ИН ВИТРО ИЗСЛЕДВАНЕ ФРАКТУРНАТА РЕЗИСТЕНТНОСТ НА ЗЪБИ, ВЪЗСТАНОВЕНИ С CAD/CAM ИНДИВИДУАЛНИ ЕСТЕТИЧНИ ЩИФТОВЕ

Е. Радева, DMD, PhD*, М. Методиева, DMD**,
Д. Костурков, DMD, PhD*** Р. Радев, DMD****, Т. Узунов, DMD, PhD*****

IN VITRO STUDY OF THE FRACTURE RESISTANCE OF TEETH RESTORED WITH CAD/CAM INDIVIDUAL AESTHETIC POSTS

E. Radeva, DMD, PhD*, M. Metodieva, DMD**,
D. Kosturkov, DMD, PhD*** R. Radev, DMD****, T. Uzunov, DMD, PhD*****

Резюме. ***Въведение:*** *Възстановяването на ендодонтски лекувани зъби с голяма загуба на твърди зъбни тъкани често изисква използване на радикуларни щифтове с цел ретенция на коронарното изграждане. CAD/CAM индивидуалните естетични щифтове представляват съвременна алтернатива, позволяваща прецизна адаптация към морфологията на кореновия канал и потенциално по-благоприятно разпределение на напреженията.*

Цел: *Да се изследва фрактурната резистентност на ендодонтски лекувани зъби, възстановени с CAD/CAM индивидуални естетични радикуларни щифтове, преди и след термоциклиране.*

Материал и методи: *В изследването са включени 24 екстрахирани човешки зъба с един коренов канал. След рентгенографски и стереомикроскопски контрол образците се стандартизират, обработват се ендодонтски (ProTaper Gold до F3), обтурират (ADSEAL + гутаперка F3) и се препарират за радикуларен щифт. Индивидуални щифтове се изработват чрез CAD/CAM фрезоване от нано-хибриден композитен диск Grandio Disc (VOCO). Циментирането се извършва със самоадхезивен композитен цимент (RelyX U200, 3M), след предварителна повърхностна обработка на щифтовете. Фрактурната резистентност се тества на универсална машина MultiTest 2,5-i при натоварване под 45°.*

Summary. ***Introduction:*** *The restoration of endodontically treated teeth with extensive loss of hard dental tissues often requires the use of radicular posts to retain the coronal construction. CAD/CAM individual aesthetic posts represent a modern alternative, allowing precise adaptation to the root canal morphology and potentially more favorable stress distribution.*

Objective: *To investigate the fracture resistance of endodontically treated teeth restored with CAD/CAM individual aesthetic radicular posts before and after thermocycling.*

Material and methods: *The study included 24 extracted human teeth with one root canal. After radiographic and stereomicroscopic control, the specimens were standardized, endodontically processed (ProTaper Gold up to F3), obturated (ADSEAL + gutta-percha F3), and prepared for a radicular post. Individual posts are fabricated by CAD/CAM milling from a nano-hybrid composite disc, Grandio Disc (VOCO). Cementation is performed with self-adhesive composite cement (RelyX U200, 3M), after preliminary surface treatment of the posts. Fracture resistance is tested on a universal machine, MultiTest 2.5-i, at a load below 45°. The specimens are divided into two groups: without thermocycling (n=12) and after thermocycling (n=12; 1500 cycles between 5 °C and 55 °C). The data were processed with IBM SPSS Statistics 26.*

* Професор, доктор, катедра „Консервативно зъболечение“, ФДМ, МУ – София.
** Редовен докторант, катедра „Консервативно зъболечение“, ФДМ, МУ – София.
*** Главен асистент, доктор, катедра „Консервативно зъболечение“, ФДМ, МУ – София.
**** Асистент, катедра „Протетична дентална медицина“, ФДМ, МУ – София.
***** Професор, доктор, катедра „Протетична дентална медицина“, ФДМ, МУ – София.

Образците се разделят на две групи: без термоциклиране (n=12) и след термоциклиране (n=12; 1500 цикъла между 5 °C и 55 °C). Данните са обработени с IBM SPSS Statistics 26.

Резултати: *Термоциклирането води до статистически значимо понижаване на силата на разрушаване от 330,66 ± 99,68 N до 242,93 ± 89,13 N, докато якостта намалява от 10,44 ± 2,25 MPa до 8,57 ± 2,84 MPa без статистически значима разлика (p=0,060). Наблюдават се вариабилни модели на разрушаване, включително адхезионни фрактури по интерфейса „щифт–дентин“ и случаи на невъзстановими коренови фрактури след термоциклиране.*

Заключение: *Термоциклирането редуцира фрактурната резистентност на CAD/CAM композитните индивидуални щифтови конструкции и потенциално компрометира дългосрочната им надеждност.*

Ключови думи: *CAD/CAM щифтове, ендодонтски лекувани зъби, радикуларни щифтове, термоциклиране, фрактурна резистентност*

Results: *Thermal cycling resulted in a statistically significant decrease in fracture strength from 330.66 ± 99.68 N to 242.93 ± 89.13 N, while the strength decreased from 10.44 ± 2.25 MPa to 8.57 ± 2.84 MPa without a statistically significant difference (p=0.060). Variable failure patterns were observed, including adhesive fractures at the post-dentin interface and cases of irreparable root fractures after thermal cycling.*

Conclusion: *Thermal cycling reduces the fracture resistance of CAD/CAM composite individual post constructs and potentially compromises their long-term reliability. Further studies with different adhesive protocols and aging regimes are needed to clarify the clinical relevance of the observed trend and to optimize the conditions for long-term success.*

Keywords: *CAD/CAM posts, endodontically treated teeth, radicular posts, thermocycling, fracture resistance*

Въведение

Ендодонтски лекуваните зъби се характеризират с по-висок риск от фрактура в сравнение с виталните зъби, поради комплекс от фактори като загуба на твърди зъбни тъкани вследствие на кариес, травма или ендодонтски достъп, както и промени в механичните свойства на дентина след химиомеханичната обработка [20, 11]. Клинични проучвания показват, че прогнозата на ендодонтски лекуваните зъби зависи в значителна степен от типа постендодонтско възстановяване и количеството остатъчна коронарна структура (ferrule effect), а не единствено от качеството на кореновото запълване [15, 18].

Традиционно използваните метални щифтове показват висока механична якост, но поради високия си модул на еластичност могат да индуцират напрежения, несъответстващи на тези в дентина, което увеличава риска от вертикална коренова фрактура – усложнение, което често води до екстракция. Освен това металните щифтове имат ограничено приложение в естетичната зона поради възможност за просветляване и оцветяване на коронарната конструкция [10].

Съвременните тенденции са насочени към използване на естетични материали и техники, които осигуряват по-добра биомеханична съвместимост с дентина и редуцират вероятността от невъзстановими фрактури [13]. Въвеждането на естетични фибро-щифтове, характеризиращи се с по-близък до дентина модул на еластичност, е свързано с по-благоприятно разпределение на напреженията и по-често възникване на възстановими фрактури [10].

С развитието на CAD/CAM технологиите се разработват индивидуално изработени радикуларни щифтове, които позволяват прецизна адаптация към морфологията на кореновия канал, редуциране на дебелината на циментовия слой и потенциално подобряване на биомеханичните свойства на възстановяването [3, 5]. Индивидуалните CAD/CAM щифтове могат да се изработват от различни материали (керамики, композити, фибро-композитни блокове), като композитните CAD/CAM дискове представляват интерес поради висока хомогенност, предварителна полимеризация и добър потенциал за адхезивна връзка [6, 8, 12].

Съществен фактор за дълготрайната клинична ефективност на щифтовите възстановявания е устойчивостта на адхезивната система „дентин–цимент–щифт“ във влажна и динамична орална среда. Температурните промени в устната кухина могат да индуцират термична умора, разлика в коефициента на термично разширение между използваните материали и деградация на адхезивната зона [21].

Термоциклирането е широко използван ин витро метод за симулиране на процесите на термично стареене чрез циклично излагане на образците

на ниски и високи температури. Наличните данни относно влиянието на термоциклирането върху фрактурната резистентност на CAD/CAM индивидуални радикуларни щифтове са ограничени и противоречиви, което обуславя необходимостта от допълнителни експериментални изследвания [6, 8].

Цел: Да се изследва ин-витро фрактурната резистентност на ендодонтски лекувани зъби, възстановени с CAD/CAM индивидуални естетични щифтове, преди и след термоциклиране.

Материал и методи

Подбор на екстрахираните зъби

В изследването са включени 24 екстрахирани човешки зъба с един коренов канал. Всички образци се подлагат на рентгенографски контрол за наличие на един коренов канал и за изключване на зъби с дентикли, калцифицирани канали, външна/вътрешна резорбция и предходно ендодонтско лечение. След това се извършва стереомикроскопско изследване (Leica S6; x6,3) на кореновата повърхност за наличие на пукнатини, фрактури, кариозни лезии и артефактни увреждания. Само зъби без дефекти са включени в изследването.

По време на всички експериментални етапи зъбите се съхраняват при 100% влажност в 1% разтвор на тимол във физиологичен разтвор при 37 °C.

Стандартизация на образците

Коронарната част на всички зъби се отстранява с диамантен диск под водно-въздушно охлаждане. Срезът е перпендикулярен на надлъжната ос на зъба. Получената дължина на кореновата част е 15 mm ± 0,5 mm, измерена от върха на корена.

Ендодонтска обработка на екстрахираните зъби

Работната дължина е определена с ръчна K-пила ISO 10, като инструментът се въвежда до видимост през апикалния отвор и се редуцира с 1 mm. Кореновите канали се обработват с Ni-Ti инструменти ProTaper Gold (Dentsply Sirona, Switzerland) до размер F3 (0.30/09). По време на обработката се извършва обилна иригация с 5,25% NaOCl след всеки инструмент, както и рекапитулация с ръчна пила № 10/15.

Финалното промиване включва 3 ml 5,25% NaOCl, 5 ml дестилирана вода и 3 ml 17% EDTA за 1 min. Промивките се извършват с 27G странично скосена игла на 2 mm по-късо от работната дължина. Каналите се подсушават с хартиени щифтове F3.

Запълването на кореновите канали се извършва с ADSEAL (Meta Biomed, Korea) – сийлър на базата на епоксидна смола в комбинация с гутаперкови щифтове ProTaper Gold F3 по метода на централна щифтова техника. Извършват се контролни рентгенографии за оценка качеството на запълването.

Подготовка на кореновия канал за радикуларен щифт

Интраканалното пространство се препарира поетапно с минимален натиск с цел пасивно и аксиално навлизане на трансфериращ ScanPost (Ø1,6 mm; дължина 9 mm). Използва се Peeso Reamer #5 при 1500–2000 rpm. Препарацията се стандартизира до дълбочина 9 mm при запазване на апикална бариера 5–6 mm от кореновата обтурация. След препарацията каналът се промива с 3 ml 5,25% NaOCl, 5 ml дестилирана вода и се подсушава с хартиени щифтове.

CAD/CAM протокол и изработка на щифтовете

В кореновия канал се ажустира ScanPost (PS 1.6), който навлиза пасивно до дъното на препарацията. Всеки зъб се сканира двукратно с интраорален скенер Trios 5 (3Shape, Дания): първо сканиране на коронарната част и препарацията, второ сканиране със ScanPost. Двата скана се наслагват в CAD софтуер Dental System® (3Shape, Дания). Пространството за цимент се задава 50 μm. Финалният дизайн се експортира във .stl формат за производство.

Щифтовете се фрезоват от нано-хибриден композитен диск Grandio Disc (VOCO), съдържащ 86% неорганични пълнители и 14% полимерна матрица. Материалът е напълно полимеризиран и не изисква синтероване.

Адхезивен протокол за циментиране

Интраканалното пространство се промива с 3 ml 5,25% NaOCl, последвано от 5 ml дестилирана вода и се подсушава с хартиени щифтове, без пресушаване.

Повърхността на CAD/CAM щифтовете се обработва чрез пясъкоструене с алуминиев оксид (Al_2O_3) 25 μm при 1,5–2,0 bar за 15 s. След промиване и подсушаване се нанася силан Ceramic Bond (VOCO, Germany) за 60 s и се подсушава 5 s.

Циментирането се извършва със самоадхезивен композитен цимент RelyX U200 (3M ESPE, Germany). Циментът се въвежда директно в канала с



Фиг. 1. *Циментирани CAD/CAM фрезовани щифтове от нано-хибриден композитен диск Grandio Disc (VOCO)*

накрайник и щифтът се поставя пасивно до пълна дължина. Следва светлинна полимеризация за 40 s. След циментиране се извършва визуална и рентгенографска оценка (фиг. 1).

Образците се разделят в две групи: група 1 – без термоциклиране (n=12) и група 2 – след термоциклиране (n=12). Термоциклирането се извършва чрез 1500 цикъла между 5 °C и 55 °C, с престой 30 s във всяка вана и трансферно време 15 s.

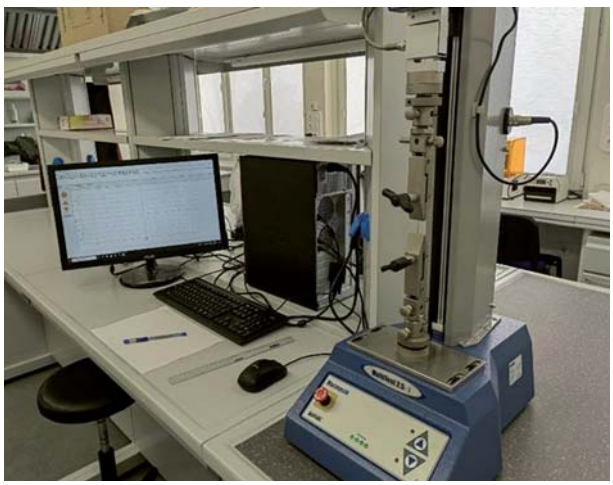
Изпитването за фрактурна резистентност се провежда на универсална машина за физико-механични изпитвания MultiTest 2,5-i (Mecmesin, UK) (фиг. 2). Образците се фиксират в специално приспособление и се прилага сила под ъгъл 45° спрямо оста на щифта до настъпване на фрактура (фиг. 3). Регистрира се максималната сила при фрактура (N).

Статистическата обработка на данните е извършена със софтуер IBM SPSS Statistics 26. Ниво на статистическа значимост: $p < 0,05$.

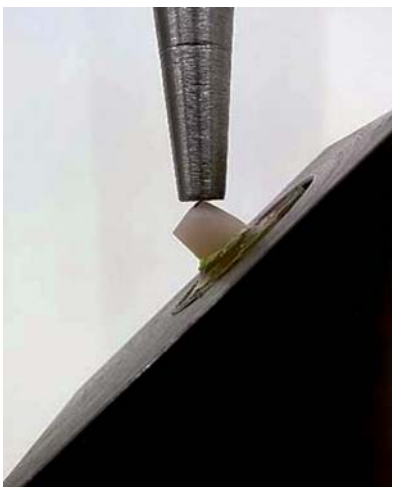
Резултати

В началното състояние CAD/CAM щифтовете показват средна сила на разрушаване от 330,66 N.

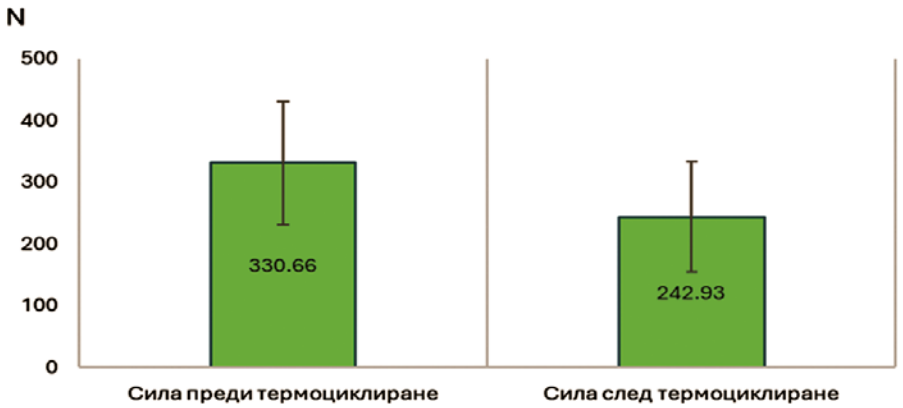
След провеждане на термоциклирането се наблюдава масивен спад в механичната здравина, като средната сила на разрушаване намалява до 242,93 N, което представлява загуба от 26,5% от първоначалната устойчивост. Процесът на изкуствено стареене не само понижава средните нива, но и значително увеличава несигурността на материала – делът на пробите в „критичната зона“ (под



Фиг. 2. *Компютъризиран стенд „MultiTest 2,5-i“(Mecmesin, UK)*



Фиг. 3. *Позиция на възстановения зъб с CAD/CAM щифт по време на тест*



Фиг. 4. *Разлика между силата на разрушаване преди/след термоциклиране при CAD/CAM щифтове*

средното ниво) нараства до 66,7%, докато само 33,3% запазват по-висока здравина. Този скок в процента на слабите проби съчетан с падането на минималната стойност до 151,5 N доказва, че термоциклирането води до прогресивно отслабване и дестабилизация на адхезивната връзка при CAD/CAM щифтове.

Направена е проверка на разликата между средната сила на разрушаване на пробните тела (в N) преди и след термоциклиране. Графично разликата между групите е представена на фиг. 4.

Наблюдава се отчетливо понижаване на силата на разрушаване на щифтовете след термоциклиране. Средната стойност намалява от 330,66 N (±99,68 N) преди термоциклиране до 242,93 N (±89,13 N) след него. Наред с това, минималната стойност се понижава с 65,20 N (от 216,70 N до 151,50 N), а максималната стойност с 94,70 N (от 513,90 N до 419,20 N). Тези резултати потвърждават общата тенденция за отслабване на механичната устойчивост на цялата конструкция вследствие на термичното въздействие.

Изводът който може да се направи е, че термоциклирането води до статистически значимо понижаване на силата на разрушаване при щифтовете (p = 0,9%). Това доказва, че термоциклирането оказва съществено влияние, водещо до значимо понижаване на силата на разрушаване, което потвърждава наблюдаваната тенденция в описателната статистика. Посочения извод може да се твърди с вероятност от 95% (таблица 1).

Получените фрактури са класифицирани като възстановими и невъзстановими въз основа на следните критерии: за възстановими фрактури са приети пукнатини и фрактури над, на нивото, или 1 мм под нивото на емайло-циментовата граница; и възможност за повторно възстановяване.

За невъзстановими фрактури са приети пукнатини и фрактури, простиращи се повече от 2–3 мм под емайло-циментовата граница, дълбоки вертикални коренови фрактури и невъзможност за повторно изграждане на зъба.

Класификацията възстановима/невъзстановима фрактура не е напълно стандартизирана. Отчитат

Таблица 1. *Резултати от проверката на разликата между силата преди/след термоциклиране при щифтове CAD/CAM*

Тествани групи / **Проверявана характеристика**	**X-ки**	**Проверявани групи**	
		Преди термоциклиране (група С)	**След термоциклиране (група СТ)**
Сила на разрушаване (в N)	Mean	330.66^{A}	242.93^{B}
SD	±99.68	±89.13	
N	12	12	
T-test	**P-value**	**p=0.009**	

* *При групи с един и същ апостроф не е отчетена статистически значима разлика*

Таблица 2. *Процентно разпределение на възстановими и невъзстановими фрактури след теста за фрактурна резистентност*

Експериментални групи	Възстановими фрактури (%)	Невъзстановими фрактури (%)
CAD/CAM фрезовани щифтове преди термоциклиране	60%	40%
CAD/CAM фрезовани щифтове след термоциклиране	33%	67%

се повтарящи се критерии, каквито са включени в настоящето изследване.

Резултатите в Таблица 2 демонстрират, че CAD/CAM щифтовете показват по-благоприятна прогноза, характеризираща се с по-висок дял на възстановими фрактури преди термоциклиране (60%). Термоциклирането повлиява неблагоприятно резултатите – до 67% невъзстановими фрактури.

При керамичните CAD/CAM щифтове преобладаващият модел на разрушаване съответства на Фиг. 5а. Наблюдава се ясно изразено адхезивно разрушаване по циментово-емайловата граница едновременно с кохезионно разрушаване, обхващащо CAD/CAM щифта.

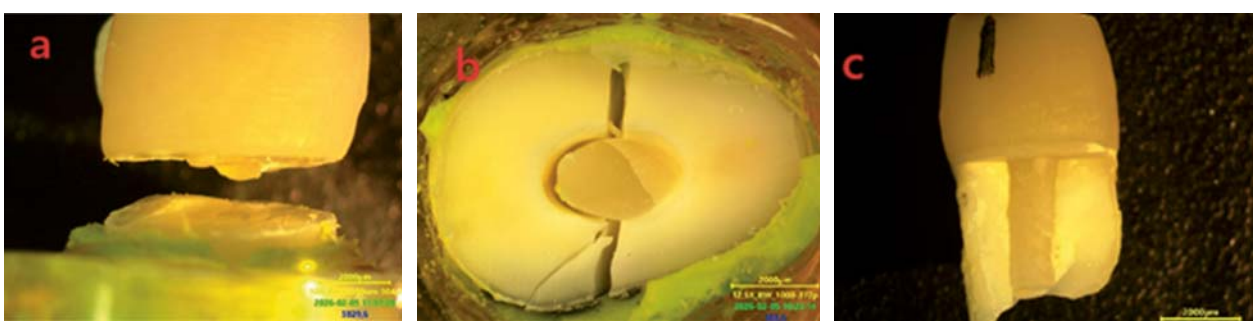
В някои случаи допълнителни процеси предшестват кохезионното разрушаване на щифта. На Фиг. 5б могат да се разграничат два такива процеса: първоначално адхезивно разрушаване на границата между щифта и кореновия канал, последвано от по-дълбоко кохезионно разрушаване в кореновия дентин.

Когато връзката между коронката и кореновия канал е значително по-силна, тангенциалните сили могат да предизвикат смесено разрушаване по циментово-емайловата връзка. Наблюдава се ясно дефинирана област на чисто адхезивно разрушаване (фиг. 5в), покриваща приблизително 60% от площта. Това е последвано от принудителна промяна в посоката на разпространение на пукнатината в кореновия обем на зъба, водеща до кохезивно разрушаване. На определена дълбочина този процес предизвиква критично ниво на огъване на щифта, което води до кохезивното му разрушаване, придружено от друга промяна в посоката на пукнатината и отделяне на коренов фрагмент.

Дискусия

В настоящото изследване е установено статистически значимо понижаване на силата на разрушаване (N) след термоциклиране (26,5%; p=0,009) при CAD/CAM радикуларни щифтове, изработени от нанохибриден композит Grandio VOCO. Този резултат е в съответствие с данните от съвременни in vitro изследвания върху CAD/CAM индивидуални радикуларни щифтове, където изкуственото стареене води до редукция на механичната устойчивост и промяна в типа на фрактуриране [8, 9].

В изследването на Fathey и сътр. (2024) е установено, че CAD/CAM изработените естетични радикуларни щифтове демонстрират висока първоначална фрактурна устойчивост, но след термично стареене се наблюдава тенденция към намаляване на стойностите и промяна в модела на разрушаване – от по-благоприятни (възстановими) към по-дълбоки коренови фрактури [9]. Подобна тенденция се наблюдава и в настоящото проучване, където след термоциклиране минималната стойност нама-



а **б** **в**

Фиг. 5. *Модели на фрактури на тестваните образци при увеличение x10 със стереомикроскоп Leica S 6 при CAD/CAM щифтове*

лява до 151,5 N, а делът на пробите в „критичната зона“ достига 66,7%.

Сходни резултати са докладвани и от El Din и сътр. (2025), които сравняват CAD/CAM-фрезовани и 3D-принтирани щифтови конструкции. Авторите подчертават, че въпреки високата вътрешна якост на композитните CAD/CAM материали, термоциклирането отслабва адхезивната връзка „щифт-дентин“, което често се превръща в критичната зона на разрушаване [8]. Това е в съответствие с наблюдаваните в настоящото изследване адхезионни фрактури по границата „щифт-коренов канал“.

По отношение на материала, в изследването на Tutus и сътр. (2025) е анализирано механичното поведение на естетични CAD/CAM щифтови конструкции, включително такива от нанохибриден композит Grandio VOCO. Чрез 3D-крайноелементен анализ авторите показват, че полимербазираните CAD/CAM материали демонстрират по-благоприятно разпределение на напреженията в сравнение с по-твърди керамични материали, но адхезивната връзка остава определящ фактор за дългосрочната устойчивост [19], което е потвърдено и в други изследвания [1, 4, 7, 22]. Това би могло да обясни защо в настоящото изследване якостта в MPa намалява с около 18%, без да достигне статистическа значимост (p=0,060), докато силата на разрушаване (N) показва значима разлика – възможно отражение на вариабилността в адхезивната връзка „щифт-корен“.

Проучванията на Alanazi и сътр. (2025) върху адхезията на CAD/CAM и 3D-принтирани композитни щифтове подчертават значението на повърхностната обработка и протокола на циментиране за устойчивостта след стареене. Авторите доказват, че термоциклирането намалява адхезивната здравина, особено при липса на оптимална повърхностна подготовка [2]. Наблюдаваните в настоящото изследване случаи на екструзия на щифта и адхезионно разрушаване по интерфейса „щифт-корен“ подкрепят това заключение.

Допълнително Ghanem и сътр. (2022) съобщават, че индивидуалните CAD/CAM щифтови конструкции показват добра първоначална фрактурна устойчивост, но вариабилността в резултатите след стареене остава значима [11]. Това е в съответствие с увеличеното стандартно отклонение и по-широкия диапазон на стойностите в термоцикляната група в настоящото изследване.

Изследвания върху CAD/CAM композитни блокове от типа Grandio [14, 17] показват, че термоциклирането води до понижаване на механичните показатели и промени в повърхностната микроструктура, което може да повлияе на адхезията и на развитието на пукнатини. Тези резултати подкрепят наблюдаваното в настоящото изследване понижаване на минималните и максималните стойности на силата и появата на аксиални пукнатини в кореновата структура.

По отношение на модела на разрушаване, Özüdoğru и сътр. (2025) установяват, че след термично стареене се увеличава честотата на по-дълбоки коренови фрактури [16], което съответства на третата група случаи в настоящото изследване – аксиално разцепване на корена при запазена връзка щифт-пънче.

Клинично средната стойност от 242,93 N след термоциклиране остава в диапазона на физиологичните дъвкателни сили, но редукцията на минималните стойности предполага потенциален риск при пациенти с повишено функционално натоварване. Съвременните публикации [9, 19] подчертават, че дългосрочната прогноза при CAD/CAM композитни щифтови конструкции зависи не само от вътрешната якост на материала, но и от стабилността на адхезивната връзка след стареене.

Заключение

В обобщение резултатите от настоящото проучване са в съответствие с най-новите данни в литературата, че при CAD/CAM щифтови конструкции от нанохибриден композит Grandio VOCO термоциклирането води до отслабване на адхезивната връзка и до намаляване на механичната устойчивост. Въпреки че якостта в MPa не достига статистическа значимост, отчетената тенденция и граничната стойност на „p“ предполагат, че при по-голяма извадка разликата би могла да стане статистически значима.

Изследването е финансирано по ГРАНТ Договор № Д-137/ 29.05.2024 г. към СМН на МУ-София.
Изследванията за фрактурна резистентност са проведени в Научно-изследователска лаборатория по дентално материалознание към ФДМ-София, със съдействието на доц. В. Диков.

Библиография

1. Abdel-Maksoud HB, Bassem M Eid, Mai Hamdy, Heba M Abdelaal. Optimizing fracture resistance of endodontically treated maxillary premolars restored using fiber-reinforced/thermo-viscous composite post-thermocycling, a comparative study. Part 1. BMS Oral health, 2024, 24(1):295.
2. Alanazi KK, et al. Adhesion of 3D-Printed Versus Milled Resin Posts to Composite Resin Core Build-Up Material: Influence of Surface Treatments. Polymers (Basel). 2025; 17(12):1711.
3. Altitinchi A, et al. Anatomic CAD-CAM post-and-core systems: A mastication simulation study. J Prosthet Dent. 2024.
4. Alves PB, et al. Bond Strength Evaluation between Different Glass Fiber Post Systems to restore weakened roots. J Compos Sci. 2022, 6(9):252.
5. Dimitrova M, A. Vlahova, R. Kazakova. Assessment of CAD/CAM fabrication technologies for post and core restorations: A review. Medicina, 2024, 60, 748.
6. Eid RY, Abdelaziz KM, Al-Dubai SAR, et al. Effect of fabrication technique and thermal cycling on the push-out bond strength of CAD/CAM-milled anatomical post-and-core systems. 2019.
7. El Gamal AM, et al. Customization of posts using recent polymer-based CAD/CAM materials. Int Dent J 2024, 74 (Suppl 1): S177.
8. El-Din H A., S. El-Shorbagy, Ghada AE, Hoda M Abel Sadek, Amina M Hamdy Fracture resistance of CAD/CAM-milled, 3D-printed, and customized fiber post-and-core systems: an in vitro study. BMS Oral Health, 2025, 26(11)
9. Fathey IT, et al. Fracture resistance and failure mode of three esthetic CAD/CAM custom post-and-core restorations. BMC Oral Health. 2024, 24(1):523.
10. Fokkinga WA, Kreulen CM, Vallittu PK, Creugers NHJ. A structured analysis of in vitro failure loads and failure modes of fiber, metal, and ceramic post-and-core systems. Int J Prosthodont. 2004; 17(4):476–482.
11. Ghanem N, et al. Fracture resistance of custom-milled CAD/CAM post and core using two different materials: an in vitro study. J Stoma, 2022, 75(4):207–215.
12. Ghanem MM, et al. Do CAD-CAM fibre posts exhibit higher bond strength and lower catastrophic failure rates? Evidence-based Dentistry. 2025.
13. Jrab B, et al. Fracture resistance of CAD/CAM tooth-colored versus cast post-and-core restorations. Saudi Dent J. 2024.
14. Mohammad ZJ, Diyar Khalid Bakr. Evaluation of Fracture Toughness and Surface Roughness of a Novel Experimental Short Fiber-Reinforced CAD/CAM Block Material (In Vitro Study). Coatings. 2025, 15(12):1485.
15. Ng YL, Mann V, Gulabivala K. Tooth survival following non-surgical root canal treatment: a systematic review of the literature. Int Endod J. 2010; 43(3):171–189.
16. Özüdoğru S, S. Tok, M. Duzyol, R. Erdem, H. Arslan. Fracture Resistance of Endodontically Treated Teeth Restored with (composite/SFRC/preheated composites) after thermocycling. Materials, 2025; 18(22):5145.
17. Öztürk S, et al. Evaluation of Shear Bond Strength in the Repair of Additively and Subtractively Manufactured CAD/CAM Materials Using Bulk-Fill Composites. Biomimetics (Basel), 2025, 10(7):433.
18. Sorrentino R, et al. Three-dimensional finite element analysis of stress distribution in endodontically treated maxillary central incisors restored with different post, core, and crown materials. Dent Mater J. 2007.
19. Tutus L, O. Oz, I. Karagozoglu. Mechanical behavior of esthetic CAD/CAM post – core restorations: a 3D finite element analysis. BMC Oral Health, 2025, 25(1): 1825.
20. Vogler JAH, et al. Fibre-reinforced CAD/CAM post and cores: The new „gold standard“? Heliyon. 2023.
21. ISO/TR 11405. Dental materials – Guidance on testing of adhesion to tooth structure. International Organization for Standardization (използвано за термоциклиране).
22. www.voco.dental. Grandio blocs. In vitro performance and fracture resistance of CAD/CAM crowns. Scientific report, 2019.

Постъпила – 24.02.2026 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