): 227–35.
42. Guazzato M, Albakry M, Ringer SP, Swain

M V. Strength, fracture toughness and microstructure of a selection of all-ceramic materials. Part II. Zirconia-based dental ceramics. Dent Mater. 2004 Jun; 20(5): 449–56.
43. Günal-Abduljalil B, Önöral Ö, Ongun S. Micro-shear bond strengths of resin-matrix ceramics subjected to different surface conditioning strategies with or without coupling agent application. J Adv Prosthodont. 2021; 13(3): 180.
44. Günal-Abduljalil B, Önöral Ö, Ongun S. Micro-shear bond strengths of resin-matrix ceramics subjected to different surface conditioning strategies with or without coupling agent application. J Adv Prosthodont. 2021; 13(3): 180.
45. Xinwei GUO Zhimin ZHANG Hongyan ZHAO. Classification and research progress of CAD/CAM ceramic materials. Ecomaterials, 4(1), Article 22. 2024.
46. He LH, Swain M. A novel polymer infiltrated ceramic dental material. Dent Mater. 2011 Jun; 27(6): 527–34.
47. Heboyan A, Vardanyan A, Karobari MI, Marya A, Avagyan T, Tebyaniyan H, et al. Dental Luting Cements: An Updated Comprehensive Review. Molecules. 2023 Feb 8; 28(4): 1619.
48. Hiraishi N, Kitasako Y, Nikaido T, Foxton RM, Tagami J, Nomura S. Acidity of conventional luting cements and their diffusion through bovine dentine. Int Endod J. 2003 Sep 2; 36(9): 622–8.
49. Hu M, Weiger R, Fischer J. Comparison of two test designs for evaluating the shear bond strength of resin composite cements. Dental Materials. 2016 Feb; 32(2): 223–32.50. Imai D, Mine A, Ezaki R, Nakatani H, Matsumoto M, Hagino R, et al. Does the bonding effectiveness of a fiber post/resin composite benefit from mechanical or chemical treatment? Seven methods for saliva-contaminated surfaces. J Prosthodont Res. 2022; 66(2): JPR_D_21_00015.
51. Jardim JS, Lemos CAA. The role of intraoral scanning in the fully digital workflow for post and core restorations: A scoping review. J Dent. 2024 Aug 1; 147:105100.
52. Kious AR, Myers ML, Brackett WW, Haywood VB. Film thickness of crown disclosing material and its relevance to cementation. J Prosthet Dent. 2014 Nov 1; 112(5): 1246–9.
53. Kumbuloglu O SAOM. A review of the current literature on the CAD/CAM systems used for post-endodontic restorations and their cost-effectiveness. Int J Comput Dent. 2021.
54. Kurbad A. Impression-free production techniques. Int J Comput Dent. 2011; 14(1): 59–66.
55. Lambert H, Durand JC, Jacquot B, Fages M. Dental biomaterials for chairside CAD/CAM: State of the art. J Adv Prosthodont. 2017; 9(6): 486. 56. Lewis R, Smith BG. A clinical survey of failed post retained crowns. Br Dent J. 1988 Aug 6; 165(3): 95–7.
57. Libonati A, Di Taranto V, Gallusi G, Montemurro E, Campanella V. CAD/CAM Customized Glass Fiber Post and Core With Digital Intraoral Impression: A Case Report. Clin Cosmet Investig Dent. 2020 Feb; Volume 12:17–24.
58. Liu P, Deng XL, Wang XZ. Use of a CAD/CAM-fabricated glass fiber post and core to restore fractured anterior teeth: A clinical report. J Prosthet Dent. 2010 Jun; 103(6): 330–3.
59. Mainjot AK, Dupont NM, Oudkerk JC, Dewael TY, Sadoun MJ. From Artisanal to CAD-CAM Blocks. J Dent Res. 2016 May 1; 95(5): 487–95.
60. Mao L, Kaizer MR, Zhao M, Guo B, Song YF, Zhang Y. Graded Ultra-Translucent Zirconia (5Y-PSZ) for Strength and Functionalities. J Dent Res. 2018 Oct 25; 97(11): 1222–8.
61. Mao Z, Schmidt F, Beuer F, Yassine J, Hey J, Prause E. Effect of surface treatment strategies on bond strength of additively and subtractively manufactured hybrid materials for permanent crowns. Clin Oral Investig. 2024 Jun 13; 28(7): 371.
62. Mishra L, Khan AS, Velo MM de AC, Panda S, Zavattini A, Rizzante FAP, et al. Effects of Surface Treatments of Glass Fiber-Reinforced Post on Bond Strength to Root Dentine: A Systematic Review. Materials. 2020 Apr 23; 13(8): 1967.
63. Motevasselian F, Amiri Z, Chiniforush N, Mirzaei M, Thompson V. In Vitro Evaluation of the Effect of Different Surface Treatments of a Hybrid Ceramic on the Microtensile Bond Strength to a Luting Resin Cement. J Lasers Med Sci. 2019 Oct 1; 10(4): 297–303.
64. Nagayassu MP, Shintome LK, Uemura ES, Araújo JEJ de. Effect of surface treatment on the shear bond strength of a resin-based cement to porcelain. Braz Dent J. 2006; 17(4): 290–5.
65. Novais V, Quagliatto P, Bona A, Correr-Sobrinho L, Soares C. Flexural modulus, flexural strength, and stiffness of fiber-reinforced posts. Indian Journal of Dental Research. 2009; 20(3): 277.
66. Pameijer CH. A Review of Luting Agents. Int J Dent. 2012; 2012: 1–7.
67. Ruschel GH, Gomes ÉA, Silva-Sousa YT, Pinelli RGP, Sousa-Neto MD, Pereira GKR, et al. Mechanical properties and superficial characterization of a milled CAD-CAM glass fiber post. J Mech Behav Biomed Mater. 2018 Jun 1; 82:187–92.
68. Ruse ND, Sadoun MJ. Resin-composite Blocks for Dental CAD/CAM Applications. J Dent Res. 2014 Dec 24; 93(12): 1232–4.
69. Soares CJ, Santana FR, Pereira JC, Araujo TS, Menezes MS. Influence of airborne-particle abrasion on mechanical properties and bond strength of carbon/epoxy and glass/bis-gma fiber-reinforced resin posts. J Prosthet Dent. 2008 Jun 1; 99(6): 444–54.
70. Sokolowski G, Szczesio A, Bociong K, Kaluzinska K, Lapinska B, Sokolowski J, et al. Dental Resin Cements – The Influence of Water Sorption on Contraction Stress Changes and Hydroscopic Expansion. Materials. 2018 Jun 8; 11(6): 973. 71. SRIAMPORN T, THAMRONGANANSKUL N, BUSABOK C, POOLTHONG S, UO M, TAGAMI J. Dental zirconia can be etched by hydrofluoric acid. Dent Mater J. 2014; 33(1): 79–85.
72. Tanweer N, Qazi FUR, Das G, Bilgrami A, Basha S, Ahmed N, et al. Effect of Erosive Agents on Surface

Characteristics of Nano-Fluorapatite Ceramic: An In-Vitro Study. Molecules. 2022 Jul 22; 27(15): 4691.
73. Turp V, Tuncelli B, Sen D, Goller G. Evaluation of hardness and fracture toughness, coupled with microstructural analysis, of zirconia ceramics stored in environments with different pH values. Dent Mater J. 2012; 31(6): 891–902.
74. Usta Kutlu İ, Yerliyurt K. The impact of various surface treatments and Er-YAG laser irradiation on the bond strength of resin matrix CAD/CAM ceramics to resin cement. Lasers Med Sci. 2025 Apr 21; 40(1): 201.
75. Vinothkumar T, Kandaswamy D, Chanana P. CAD/CAM fabricated single-unit all-ceramic post-core-crown restoration. Journal of Conservative Dentistry. 2011; 14(1): 86.
76. Wingo K. A Review of Dental Cements. J Vet Dent. 2018 Mar 27; 35(1): 18–27.
77. Yamaguchi S, Kani R, Kawakami K, Tsuji M, Inoue S, Lee C, et al. Fatigue behavior and crack initiation of CAD/CAM resin composite molar crowns. Dental Materials [Internet]. 2018 Oct 1 [cited 2025 Jun 20]; 34(10): 1578–84. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0109564118303312.
78. ZELLER DK, FISCHER J, ROHR N. Viscous behavior of resin composite cements. Dent Mater J. 2021 Jan 25; 40(1): 253–9.
79. Zhang Y, Mai Z, Barani A, Bush M, Lawn B. Fracture-resistant monolithic dental crowns. Dental Materials [Internet]. 2016 Mar 1 [cited 2025 Jun 20]; 32(3): 442–9. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0109564115005138.

Постъпила – 29.10.2025 г.
Приета за печат – 25.09.2026 г.

**Адрес за кореспонденция**
проф. д-р Елка Радева, дм
Катедра по Консервативно зъболечение
ФДМ, МУ – София
ул. „Георги Софийски“1
София 1431

**Address for Correspondence**
Prof. Elka Radeva, DMD, PhD
Department of Conservative Dentistry
FDM, Medical University – Sofia
1 Georgi Sofiyski St.
Sofia 1431