Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ Скопје
Стоматолошки факултет
Катедра за болести на забите и ендодонт

Испитување на преостанатиот дебрис и и размачканиот слој по третман со различни иригациони протоколи

-Магистерски труд-

Кандидат

Д-р Рејхан Ељези

Ментор

Проф. д-р Лидија Поповска

Август 2026

University ,,Ss. Cyril and Methodius"-Skopje
Faculty of Dental Medicine
Department of restorative dentistry and endodontics

Evaluation of Residual Debris and Smear layer following different irrigation protocols

-Master's Thesis-

Author

Dr. Rejhan Elezi

Supervisor

Prof. Dr. Lidija Popovska

August, 2026

Содржина

Апстракт 5
Abstract 8
Вовед 10
Преглед од литературата 13
Развоен пат на средствата за иригација **13**
Натриум хипохлорит (NaOCl) **14**
Chlorhexidinedigluconate (CHX) **16**
EDTA (Ethylenediamine-tetra-acetate) **18**
Озонирана вода **20**
Комбинација на раствори за иригација **22**
Интеракции меѓу растворите за иригација 22
Дали треба да се отстрани размачканиот слој? 25
Техники на иригација 26
Конвенционална иригација **27**
Рачно динамичко активирање **28**
Пасивна ултразвучна иригација **29**
Звучна иригација **30**
Ласерска активација **31**
Финална иригација - значење и протоколи **32**
Цели на истражувањето 36
Материјали и методи 37
Селекција на забите **37**
Обработка на коренските канали **43**
Препарација на забите за СЕМ-анализа **46**
СЕМ-испитување **47**
Статистичка анализа 51
Резултати 52
Генерални карактеристики **53**
Групи/Подгрупи **53**
Hülsmann скор **56**
Меѓугрупна споредба на Hülsmann скор **57**
Комбинирана меѓугрупна споредба на Hülsmann скор **61**
Интрагрупна споредба на Hülsmann скор **66**
Интрагрупна споредба на Hülsmann скор - Група со ИФР **66**
Интрагрупна споредба на Hülsmann скор - Група со ИБА **68**

Интрагрупна споредба на Hülsmann скор - Група со ИДМА..... 70
Интрагрупна споредба на Hülsmann скор - Група со ПУИ.....71
Меѓугрупна споредба - Hülsmann скор за коронарен дел 73
Меѓугрупна споредба - Hülsmann скор за среден дел 76
Меѓугрупна споредба - Hülsmann скор за апикален дел 79
Репрезентативни слики направени со електронска микроскопија (СЕМ) ..83
Дискусија..... 91
Заклучок.....98
Референции.....99

БЛАГОДАРНОСТ

Изразувам искрена благодарност до мојот ментор, проф. д-р Лидија Поповска, за нејзиното стручно насочување, поддршка и драгоцени совети во текот на изработката на овој магистерски труд.

Посебна благодарност упатувам до приватната стоматолошка ординација „Vitadent“ – Гостивар, каде што беше овозможена подготовката на примероците за SEM-анализа, како и за поддршката и условите обезбедени во текот на практичниот дел од истражувањето.

Искрена благодарност до проф. д-р Дејан Мираковски, ректор на Универзитетот „Гоце Делчев“ – Штип и до Маја Ристова-Делипетрев од Одделот за анализа и тестирање на материјали, Факултет за природни и технички науки, Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, за големата стручна помош, соработка и овозможување на анализа на примероците за SEM-анализите.

На крај, најголема благодарност упатувам до моето семејство за нивната безусловна поддршка, разбирање и мотивација низ целиот мој образовен пат.

Овој труд е посветен на сите кои веруваат во значењето на знаењето, истражувањето и постојаното професионално усовршување.

Рејхан Ељези Скопје, 2026

Апстракт

Вовед: Успехот на ендодонтскиот третман зависи од ефикасното чистење, обликување и дезинфекција на коренскиот канален систем. Иако механичката инструментализација претставува основен чекор во обработката на коренските канали, таа не овозможува целосно отстранување на микроорганизмите, остатоците од ткиво и размачканиот слој (smear layer) поради сложената анатомија на каналниот систем. Размачканиот слој претставува слој составен од органски и неоргански компоненти кој се создава при инструментирање и може да ја попречи пенетрацијата на иригансите и каналните полнења во дентинските тубули. Поради тоа, хемиската иригација е неопходен дел од современата ендодонтска терапија. Натриум хипохлоритот (NaOCl) се смета за златен стандард поради неговото антимикробно дејство и способноста за растворање на органското ткиво, додека етилендиаминтетраоцетната киселина (EDTA) се користи за отстранување на неорганската компонента на smear layer. Иригацијата по завршување на работењето со каналните инструменти се нарекува финална иригација, која има за цел да доведе до отстранување на размачканиот слој и отворање на дентинските тубули. За таа цел се користи последователна низа на ириганси. Во последните години се развиени различни техники за активација на иригансите со цел подобрување на нивната пенетрација и ефикасност, но сè уште не постои единствено прифатен протокол кој обезбедува целосно отстранување на размачканиот слој.

Целта на оваа in vitro студија беше да се спореди ефикасноста на различни протоколи за финална иригација во отстранување на размачканиот слој од дисталните коренски канали на долните молари со анализа на снимки добиени со скенирачка електронска микроскопија (SEM).

Материјали и методи: Во студијата беа вклучени 32 екстрахирани хумани долни молари со целосно формирани дистални корени. По стандардизирана препарација на пристапниот кавитет и определување на работната должина, сите примероци беа обработени со идентичен протокол за механичка инструментација. Забите беа случајно распределени во четири експериментални групи (n = 8), при што секоја група беше третирана со различен протокол за финална иригација. По завршување на иригацијата, корените беа лонгитудинално преполовени и анализирани преку снимки добиени со скенирачка електронска микроскопија при зголемување до ×1000. Освен целиот канал слики беа направени од коронарната, средната и апикалната третина на секој примерок. Отстранувањето на размачканиот слој беше оценето според Hülsmann скалата од независни оценувачи, а статистичката анализа е извршена со ниво на статистичка значајност од $p < 0,05$.

Резултатите покажаа статистички значајни разлики помеѓу испитуваните протоколи за финална иригација. Протоколот за финално иригирање со наизменично испирање со NaOCl и EDTA овозможува отстранување на преостанатиот дебрис и размачканиот слој и отворање на дентинските каналчиња Активацијата на иригансите обезбеди подобро

отстранување на размачканиот слој во споредба со иригацијата без активација, па треба да се разгледува како неизоставен дел од современиот ендодонтски третман особено во апикалната третина од каналите. Иако мануелната динамичка активација покажува подобра ефикасност од иригација без активација, сигнификантно подобри резултати се добиваат се употреба на пасивна ултразвучна активација;

Дејствувањето на иригансите се разликува во различните делови од коренскиот канал. Коронарната и средната третина се сигнификантно почисти кај групите со активирана финална иригација, но и кај примероците каде што беше направена финална иригација без активација беа забележени голем број на отворени дентински тубули; Во апикалната третина од коренскиот канал дејството на иригансите е најсложено и најмалку успешно; Помеѓу групите со активирана финална иригација не се докажа сигнификантна разлика во отстранување на размачканиот слој во апикалниот дел. Во примероците со финална иригација, но без активација, добиениот резултат беше целосно неуспешен и несигнификантно се разликуваше од контролната група, каде што беше употребен физиолошки раствор;

И покрај тоа што сите протоколи доведоа до делумно или речиси потполно отстранување на размачканиот слој, ниту еден не обезбеди негово целосно отстранување во сите примероци, особено во апикалната третина, која остана најтешка за ефикасно чистење.

Заклучок: ефикасноста на отстранувањето на размачканиот слој зависи од избраниот протокол за финална иригација. Активацијата на иригансите значително ја подобрува чистотата на коренскиот канален систем во споредба со конвенционалната иригација, но целосното отстранување на размачканиот слој сè уште претставува предизвик. Овие резултати ја нагласуваат важноста од избор на соодветен протокол за финална иригација со цел подобрување на долгорочниот успех на ендодонтскиот третман.

Клучни зборови: иригација; EDTA; NaOCl; размачкан слој; дебрис; SEM; пасивна ултразвучна иригација.

Abstract

Introduction: The success of endodontic treatment depends on effective cleaning, shaping, and disinfection of the root canal system. Although mechanical instrumentation represents a fundamental step in root canal preparation, it does not ensure the complete removal of microorganisms, tissue remnants, and the smear layer because of the complex anatomy of the root canal system. The smear layer is composed of organic and inorganic components produced during instrumentation and may interfere with the penetration of irrigants and root canal filling materials into the dentinal tubules. Therefore, chemical irrigation is an essential part of contemporary endodontic therapy. Sodium hypochlorite (NaOCl) is considered the gold standard because of its antimicrobial properties and its ability to dissolve organic tissue, whereas ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) is used to remove the inorganic component of the smear layer. Irrigation performed after completion of mechanical instrumentation is referred to as final irrigation, the purpose of which is to remove the smear layer and expose the dentinal tubules. Various sequences of irrigants are used for this purpose. In recent years, different irrigant activation techniques have been developed to improve irrigant penetration and effectiveness; however, there is still no universally accepted protocol capable of achieving complete smear layer removal.

The aim of this in vitro study was to compare the effectiveness of different final irrigation protocols in removing the smear layer from the distal root canals of mandibular molars by analyzing images obtained with scanning electron microscopy (SEM).

Materials and Methods: The study included 32 extracted human mandibular molars with fully developed distal roots. Following standardized access cavity preparation and determination of the working length, all specimens were instrumented using an identical mechanical preparation protocol. The teeth were randomly allocated into four experimental groups (n = 8), with each group treated using a different final irrigation protocol. After completion of irrigation, the roots were longitudinally split and examined using scanning electron microscopy (SEM) at ×1000 magnification. In addition to images of the entire root canal, representative micrographs were obtained from the coronal, middle, and apical thirds of each specimen. Smear layer removal was evaluated according to the Hülsmann scoring system by independent examiners. Statistical analysis was performed at a significance level of $p < 0.05$.

Results: The results demonstrated statistically significant differences among the investigated final irrigation protocols. The final irrigation protocol using alternating irrigation with NaOCl and EDTA effectively removed residual debris and the smear layer while exposing the dentinal tubules. Irrigant activation resulted in significantly better smear layer removal compared with irrigation without activation and should therefore be considered an essential component of contemporary endodontic treatment, particularly in the apical third of the root canal. Although manual dynamic activation showed greater effectiveness than irrigation without activation, significantly superior results were achieved with passive ultrasonic irrigation.

The effectiveness of the irrigants differed among the various regions of the root canal. The coronal and middle thirds were significantly cleaner in the groups treated with activated final irrigation. However, a considerable number of open dentinal tubules were also observed in specimens subjected to final irrigation without activation. The apical third of the root canal remained the most challenging region, where irrigant action was least effective. No statistically significant difference in smear layer removal was found between the activated irrigation groups in the apical third. In contrast, specimens treated with final irrigation without activation showed poor results, which did not differ significantly from those of the control group irrigated with physiological saline solution.

Although all protocols resulted in partial or nearly complete smear layer removal, none of them achieved complete elimination of the smear layer in all specimens, particularly in the apical third, which remained the most difficult region to clean effectively.

Conclusion: The effectiveness of smear layer removal depends on the selected final irrigation protocol. Irrigant activation significantly improves the cleanliness of the root canal system compared with conventional irrigation; however, complete smear layer removal remains a challenge. These findings emphasize the importance of selecting an appropriate final irrigation protocol to improve the long-term success of endodontic treatment.

Keywords: irrigation; EDTA; NaOCl; smear layer; debris; SEM; passive ultrasonic irrigation.

Вовед

Ендодонцијата е наука чие име потекнува од грчките зборови ендо - „внатре“ и одонт што значи „заб“. Ендодонцијата е гранка на клиничката стоматологија поврзана со превенција, дијагноза и третман на заболувањата на забната пулпа и нивните последици. Во областа на ендодонтската терапија припаѓаат: одржување на виталноста на пулпата, терапијата на оштетената, воспалена или некротична пулпа, како и зачувување и реставрација на забите кои претходно биле третирани ендодонтски, за да се овозможи забот да остане функционален во долг временски период.

Примарна цел на ендодонтската терапија е да создаде услови во системот на коренскиот канал што овозможуваат заздравување и континуирано одржување на здравјето на перирадикуларното ткиво. Едодонтската терапија се состои од неколку фази на работа, а доколку настане пропуст во која било од нив, успехот на терапијата станува неизвесен.

Со текот на времето има огромен напредок на полето на ендодонцијата. Спроведени се многу иновации и нивни модификации и се вршеле испитување за делотворноста на секој од нив. Во изминатите четири децении биле направени опсежни студии за микробната флора на пулпата и периапикалното ткиво, а комплексната анатомија на забот го ограничува отстранување на патогените само со механичка обработка. Ендодонтскиот успех на крајот зависи од целосната елиминација на сите остатоци во ендодонтскиот простор и патогените микроорганизми.

Инфицираниот коренски канал е неваскуларизиран простор поволен за раст и пролиферација на бактерии и слепа точка за имунитетот на домаќинот. Во него се содржи мешавина од суспендирани микроорганизми и микроорганизми организирани во биофилм, нивни метаболити, ткивни остатоци и нивни ексудати и туѓи тела. Овие инфективни материи ги зафаќаат главните, страничните и помошните канали на коренот, истмусот и апикалната делта. Според направената in vitro студија на Hui Jie Guo (2011), микроорганизмите и токсините влегуваат во дентинските тубули на ѕидот на коренскиот канал, со длабочина на инвазија од 200 –1 000 μm. Бактериите се вклопени во биофилм кој е цврсто прикрепен за површината на ѕидот на коренскиот канал. Тој ја одржува инфекцијата и го спречува дејството на медикаменти или дезинфициенси [1].

Самата механичка инструментација е недоволна за елиминирање на интрарадикуларната инфекција и оттука соодветната иригација се смета за неизоставен дел од ендодонтската терапија. Различни микро-КТ студии покажуваат дека речиси 35-40 % од површините на коренските канали остануваат недопрени од каналните инструменти по завршувањето на био-механичката подготовка [2]. Според резултатите на Ricucci, 75 % од забите имаат латерални канали, а доколку пулпата е некротична и содржината во латералните канали е некротична. Хемомеханичката подготовка делумно го отстранува

некротичното ткиво од влезот на латералните канали и рамификациите, но не и во нивната внатрешност. Со овој наод се согласни и резултатите на Nair, кој забележал дека бактерискиот биофилм е присутен во тубуларниот систем на 88% од примероците на апикална ресекција. Бактериите и остатоците скриени во областите каде што инструментите не можат да досегнат, можат да бидат извор на постојана инфекција и да доведат до неуспех на терапијата на коренскиот канал [3]. Поради тоа, проблемот со чистење и дезинфекција на коренските канали останува како еден од најзначајните клинички предизвици како резултат на анатомската комплексност.

Над површината на дентинскиот sид за време на инструментацијата на коренскиот канал се формира размачканиот слој, кој е составен од дентински струганици, остатоци од ткиво на пулпа, одонтобластични продолжетоци и микроорганизми. Во истражувачкиот свет големо внимание е насочена кон неговото отстранување. Размачканиот слој е цврсто прилепен слој што се формира на sидовите на каналот и може да ја намали пропустливоста на дентинот кон интраканалните медикаменти и иригансите на каналот. Овој слој има дебелина од 1-2 μm. Гледан под скенирачка електронска микроскопија (SEM), изгледа аморфно и нерамномерно [4]. Размачканиот слој е составен од неорганski и органски состојки. Органските состојки вклучуваат бактериски остатоци и пулпални остатоци, додека неорганските состојки се дентински остатоци предизвикани со механичко дејство. Преовладува препораката да се елиминира овој слој, бидејќи неговото задржување може да предизвика апикално и коронарно микропротекување. Дополнително, оставањето на размачканиот слој може да го попречи и да го ослаби процесот на врзување на каналното полнење со дентинските sидови на забите, што ќе доведе до неуспех во третманот на коренскиот канал.

Како неизоставен дел од ендодонтската терапија, иригацијата игра клучна улога при елиминирањето на микроорганизмите, отстранувањето на остатоците и разорувањето на биофилмот во сложениот систем на коренскиот канал. Модерната ендодонција сведочи за промена на парадигмата со иригацијата на напредни средства за иригација, иновативни методи за активирање и софистицираните системи [5].

Оптималниот раствор за иригација треба да има антибактериска ефикасност и можност да ги отстранува органските ткива и остатоците од системот на коренскиот канал. За да се добие ефикасна дезинфекција, отстранување на размачканиот слој и растворање на органското ткиво во коренските канали, потребна е темелна иригација која вклучува наизменично користење на NaOCl и хелатори. Етилендиамин тетраоцетна киселина (EDTA) е најчестиот избор за оваа улога. NaOCl е примарното средство за иригација на избор, но тој не може да ги раствори остатоците од тврдо ткиво создадени за време на инструментацијата или неорганските компоненти на размачканиот слој, така што дополнителното дејство на средството за деминерализација се смета за неопходно. Сепак, докажано е дека иригансите и хелаторите кои се користат при ендодонтската терапија тешко навлегуваат во апикалниот дел од

каналот, а со тоа се компромитира нејзиниот успех. За подобрување на својствата на иригансот активирањето на ендодонтските ириганси е од суштинско значење. Со активирањето се постигнува зголемена пенетрација на иригансот, подобрено отстранување на остатоците во каналот и зголемена хемиска ефикасност. Накратко, активирањето на ендодонтскиот ириганс го подобрува неговото својства за чистење и отстранување на размачкан слој и дебрис што го прави третманот на коренскиот канал поуспешен во отстранување на инфекцијата и спречување на реинфекција.

Во моментов, постојат автоматизирани системи и рачни методи за активирање на иригансот. Помеѓу различните методи на активирање, рачно динамичко активирање (MDA), пасивно ултразвучна иригација (PUI) и звучна иригација (SI) се некои од најшироко користените и најпроучени методи [6]. Сепак, поради хетерогеноста во техниките и наодите од истражувањето, сè уште не е можно да се издвои и препорача некоја посебна техника.

Се верува дека дезинфекцијата на коренските канали за време на нивниот третман директно влијае на долгорочниот успех. Ова може да биде уште поважно кога се изведува третман на коренскиот канал со една посета. Иако иригансите како што се натриумхипохлорит и хлорхексидин, се чини дека се најефикасни и најмногу користени во намалувањето на бактериските култури, во повеќето студии, во споредба со физиолошки раствор, не успеале да покажат соодветни резултати од клинички аспект [7].

Преглед од литературата

Успехот на ендодонтскиот третман зависи од елиминацијата на микроорганизмите од системот на коренскиот канал и спречувањето на реинфекција. Коренскиот канал на забот се чисти и обликува со ротациони и рачни инструменти и паралелно извршена иригација, со цел да се елиминира воспаленото или некротично ткиво и другите остатоци во просторот на коренскиот канал.

Многу делови од коренскиот канал на забот се недостапни за соодветна инструментација [8], па затоа е неопходно иригација со различни раствори, но за жал, ниту еден од нив не ги задоволува барањата за идеален ириганс.

Според Zender [9], идеалниот ириганс треба да е системски и локално нетоксичен, да нема надразнувачко дејство, да е биокомпатибилен со оралните тврди и меки ткива, да поседува антимикробни својства и својство за растворање на органските материи и/или спречување или растворање на размачканиот слој. Иако се направени различни испитувања и иновации за да се добие и оцени иригансот со идеални карактеристики, сè уште не постои ниту еден што е идентификуван како идеален.

Развоен пат на средствата за иригација

Во втората половина на 19 век, сознанието дека микробите се причина за болестите имало директно влијание и во полето на ендодонтската наука и пракса. Идејата за потребата за иригација во ендодонцијата се појавило во 1859 година, кога Taft препорачал често промивање на коренските канали со натриум хлорид за отстранување на „иритантите“. Раствор на сулфурна киселина која со памучно тампонче се затвора во коренскиот канал 24-48 часа бил метод што бил препорачан од Kalahan во 1894 година. Во стоматолошката литература се појавиле различни препораки за употреба на раствори за чистење на коренските канали, а препораките на Miller во 1890-тите и Luis Grossman во 1940-тите, останууваат подеднакво релевантни и во 21 век. [10].

Рачната инструментација со употреба на физиолошки раствор како средство за иригација, иако доведува до намалување на инфекцијата, таа е сепак недоволна и ги намалува бактериските клетки од 104-106 на 102-103 клетки или намалување од 53,3% [11]. Со подобрувањето на ротационата инструментација, намалувањето на бактериите е дури 98 % со употреба на физиолошки раствор како раствор за иригација [12].

Современата ендодонција денес е незмислива без трите типа раствори за иригација и хелатори: (NaOCl) - натриум - хипохлоритот кој е силно антисептично средство кое ги елиминира бактериите и целиот органски состав во каналот. (CHX) - хлорхексидинот, кој има широк антибактериски спектар, но не ја раствора органската содржина и (EDTA) – етилен – диамин – тетраацетат кој го отстранува неорганскиот дел од коренските канали, но не ги отстранува

органските остатоци, ниту бактериите. Не постои јасен протокол или упатство за работа за процедурите на иригацијата во стоматолошката пракса но, според сознанијата од литературата се препорачува испирање со NaCl за да се отстрани органската содржина, па иригација со EDTA, а на крај финална иригација со CHX со цел зголемување на антимикробниот ефект и продолжено дејство во каналот.

По инструментација со техниката на балансирана сила во овалните канали на долните инцизиви, неинструментираните региони можат да бидат присутни кај до 65 % од забите, додека 65 до 74 % од дисталните канали на долните молари во апикалните 4 mm остануваат неичистени. Ова имплицира дека најголемиот дел од дебридманот и чистењето во апикалната третина од системот на коренскиот канал мора да се изврши со иригација [13]. Дури и кај мали и/или заоблени канали, микро-томографските студии покажуваат дека различните инструментални системи оставаат приближно 10 % до 50 % од вкупната површина неподготвена. Овие бројки можат да бидат уште поголеми кога се проценува само апикалната површина на каналот. Кај посложените канали како што се овалните/рамните канали, количината на недопрена површина по подготовката може да варира од 10 % до 80 % [8];.

Натриум хипохлорит (NaOCl)

Натриум хипохлоритот (NaOCI) е средство за иригација на коренскиот канал кој најмногу се користи во ендодонцијата поради неговиот широк антимикробен спектар и органолитичното дејство.

Активна состојка во хипохлоритот е хлорот, моќен оксидирачки агенс кој овозможува неповратна оксидација на –SH групите на есенцијалните ензими и на тој начин ги нарушува метаболичките функции на бактериската клетка и врши бактерицидно дејство со широк спектар [14]. Реактивноста на натриум хипохлоритот го одредува нивото на достапен слободен хлор, а тоа зависи од pH-вредноста на растворот. Реактивниот хлор во воден раствор на телесна температура се јавува во две форми: хипохлорит (OCl–) или хипохлорна киселина (HOCl). Во базна средина (pH > 7,6) доминантната форма е хипохлорит, под оваа вредност е хипохлорна киселина. И двете форми се екстремно реактивни оксидирачки агенси. Чистите раствори на хипохлорит, како што се користат во ендодонцијата, имаат pH-вредност од 12, и затоа целиот достапен хлор е во форма на OCl–. Сепак, хипохлорната киселина има појак бактерициден ефект од хипохлоритот. Еден начин да се зголеми ефикасноста на растворите на хипохлорит би бил да се намали pH-вредноста [9,15]

Хипохлоритот е незаменлив поради неговата способност за растопување на органското ткиво [16]. Растворањето на некротичното ткиво на пулпата и органските остатоци се постигнува со протеолитичкиот ефект на слободниот хлор [17]. Дејството на растворање на органски материи може да се забележи при реакцијата на сапонификација кога натриум хипохлоритот ги разградува

липидите и масните киселини, што резултира со формирање на сапун и глицерол (алкохол), а тоа го намалува површинскиот напон на преостанатиот раствор [18]

Кај инфицираните коренски канали голем проблем претставува биофилмот. Биофилмот е високо организирана структура која се состои од бактериски клетки вклопени во екстрацелуларна полимерна матрица прикачена на површина, а која ја создаваат самите бактерии. [19]. Бактериите во биофилмот се разликуваат во многу нешто од слободните бактерии кои се во состојба на планктон и се слободни во просторот на коренскиот канал. Микробите во биофилмот можат да бидат околу 1000 пати поотпорни на антимикробни агенси и одбранбени механизми на домаќинот отколку нивните планктонски еквиваленти [20]. Тие исто така покажуваат поголема отпорност од истите бактериски видови кога се користат во in vitro испитувања во култура, пред се затоа што микроорганизмите во биофилмот се заштитени од неповолните дејства на околината со нивната матрица [21]. Хипохлоритот е единствениот ириганс со способност да го разори биофилмот во инфицираните коренски канали [22]. Хипохлоритот може да предизвика различни ефекти врз резидентните бактерии во биофилмот: целосно да ги разори, но, за жал, поретко и да останат витални и покрај отстранување на матрицата [23].

Хипохлоритот исто така има капацитет за инактивирање на ендотоксинот кој по хемиски состав е липополисахарид (LPS). LPS е компонента на надворешната мембрана на грам-негативни бактерии што е важен медијатор во патогенезата на апикалниот пародонтитис, кој го интензивира чувството на болка кај ендодонтските инфекции. Ефикасноста на 2,5% NaOCl за инактивирање на ендотоксинот е помала во споредба со интраканалните лекови како на пример калциум хидроксид (**Зендер**). Сепак, според испитувањата на **Marinho,** 5,25% NaOCl или калциум хидроксид подолго од 24 часа се подеднакво ефикасни во неутрализирањето на ендотоксините.

Натриум хипохлоритот се користи во концентрации од 0,5% до 6%, а во поново време на пазарот е достапен и раствор со концентрација од 8,25%. Во анкетна студија спроведена меѓу членовите на Американска Ендодонтска Асоцијација, Dutner и сор. покажале дека 57% од ендодонтите користеле натриум хипохлорит со поголем процент, односно концентрација поголема од 5% [24].Ефектот на 8,25% NaOCl врз растоварување на пулпното ткиво и механичките својства на дентинот бил испитуван од Cullen et al. (2015), при што се докажал одличен ефект. Но со зголемување на концентрацијата се потенцираат и неговите несакани дејства, како што се корозивноста и цитотоксичноста. Abu Hasna A и сор. при истражувањето на негативните ефекти на натриум хипохлоридот, откриле дека дури и 0,025% раствор е и бактерициден, но нема негативни ефекти [25]. Цитотоксичноста е особено значајна во регенеративната ендодонција, па користењето на -NaOCl во концентрации поголеми од 1,5 % ги уништува стем-клетките потребни за ревитализација на забот. Високите концентрации може да ги иритираат периапикалните ткива и да го оштетат минерализираниот sид на коренскиот

канал, што е во спротивност со современиот медицински принцип на primum non nocere, што значи ,,прво, не прави штета“. (Stojcic)

Натриум хипохлоритот нема способност самиот да го отстрани размачканиот слој, бидејќи отстранувањето на неорганскиот материјал од каналот бара присуство на некои од хелаторите, како EDTA или лимонска киселина. Иако постојат комерцијални производи кои содржат комбинација на хипохлорит и ЕДТА, сепак во трудот на Çakır A и сор. [26] се потврдува дека на тој начин органолитичниот капацитет на натриум хипохлоритот опаѓа во однос кога е единечен раствор.

Правени се повеќе испитувања за тоа како да се зголеми ефикасноста на NaOCl. Испитувани се дејствата на различни концентрации [18,27], различна температура [28] [14], различно дејство во однос на должината на изложеност [29]., но и различни начини на активација и сите тие методи ја зголемуваат и антимикробната и органолитичната способност.

Не само во однос на антибактериското дејство туку и органолитичкото дејство се зголемува при истите услови: поголема концентрација, подолготрајно дејствување на повисока температура. Сепак, концентрацијата на достапен хлор во натриум хипохлоритот се влошува со текот на времето, изложеноста на светлина/топлина и при контакт со воздух, метали, метални јони, како и органски материјали [30].

Chlorhexidinedigluconate (CHX)

Хлорхексидинот има значајна употреба во ендодонцијата и се смета за златен стандард за антисептик. Поради изразениот антимикробен ефект, во ендодонцијата се користи како средство за иригација за време на дезинфекција на коренски канали и ендодонтска инструментација со концентрација од 2 % [31]. CHX е катјонски бисбигуанид, а неговиот антибактериски ефект се должи на електростаското поврзување со клеточната мембрана на бактериите, што води до нивно разградување. Освен тоа во него го има и ензимот аденозин- три - фосфатаза (ATP), која го потенцира антибактерискиот ефект. CHX е антимикробно средство со широк спектар кое дејствува и кај грам-негативните и кај грам-позитивните бактерии. Во in vivo студијата на Tanomaru и сор. [32] каде што правеле микробиолошко иследување на заби со периапикални лезии, испитувани биле 2,5 % NaOCl и 2 % CHX како ириганси. По 30 дена се потврдило дека и двата ириганси имаат еднаква ефикасност. Истиот резултат го прикажуваат и Jeansonne и сор. [33] При високи концентрации предизвикува коагулација на клеточните конституенти и дејствува подолго време што е предност на CHX [34]. Препорачливо е дека CHX треба да се користи во ендодонцијата како финален ириганс, бидејќи неговиот резидуален ефект може да остане до 12 недели. [35]. Ова го потврдуваат резултатите на Souza и сор. кои ја испитувале активноста на CHX во форма на раствор и гел во систем на канали

за 24 часа, 30 дена и 90 дена. Резултатите покажале дека активноста била сочувана и до 90 дена.[36].

Истражувањата покажале дека CHX може да се користи и како раствор за иригација и како интраканален медикамент. Потврдено е дека е особено активен против резистентни бактерии, како Enterococcus faecalis. [37]. Како и со растворот на натриум хипохлорит, загревањето на раствор на хлорхексидин со пониска концентрација може да ја зголеми неговата локална ефикасност во коренските канали, додека одржува ниска системска токсичност [38].

Освен одличната антимикробна активност, негови предности се и следните: помала цитотоксичност од хипохлоридот, во форма на гел го задржува дебрисот во суспензијата, не го пребојува забот и нема лош мирис. Освен кај алергични пациенти на хипохлоритот, се преопорачува и во случаи на отворен апекс и ресорпции на коренот поради помалата цитотоксичност [39] .

Сепак, некои студии укажуваат дека ниту CHX не е сосема безбеден за живите ткива. Во трудот на Lessa и сор. се покажува дека CHX може да има цитотоксични ефекти кои се зголемуваат со концентрацијата. Колку била поголема концентрацијата на CHX и колку било подолго времето на контакт со клетките, толку било потврдено дека цитотоксични ефекти се зголемувале, а MDPC-23 клетките не се опоравувале по изложеност на CHX[40].

Истражувањата на Ribeiro за генотоксичност врз оваријални клетки од глувци покажал дека за разлика од калциум хидроксидот, CHX не дејствувал генотоксично. Спротивно на неговите резултати, според тие на Arabaci откриен е дозно-зависен токсичен ефект во зависност од инкубацијата на CHX врз генетската и клеточната одржливост на лимфоцитите. Тие препорачуваат дека цитотоксичноста на употребата на овој препарат треба да се земе предвид при иригација во пародонтолошката терапија или треба да се произведуваат нови CHX производи со пониски концентрации за клиничка употреба [41].

Опсежно испитување преку метаанализа за штетните последици од користење на CHX во ендодонцијата спроведувале Bernardi и сор. Тука биле набројани последиците како темно пребојување на забите, хемиска интеракција со натриум хипохлорит и формирана флокулација, биолошки опасности и интеракции со материјалот за полнење. Во однос на биолошките ризици, тие прикажуваат дека деградацијата на CHX може да генерира пара-хлороанилин и слободни радикали, кои се штетни за виталните ткива, но дека сепак не постои воспоставен консензус за потенцијалниот ризик од CHX [42]. На овој начин, кога хлорхексидинот е екструдиран во високи концентрации на периапикалните ткива, треба да се земат предвид потенцијалните генотоксични и ткивни оштетувања. Поради тоа употребата на CHX треба да биде ограничена на просторот на коренскиот канал и мора да се внимава при избор на употребените концентрации.

За жал, хлорхексидинот нема својства да разградува органска компонента како NaOCl.

CHX може да се користи како интраканален медикамент, сам или во комбинација со други супстанции. CHX сам не дејствува како физичка бариера

и не покажува радиопацитет. Употребата на CHX гел како интраканален лек се препорачува за краток период [9], во случаи кога коренските канали биле целосно инструментирани, но не можеле да се пополнат поради присуство на ексудат. Од друга страна, комбинацијата на CHX со калциум хидроксид има за цел да ги зголеми антимикробните својства на калциум хидроксидот, додека ги одржува неговите биолошки карактеристики и механички својства, и дејствува како физичка бариера. Пастите од калциум хидроксид со CHX гел, сами или со ZnO, имаат поголема антимикробна активност од оние подготвени со дестилирана вода или физиолошки раствор [38].

EDTA (Ethylenediamine-tetra-acetate)

За време на инструментацијата на коренските канали се формира размачканиот слој кој е цврсто прикрепен за дентинските sидови. Тој се состои од органски и неорганski дел, а секако и од мноштво микроорганизми. За негово отстранување е неопходна употребата на хелаторите. Меѓу нив најпознат и најчесто употребуван е етилен-диаминот-тетра ацетатот.

Alfred Werner во 1893 година ја развил теоријата за соединенија кои денес познати како хелатори. За оваа рекласификација на неорганските хемиски соединенија, Alfred Werner ја добил Нобеловата награда во 1913 година. Тој го создал објаснувањето за процесот преку кој металите се врзуваат за органските молекули, што е основа за хелатната хемија. Во средината на 1930-тите, во Германија била развиена синтетичката супстанција EDTA (етилен-диамин-тетра-ацетат). Хелатните агенси биле воведени во ендодонцијата како помош за подготовка на тесни и калцифицирани коренски канали [43]. Етилендиамин тетраоцетна киселина (EDTA) е еден од растворите за иригација што често се користи во секојдневната клиничка пракса. EDTA има својства на хелирачки агенс што го раствора размачканиот слој, особено неговиот неорганski дел. [44]. EDTA реагира со калциумови јони во дентинот и формира растворливи калциумови хелати што го прави дентинот полесен за инструментирање [45]. За време на третманот на коренскиот канал, EDTA го декалцифицира интертубуларниот дентин до длабочина од околу 20-30 μm за 5 минути. Сепак, неговото дејство е ограничено на 50 μm, дури и по повеќе од 24 часа време на изложеност. Континуирано плакнење со 5 ml 17 % EDTA како последно плакнење во тек на 3 минути ефикасно го отстранува размачканиот слој од sидовите на коренскиот канал, но авторите исто така тврдат дека 1 минута е исто така ефикасна [23].

EDTA има недостатоци: нема или има многу мало влијание врз органското ткиво на пулпата, отсуството на антимикробно дејство и можност да предизвика ерозија на дентинот на коренскиот канал [46]. Но иако EDTA нема директно антимикробно дејство, сепак со отстранувањето на размачканиот слој го олеснува дејството на антимикробните раствори, овозможувајќи нивна подлабоко пенетрација. Времето и концентрацијата на хелаторот влијае врз

ефектот. Hülsmann и сор. [43] сметаат дека оптимално време за работа со EDTA е 10 минути. Спротивно, Meryon и сор. [47] сметаат дека дејствувањето на 10 % EDTA во период од 1 минута е доволно да се направи целосно отстранување на размачканиот слој. Perez и Rouqueyrol-Pourcel [48]. покажуваат дека 3 min. со 8% EDTA е исто ефикасно како 1 min. иригација со 15 % EDTA.

Користењето на EDTA се фаворизира во доменот на регенеративната ендодонција. Регенеративната ендодонција е добро позната во терапијата на незрелите заби, меѓутоа сè повеќе се појавува и алтернатива во третманот на невитални заби, во кои ново ткиво се развива од недиференцирани клетки [8]. Исто така се користи и при затворање на отворена пулпа, било да е артефициелно или при кариес профунда. Потврдено е дека го поттикнува ослободувањето на факторите на раст од дентинската матрица, односно стем-клетките, што може да помогне при регенеративните ендодонтски процедури. [156] Американското здружение на ендодонти и Европското здружение за ендодонтологија препорачуваат употреба на 17 % раствор на EDTA како финално иригирање. Тој се врзува за јони на калциум и ослободува фактори на раст на коренскиот дентин кои можат да го поттикнат регрутирањето на забни матични клетки на местото на повредата, да ја стимулираат диференцијацијата на матичните клетки и да го поттикнат процесот на регенерација [155,156].

Во еднодонцијата се користи во форма на гел или на течност. Формата на гел се користи во почетните фази на ендодонтската терапија - при постигнување на проодноста и при формирање на glade path, бидејќи ги подмачкува sидовите на коренскиот канал, а воедно го намалува триењето помеѓу ендодонтската турпија и површината на дентинот. Ова го намалува ризикот од кршење на инструментот. Лубрикацијата е вклучено во сите фази на третман на коренски канал, од поставување на кофердамот до оптурација на каналот. При инструментација, лубрикацијата е потребна за да се олесни механичкото дејство на рачните или ротирачките турпии и да се помогне во емулгирањето и суспендирањето на остатоците и дебрисот [49]. Сепак според Peters и сор. доколку е потребна лубрикација многу е подобро да се користи EDTA во форма на течност.

Течната форма се користи повторно при финалната иригација, по целосната хемо-механичка обработка на коренскиот канал. Целта е отстранување на размачканиот слој. Истото дејство како и EDTA има лимонската киселина, која заедно со EDTA се користи 2-3 минути по инструментацијата и иригацијата со NaOCl. Сепак, Wu и сор. покажале дека способноста за отстранување на размачканиот слој од 17 % EDTA е значително поефикасна од 20 % лимонска киселина, особено во апикалниот дел од коренскиот канал [13].

При работа со EDTA треба да се имаат предвид два потврдени факти. Првиот е дека при продолжено дејство настанува силна ерозија на дентинот [50]. Второто е дека дејството е сепак самоограничувачко. Хелаторите можат да ја намалат микротврдоста на коренскиот дентин, при што најголемите разлики се забележуваат во дентинот веднаш до луменот на коренскиот канал. Ефектот на

хелаторот се случува во првите 5 минути и неговото дејство не може значително да се зголеми со продолжување на времето.

Во трудот на Bhandary се испитувало влијание на хелаторот EDTA со концентрација 8 % и 17 %. Авторите прикажуваат дека кога концентрацијата била 8 %, немало оштетување на забите, но кога поставиле 17 % EDTA во период од 10 минути, фрактурната резистенција била многу намалена. Нивна препорака е хелаторот да биде во поголема концентрација, но изложеноста на дентинот да биде во пократко време. [122]

Bedir и сор., со цел да го елиминираат овој ефект на ерозија на силните хелатори како EDTA и лимонска киселина, препорачуваат за таа цел да се користи етидронат. Тој одлично го отстранува размачканиот слој, но не прави негативно оштетување на дентинот. Тие, исто така, укажуваат дека етидронатот не предизвикува намалување на растворувачкиот ефект на хипохлоритот, па според тоа може и истовремено да се користи. [127]

Кога се работи со ЕДТА треба да се има предвид и неговото својство да влијае и на денталните материјали од групата биокерамика, како МТА или биодентин. Dąbrowska и сор. прикажуваат дека доколку е поставен биодентин на перфорација, па после тоа иригирано со EDTA, се предизвикуваат промени на материјалот, како површински така и во неговиот состав. Затоа не се препорачува продолжување на ендодонтските процедури што вклучуваат иригација со EDTA веднаш по поставувањето на биодентинот. [132]

Озонирана вода

Во современата ендодонција, покрај класичните раствори како NaOCl, CHX и EDTA, сè поголем интерес постои за алтернативни и помошни ириганси со изразено антимикробно дејство и подобра биолошка прифатливост. Во овој контекст, озонираната вода се разгледува како една од актуелните алтернативи во системот на иригација. Gomes и сор. ја вклучуваат озонираната вода меѓу современите алтернативни ириганси, но истовремено нагласуваат дека ниту едно средство не ги поседува сите својства на идеален ендодонтски ириганс [11].

Озонот (O3) е нестабилна алотропска форма на кислород со висок оксидативен потенцијал. Кога се раствора во вода, создава реактивни кислородни видови кои можат да ја оштетат клеточната мембрана на микроорганизмите, да ги оксидираат протеините, липидите и нуклеинските киселини и на тој начин да предизвикаат брзо намалување на микробниот товар. Неговата предност е што по реакцијата се разградува главно до кислород, па затоа се смета за биокомпатибилна можност во споредба со некои класични раствори со поголема цитотоксичност. Сепак, концентрацијата на озонот во вода брзо се намалува, поради што растворот треба да биде свежо подготвен и употребен во контролирани услови [51].

Досегашните испитувања не даваат целосно еднозначни резултати. Estrela и сор. испитувале озонирана вода, гасовит озон, NaOCl и CHX во инфицирани човечки коренски канали и прикажале дека ниту еден од испитуваните протоколи, при дадените услови, не бил доволен за целосна инактивација на Enterococcus faecalis [52]. Од друга страна, Huth и сор. покажале дека водениот озон може да има изразено антимикробно дејство врз ендодонтопатогени микроорганизми во биофилм, но ефектот зависи од концентрацијата, времето на дејствување и начинот на апликација [53].

Особено важен аспект е активирањето на растворот. Hubbezoglu и сор. прикажале дека антибактерискиот ефект на водениот озон во канали инфицирани со Enterococcus faecalis се подобрува кога се користи повисока концентрација и кога растворот се комбинира со ултразвучна апликација [54]. Слично, Nunes и сор. докажале дека озонираната вода и фотодинамичката терапија довеле до значајно намалување на микроорганизмите, а групите со звучна активација имале поголема микробна редукција во споредба со неактивираните протоколи [55]. Овие резултати се во согласност со општата идеја дека активирањето ја подобрува дистрибуцијата и пенетрацијата на иригансите во комплексниот систем на коренскиот канал.

Во закривени канали и анатомски потешко достапни региони, озонираната вода исто така покажала потенцијал како помошно средство за микробна редукција. Pinheiro и сор. споредиле 2,5 % NaOCl, 2% CHX и озонирана вода во мезиобукални канали со изразена закривеност и покажале слична редукција на микробниот број кај трите испитувани раствори, при што озонираната вода била предложена како можна опција за намалување на микробниот товар во системот на коренскиот канал [56]. Сепак, овие податоци не значат дека озонираната вода може целосно да го замени NaOCl или EDTA, туку дека може да има улога како дополнителен антимикробен протокол.

Систематскиот преглед на Shetty и сор. покажува дека озонираната вода во повеќето анализирани студии не била супериорна во однос на натриум хипохлоритот или хлорхексидинот, но покажала приближно споредлива антимикробна активност [51]. Клиничкото значење на овие резултати треба да се толкува внимателно, бидејќи студиите се разликуваат според концентрацијата на озон, времето на изложеност, методот на активација, видот на микроорганизмите и моделот на инфициран канал. Поради тоа, сè уште не постои унифициран протокол за неговата употреба во секојдневната ендодонтска пракса.

Од аспект на отстранување на размачканиот слој, озонираната вода не треба да се третира како замена за хелаторите. Нејзината главна вредност е антимикробното дејство, додека отстранувањето на неорганската компонента на размачканиот слој останува улога на EDTA или други хелаторни раствори. Затоа, најрационален пристап е озонираната вода да се разгледува како адјувантен или финален антимикробен ириганс, особено кога се комбинира со звучна или ултразвучна активација, но не како самостоен протокол за целосно чистење на каналните ѕидови [11,51,55].

Комбинација на раствори за иригација

Познати се и некои комбинации на средствата за иригација кои се комерцијално познати.
MTAD (BioPure MTAD, Dentsply Sirona Endodontics, Јорк, ПА, САД) е мешавина од 3 % доксициклин, 4,25 % лимонска киселина и 0,5 % Tween 80. BioPure е претставен на стоматолошкиот пазар во раните 2000-ти како ириганс со повеќе намени. Доказите сугерираат дека има способност да го отстрани размачканиот слој на размачкување, а исто така покажува и моќна антимикробна активност. Marins [57]. Доксициклинот е главната состојка што придонесува за неговата антимикробна активност. Лимонската киселина и Tween-80 исто така имаат влијание врз дејството на BioPure MTAD. Prabhakar и сор. покажале целосна инхибиција на растот на бактериите од страна на MTAD во биофилм стар три недели [58]. Tulsani [59] смета дека има еднаква ефикасност колку и натриум хипохлоритот во својата in vivo студија. Спротивно на тоа, студијата на Ordinola-Zapata заклучува дека MTAD нема добра антибактериска активност против E. fecalis [60]. Во студијата на De-Deus и сор. [61], била споредувана деминерализацискатa способност на BioPure MTAD, 17% EDTA и 5% лимонска киселина врз радикуларниот дентин. Тие заклучуваат дека кинетиката на деминерализација поттикната и од 5 % лимонска киселина и од BioPure MTAD беше значително побрза отколку од 17 % EDTA.
QMiX (Dentsply Tulsa Dental Specialties, Талса, Оклахома) е воведен во 2011 година, е раствор за финална иригација дизајниран да ја зголеми ефикасноста за време на процедурите за иригација со користење на еден раствор [62]. QMix содржи триклосан, аналог на CHX, EDTA како средство за декалцифицирање и детергент. QMix е формулиран да ги користи антимикробните и супстантните својства на хлорхексидинот и својствата за хелирање на EDTA. Во трудот на Stojicic [62] QMiX и NaOCl биле поуспешни во однос на CHX и MTAD под лабораториски услови во елиминирањето на E. faecalis и бактериите во планктонска и биофилмска култура. Способноста за отстранување на размачкан слој со QMiX беше споредлива со EDTA.

Интеракции меѓу растворите за иригација

Дејството на иригансите во системот на коренскиот канал е незаменливо. И покрај технолошкиот напредок, ендодонтите допрва треба да постигнат предвидлива дезинфекција на коренските канали. Потребно е да се продолжи со развојот на понови решенија и техники во науката за ендодонско иригирање со цел да се постигне апсолутна дезинфекција на сложениот систем на коренскиот канал. Со иригансите, кои се достапни денес, треба да се користи комбинација од две или повеќе средства за иригација за да се добијат прифатливи резултати, но ова бара внимателен избор заснован на темелно

разбирање на хемијата и механизмот на дејство на различните ириганси, при што треба да се внимава, меѓу другото, и на нивните интеракции.

Постојат многу истражувања кои покажуваат дека овие интеракции можат да имаат несакани ефекти и да доведат до дефинитивен неуспех на ендодонтската терапија [63]. Сите овие несакани ефекти можат да се спречат со едноставен внимателен протокол за иригација [64].

За да се спречи создавање на преципитати и пребојување на забите, не треба да се дозволи иригансите и хелаторите кои се користат да дојдат во непосреден контакт. Иако се сметало дека и физиолошкиот раствор може да биде употребен како „меѓуириганс“, сепак и тој може да развие интеракција. Физиолошкиот раствор, кога се користи како ириганс, не формира талог со NaOCl, но произведува талог од сол кога се поврзува со 2 % CHX и во форма на гел и во форма на раствор. Талогот формиран помеѓу CHX и физиолошкиот раствор се припишува на процесот на презаситување, при што примената на физиолошки раствор ја зголемува концентрацијата на сол и ги таложи CHX солите Prado. 2013; Преостанатите количества на течности во каналот треба да се отстранат со дестилирана вода, а потоа да се исуши каналот со хартиени шилци [64].

Во контакт со дестилираната вода повеќето хемиски средства што се користат во коренските канали не формираат талог и не доаѓа до хемиска реакција. Затоа, дестилираната вода се чини дека е најсоодветното ириганс за меѓуплакнења и отстранување на траги од претходно користениот хемиски ириганс. Важно е да се отстранат сите траги, па со следното употребено средство да нема интеракција [63].

Нуспроизводите формирани преку хемиска интеракција може да бидат во форма на цврст талог што може да ги затвори дентинските тубули, формирајќи бариера помеѓу материјалот за полнење на коренот и површината на дентинот. Исто така формираните нуспроизводи може да бидат токсични и за периапикалните ткива Prado.

Ако дојде до спој на NaOCl и CHX, NaOCl се дисоцира на следните јони: H+, O2, и Cl-. Потоа, хлоридната група реагира со молекулата на хлорексидин во гванин групата (NH). Ова доведува до формирање на пара-хлороанилин (PCA), цитотоксичен портокалово-кафеав талог. Овој хемиски слој може да предизвика промена на бојата на забот, блокада на дентинските тубули, контаминација на дентинот, но преминува во периапикалното ткиво [65]. Basrani и сор. [66] докажале дека постои моментална реакција која се забележува и при минимални количества на NaOCl. Иако сè уште не е целосно проучено дали овој преципитат е штетен, неговото формирање треба да се избегне со отстранување на NaOCl пред да се стави CHX во каналот. Wright 2017.

Комбинацијата на EDTA и NaOCl е препорачана за ефикасно отстранување и на органските и на неорганските компоненти на размачканиот слој. Baumgartner и сор. и Mader и сор. прикажаа дека EDTA и NaOCl предизвикуваат прогресивно растворање на перитубуларниот и интертубуларниот дентин, така што дијаметарот на тубуларните отвори се

зголемува и до 4 μm. EDTA ја задржува својата способност да хелира калциум во присуство на NaOCl, додека својството за растворање на ткивото на NaOCl се намалува [158]. Çalt и сор. додаваат EDTA во растворот на NaOCl, по што содржината на слободен хлор била намалена од 0,50-0,06 %. Авторите препорачуваат дека EDTA и NaOCl треба да се користат одделно за време на инструментацијата [50].

EDTA најчесто се користи во концентрации од 15 % или 17 % и има неутрална до малку алкална pH-вредност. На оваа pH вредност, реакцијата помеѓу NaOCl и EDTA е егзотермна и мешањето на NaOCl со EDTA резултира со брзо и драматично намалување на слободниот достапен хлор. Забележано е формирање на гас од оваа комбинација и измерени се ниски емисии на гас на хлор. Оваа интеракција се припишува на реакцијата на неутрализација на киселина/база помеѓу NaOCl и EDTA, со формирање на HOCl, кој потоа се распаѓа, ослободувајќи хлор и кислород. Prado M. Практичното значење на оваа реакција е дека интеракцијата меѓу NaOCl и EDTA ја намалува активноста на хипохлоридот и губење на органолитичното дејство, поради моменталното намалување на количеството на слободен хлор [67].

Доколку на растворот на EDTA и се зголеми алкалноста, има подолго одржување и на слободниот достапен хлор, иако концентрациите и на EDTA и на NaOCl треба да се намалат за да се добие овој резултат [62]. PH на мешавина од 1:1 од 5 % NaOCl и 10% EDTA паѓа од 11,9 на 10 минути по мешањето на 9,0 на еден час по мешањето, за време на кој период останатиот слободен достапен хлор опаѓа од 90 % на 62 %. [148]

При мешање на иригансите и хелаторите може да дојде и до клинички несакани ефекти. Пријавен е извештај за случај кој опишува супкутан емфизем од формиран гас, добиен при интеракцијата на RC-Prep со NaOCl. RC-Prep содржи и EDTA и уреа пероксид и можни се реакции на овие компоненти со NaOCl [150].

Спојот на CHX и EDTA, исто така има интеракција, а се создава млечно-бел преципитат, кој ја намалува пермеабилноста на дентинот. Кога CHX и EDTA ќе се спојат, се формира талог кој содржи 90 % CHX и EDTA, со помалку од 1 % од потенцијалниот производ на распаѓање, p-хлороанилин. Тоа значи дека CHX не дејствува во присуство на EDTA. Талогот е сол формирана со електростатско неутрализација на катјонскиот CHX со анјонска EDTA. Според Rasimick и сор. врз основа на резултатите, хлорхексидинот формира сол со EDTA наместо да подлежи на хемиска реакција. Клиничкото значење на талогот EDTA/CHX е во голема мера непознато. Нема објавени мерења за тоа колку талог се прилепува на дентинот на коренскиот канал. Понатаму, не е познато дали некој од овие прилепувачки талози има интеракција со цементот со кој се полни забот [145].

Дали треба да се отстрани размачканиот слој?

Размачканиот слој се состои од два слоја, површински слој со дебелина од 1-2 μm и подлабок дел во дентинските тубули којшто достигнува длабочина од 40 μm и е лабаво прилепен за дентинските тубули. Овој слој содржи неорганski (дентински остатоци) и органски компоненти како што се некротични пулпални ткива, остатоци од одонтобластни процеси и микроорганизми [68].

Прашањето за задржување или отстранување на размачканиот слој останува контроверзно. Повеќето автори и ендодонти сметаат дека тој треба секако да биде отстранет. Како аргументи ги посочуваат следните тврдења:

- Има аморфна структура и непредвидлив волумен, бидејќи се состои од остатоци од пулпино ткиво, микроорганизми и дебрис создаден при подготовка на коренскиот канал [69]
- Содржи бактерии, нивни нуспроизводи и некротично ткиво. Тие можат да преживеат и да се размножуваат и навлезат во дентинските тубули кои можат да послужат како резервоар на перзистентна инфекција. Madison S,. и Shahravan A) [124, 125]
- Може да ја ограничи оптималната пенетрација на средствата за дезинфекција [70]
- Може да дејствува како бариера помеѓу материјалите за полнење и ѕидот на каналот и затоа да го загрози формирањето на задоволително запечатување [71]
- Тоа е слабо прилепена структура и поради тоа постои можност бактериите да навлезат меѓу слојот и дентинските ѕидови [72]
- подобри долгорочни резултати од третманот се добиваат доколку слојот е отстранет [73]

Помал број автори сметаат дека отстранувањето на размачканиот слој не е неопходно. Тие сметаат дека размачканиот слој ги блокира бактерии и други иританси во главниот канал, а се спречува и бактериската инвазија на дентинските тубули [74]

Според Violich и сор. [70] отстранувањето на размачканиот слој ја подобрува дезинфекцијата на каналот, но дека сегашните достапни - хемиски, ултразвучни и ласерски методи не се целосно ефикасни во отстранувањето по целата должина на коренскиот канал. Потоа укажува дека сè уште постои конфликт во врска со потребата за отстранување на размачканиот слој пред полнење на коренските канали. За дефинитивниот исход на терапијата по полнењето се прикажани резултатите на Fachin и сор, Villegas, et al. и Bertacci, et al. кои покажуваат дека не постои покажаа разлики помеѓу квалитетот на полнењето полнењето на коренскиот канал, рамификациите и латералните канали без разлика дали размачканиот слој е отстранет или не. Овој наод е

спротивен со оној на Citaku, [75] каде што подобро полнење е постигната по отстранување на размачканиот слој.

Техники на иригација

Сите ефекти на иригансите можат да бидат компромитирани од самата морфологија на коренските канали. Тие претставуваат делумно затворен сад, каде што поради површинската напнатост иригансите воопшто или многу тешко доаѓаат до самиот крај на каналот, близу до апексот. Поради тоа се препорачува апикалното проширување да биде барем до големина 30-35 на каналните инструменти, за да се постигне дебридмен и дезинфекција [76]. Правилната иригација зависи од јачината на млазот, големината на каналот и неговата коничност, од големината и типот на иглите за иригација, но и од можноста за нивната инсерција во каналот.

Во моментот постојат повеќе протоколи како да се направи правилна иригација, но ниту еден не е целосно прифатен на универзитетите и во секојдневната клиничка пракса која би довела до сигурен клинички успех на ендодонтскиот третман.

Достапни се различни средства за иригација, вклучувајќи: NaOCl, EDTA, хлорхексидин глуконат, лимонска киселина, дестилирана вода и физиолошки раствор, како и многу нови препарати.

Меѓутоа постои консензус дека иригансите во каналот треба да се активираат. Неодамнешен систематски преглед и метаанализа од Kumar и сор. споредувајќи ја ефикасноста на различни техники за активирање на иригацијата за длабочината на пенетрација на иригансот во системот на коренскиот канал покажа дека техниките за активирање на иригансот значително ја подобриле испораката на иригација до работната должина на каналот и во прави и закривени коренски канали во споредба со конвенционалната техника на иригација без активација. Затоа, истражувачите препорачуваат инкорпорирање на неодамнешните техники за активирање на иригација во рутинска ендодонтска пракса. [77] Несогласувања постојат околу техниките за активирање. Правени се обиди да се подобри ефикасноста и подлабоко продирање на иригансот во коренските канали, со различни предложени мерки на активација. Изборот на техника во голема мера зависи од специфичната анатомија на коренскиот канал на пациентот, проодноста, степенот на обработка, но и лична предиспозиција за употреба на одреден метод.

Иригацијата со конвенционален шприц е широко прифатено, иако неговото дејство не е доволно за отстранување на остатоците од коренскиот канал, особено во апикалната третина од коренскиот канал и во истмусите [78]. Сепак, сите немаат исто мислење. Па така Amorim и сор. [79] сметаат дека во уништувањето на биофилмот поголем значење има тоа кој ириганс ќе се употреби, а не како тој е активиран.

Постојат повеќе начини за активација на иригансот и тоа: мануелна динамичка иригација, пасивна ултрасонична иригација, сонична активација, активација со ласер итн.

Конвенционална иригација

Конвенционалната иригација со игла е широко прифатена техника и се состои од користење на канила за иригација прикачена на шприц. Се користат игли со различен калибар, пасивно или со агитација. Длабочината на пенетрација на иглата и волуменот на иригансот може лесно да се контролираат во оваа техника. Сепак, вреди да се спомене дека стапката на проток на течност за време на иригацијата е тешко да се контролира и стандардизира. [80]

За време на иригацијата со шприц и игла, надополнувањето и размената на течности се само одвива најмногу до 1-1,5 mm апикално од врвот на иглата за иригација. Општо земено, протокот на иригансот до работната должина и интеракцијата на иригансот со ѕидовите на коренскиот канал зависи од морфологијата на каналот, длабочината на поставување на иглата, дијаметарот на иглата и положбата на отворот на иглата (пример - страничен отвор или отворен крај). Generali L. Употреба на (side-vented) игли со страничен отвор и нивно позиционирање на 1–2 mm од работната должина, со бавна и контролирана апликација на растворот спречува втиснување на дебрисот преку апикалниот отвор [76,81].

Овие фактори може да предизвикаат варијација во апикалниот притисок генериран за време на иригацијата, што објаснува некои од ретките несакани компликации кога NaOCI преминува преку апексот во околните ткива за време на иригација со шприц-игла [82]. Препораките за избегнување на ваквите инциденти се поставување на врвот на иглата на оптимално растојание од работната должина, спречување на заглавување на иглата во каналот за да се обезбеди непречена брзина на проток за испорака и евакуација на иригансот.

Конвенционалната техника на иригација со игла со шприц често не успева ефикасно да ги испорача и дистрибуира иригансите во сложениот систем на коренскиот канал, особено во апикалната третина и истмусната област. Причина за ова е и т.н. vapor lock, кој значи преостаната течност измешана со дебрис, која е „мртва“ и со техниките на иригација останува заглавена во апикалниот дел. [83]. Така, кога се врши иригација со шприц микробите од главниот лумен ќе бидат отстранети, но во апикалниот, впрочем, најважниот дел, ќе опстојат и тоа во одличен супстрат кој ќе го поттикнува нивниот раст. Ова негативно влијае на прогнозата на третманот на коренскиот канал и е предуслов за перзистентен апикален периодонтитис.

Реактивноста на EDTA е подобрена кога се комбинира со системи за активирање. Активирањето на хелатните агенси, независно од користениот протокол, придонесува за отстранување на размачканите слоеви од коренските канали Herrera.

Рачно динамичко активирање

Рачно динамично активирање (MDA) е техника која не бара дополнителна опрема. Овој систем за активирање се состои од повеќекратно брзо движење на гутаперка конус, рачен инструмент и канални четкички, движења со амплитуда од 2 mm со фреквенција од 100 удари ве период од 1 мин. Овој процес произведува хидродинамички ефект со „жабуркање“ на иригансот низ системот на коренскиот канал. Се смета дека оваа техника е успешна да го отстрани апикалниот дебрис и да го дозволи антимикробното средство да дејствува насекаде.

Студијата на Ahuja и сор. [84] покажала дека рачното динамичкото активирање било значително подобро во отстранувањето на размачканиот слој во апикалната третина во споредба со иригацијата со неактивната иригација со шприц. Khare M и сор. [85] го проценувале степенот на пенетрација на иригансот во коренските канали користејќи пасивно ултразвучна иригација и мануелна динамичка активација. Наодите покажале дека додека пасивното ултразвучно иригирање било дефинитивно подобро во дистрибуцијата на иригансот до работната должина, а мануелна динамичка активација исто така покажала споредливи резултати во иригацијата на латералните канали, што ја прави остварлива алтернатива кога ултразвучните уреди се недостапни.

Трудот на Raducka и сор. [86] која се однесува на методите за активирање на течности за иригација за третман на коренскиот канал испитувал различни техники, вклучително и рачно активирање со гутаперка. Тие нагласуваат дека методата за рачно активирање, е едноставна, исплатлива и може да ја подобри ефикасноста на иригансите во системот на коренскиот канал, особено во апикалната третина. Студијата покажала дека мануелната активација го има тој недостаток што предизвикува ризик од посттретманска болка, која се јавува 24 часа по процедурата. Рачната активација била споредувана со иригација со игла без никаква активација и пасивна ултразвучна иригација [87]. Сепак , длабочината на пенетрација на иригансите во коренскиот канал е помала со рачната активација во споредба со техниките на звучна, ултразвучна и ласерски индуцирана активација [78].

Во современата ендодонција постојат многу современи методи на активација на иригансот, но сепак најчесто испитувани методи за активација на иригансот се ултразвучно и звучно активираните раствори.

Пасивна ултразвучна иригација

Пасивното ултразвучна иригација (ПУИ) е еден од најшироко користените автоматизирани методи за иригација. Терминот пасивен во PUI значи дека има само активација на иригансот, што се разликува од активната ултразвучна иригација, при која се врши и истовремена обработка на коренскиот канал и обилна континуирана иригација, што било многу актуелно во 90-тите години од минатиот век.

Пасивниот метод на иригација се применува по подготовка и проширување на коренскиот канал. За време на процесот на активирање со ултразвук, во коренскиот канал се става додаток кој мора слободно да вибрира за да пренесе енергија од врвот до иригансот. Врвот мора да вибрира во простор кој е трипати поголем од неговиот дијаметар Во овој случај, ултразвучната фреквенција на осцилација од 25-40 kHz се постигнува со магнетострикативни или пиезоелектрични уреди. Врвот или влошката се поставува во внатрешноста на каналот блиску до апикалната област (околу 2 mm покусо од работната должина) кој при вибрацијата не допира до каналните ѕидови. [88]

Принципот на работа на ултразвучната активација оди преку акустичен стриминг (или микростриминг) и хидродинамичка кавитација.

Акустичен стриминг е брзо движење на течноста во кружно движење околу активираниот врв. Повеќекратните јазли и антиноди под високата фреквенција на осцилации предизвикуваат интензивно акустично струење.

Кога се применува ултразвучна енергија, таа создава меурчиња кои растат и колабираат, генерирајќи ефект на вакуум под притисок познат како кавитација. Кога енергијата се применува на врвот на инструментот, се формираат падови на притисок и мали воздушни меурчиња кои создаваат ударен бран кон внатре со висока енергија за време на нивната имплозија - колапс кој генерира моќен ударен бран. [89] Пукањето на меурчињата предизвикува микрошокови и брзо движење на течноста, што го нарушува биофилмот [90], навлегува во необработените зони и, оттука, го подобрува отстранувањето на преостанатиот дебрис и размачканиот слој [9]. Многу подобро дејствува на NaOCl, кој значително ја подобрува ефикасноста во чистењета, вклучувајќи латерална пенетрација, подобрени антибактериските својства и побрзо на некротичните ткива. Ултразвукот е многу помалку ефикасен во подобрувањето на активноста на EDTA.

Во неодамнешната студија на Plazza и сор. биле проценети различните протоколи на пасивна ултразвучна активација за отстранување на дебрисот од главниот канал и дентинските тубули. Тие покажале дека пасивната ултразвучна активација биле значително поефикасни во отстранувањето на остатоците во споредба со конвенционалната иригација [144]. Barbosa и сор преку систематски преглед и метаанализа на студии кои користеле микроКТ скенирање, покажале дека PUI е поефикасен од неактивираната иригација во отстранувањето на остатоци од тврди ткива [120].

Звучна иригација

Соничниот систем, меѓу кои спаѓа и ендоактиватор системот, користи звучни апарати кои ги активираат јаките, силно флексибилни полимерни продолжетоци. Тие се неактивни во однос на стружење, а ја имаат формата и обликот на обработениот канал. Механичките осцилации се најјаки на врвот на инструментот со фреквенција која осцилира од 1 до 10 kHz, што е побавно во однос на ултразвучната активација каде што врвот на инструментот вибрира со фреквенција од 25-30 kHz. Последователно, звучното активирање, генерира значително поголема амплитуда (хоризонтално поместување на врвот) Karade P [91].

Тан и сор. потврдиле дека по соничната активација се подобрува пенетрацијата на цементот за полнење во тубуларниот дентин. Сепак, тие укажуваат на голема хетерогеност во резултатите при апикалната третина од коренскиот канал, што укажува на потребата од стандардизирање на процедурите за иригација на коренскиот канал и добивање поточни резултати во оваа област [92].

NaOCl кој е активиран со EDDY (соничната активација) и пасивната ултразвучна активација покажале сличен ефект на елиминација на бактерии во коронарната и средната третина од коренски канал. Nd:YAP ласерот бил поефикасен во апикалната третина од нив, но повремената иригација го намалило неговото термичко влијание [93].

Обично резултатите на трудовите кои ги споредуваат звучниот и ултразавучниот начин на активација се прилично противречени, па и сосема спротивни.

Според литературата, овие методи се испитуваат од различни аспекти: во однос на ризикот од екструзија, дебридмен на коренскиот канал и отстранување на биофилмот, можноста да се исчистат истмусите и латералните канали и т.н. Paixão. [94]

Студија направена од страна на Dadhich и сор. [95] прикажува дека меѓу различните методи на активација, групата со сонична активација покажува поголема длабочина на пенетрација и подобро чистење, дури и во најдлабоките делови на каналите во споредба со ултразвучната и рачната иригација. Слични резултати се добиваат и во трудот на Khaord и сор. [78], кои исто ја преферираат соничната активација. За ефикасноста на соничната активација зборува и трудот на Haupt и сор [96], каде што само активација со звучните EDDY и Ендоактиватор целосно го исчистиле дебрисот. Сепак укажуваат дека ниту една техника на активација не е во состојба да го елиминира целиот размачкан слој.

Сосема спротивно, активацијата со Endosonic била многу помалку ефикасна при отстранувањето на дебрисот и размачканиот слој во споредба со ултразвучниот во трудот на Wigler и сор. [97]. Според Jiang LM и сор. [98] поголемиот ултразвучен интензитет при иригација резултира со поголема

амплитуда на осцилирачките движења, а со тоа се добива зголемена ефикасност на чистењето на коренскиот канал. Финалната иригација со ултразвучна активација е многу поуспешна и остава помалку остатоци во коренскиот канал.

Ласерска активација

Уште една форма на активација е ласерската и е наречена ласерско активирана иригација (LAI). Ласерската активација на иригансите се опишува во литературата како дополнителна техника во рамки на финалната иригација, со цел да се надминат ограничувањата на пасивната иригација и да се подобри чистењето и дезинфекцијата на коренскиот канален систем. Повеќето автори се согласуваат дека ласерската активација не треба да ја замени конвенционалната иригација, туку да се користи како дополнителен метод за зголемување на ефикасноста на веќе применетите ириганси. [99-100] Во однос на фазата на примена, литературата препорачува ласерската активација да се спроведе во фазата на финална иригација, по завршување на механичката инструментација и по апликацијата на основните ириганси. Според George и Walsh [101], ласерската активација е најефикасна кога се користи во комбинација со NaOCl и EDTA, бидејќи фотоакустичниот ефект ја зголемува пенетрацијата на овие раствори во дентинските тубули и анатомски комплексните региони.

Кај овој пристап, пулсна ласерска светлина се насочува кон иригансот во коренскиот канал, давајќи му динамика, а со тоа и подобра дистрибуција и способност за чистење [101]. Се користат Er;Cr:YSGG ласерот од 2780-nm /2790nm, erbium chromium, yttrium scandium gallium garnet (laser) [102] или Er:YAG од 2940-nm [100], поради нивната висока апсорпција во вода. Оваа карактеристика овозможува ефикасно пренесување на енергијата кон иригансот и создавање на фотоакустични бранови, без потреба од директен контакт со дентинските ѕидови [99]. Меѓу ласерите треба да се спомне и диодниот ласер, кој е опширно проучуван како метод за редукција на интраканални бактерии и отстранување на размачканиот слој. Во трудот на Abraham и сор [103] диодниот ласер и endo Activator се многу поуспешни во отстранување на размачканиот слој во однос на пасивната ултразвучна иригација.

Во однос на позиционирањето на ласерскиот врв, повеќето автори нагласуваат дека врвот не треба да се внесува до апикалната третина. Наместо тоа, се препорачува негово позиционирање во коронарната или во средната третина на каналот, со цел да се минимизира ризикот од екструзија на иригансот и термичко оштетување на периапикалните ткива. [100]

Особено значајна техника во рамки на ласерската активација е Photon-Induced Photoacoustic Streaming (PIPS). Според DiVito и Peters [104], PIPS техниката овозможува ефективна активација на иригансите со минимална

енергија, при што ласерскиот врв се поставува само во коронарниот дел на коренскиот канал. Оваа техника овозможува создавање на силен фотоакустичен ефект низ целиот канален систем, без потреба од агресивна инструментација или длабока пенетрација на ласерскиот врв. Во однос на параметрите на ласерската активација, литературата препорачува употреба на нискоенергетски поставки, кратки импулси и висока фреквенција, со цел да се избегне прекумерно загревање на ткивата. DiVito et al. [100] нагласуваат дека контролираното користење на ласерската енергија е од клучно значење за безбедна и ефективна примена на оваа техника.

Бројни студии покажуваат дека ласерската активација значително ја подобрува ефикасноста на отстранување на smear layer-от, особено во апикалната третина и во истмусите, во споредба со пасивната иригација. Дополнително, забележана е поголема пенетрација на иригансите во дентинските тубули и поефикасна редукција на бактериите, што ја прави оваа техника особено корисна кај случаи со перзистентни инфекции и комплексна морфологија на коренскиот канал. [99,101]

И покрај наведените предности, повеќето автори укажуваат и на одредени ограничувања на ласерската активација, како што се високата цена на опремата, потребата од специјализирана обука и ограничената достапност во секојдневната клиничка пракса. Сепак, според литературата може да се заклучи дека ласерската активација претставува вреден додаток кон современите протоколи за финална иригација, особено во случаи каде што конвенционалните методи не обезбедуваат задоволителни резултати. [104-105]

Финална иригација - значење и протоколи

Повеќето автори препорачуваат финалната иригација да се изведува по завршување на целосната механичка инструментација, со доволно апикално проширување кое ќе овозможи ефективна размена на иригансот во апикалната третина. Се нарекува финална бидејќи се изведува по целосното завршување на механичката обработка. Размачканиот слој се создава сè додека се врши инструментирање на каналниот дентин. Поради тоа во фазата на финалната иригација веќе нема стругање на дентинот, туку се додаваат хелетори кои ќе го отстранат.

Во современата ендодонтска литература постои општ консензус дека финалната иригација не треба да се сведува само на пасивно плакнење на коренскиот канал, туку мора да биде строго структуриран и протоколарно дефиниран процес. Целта на финалната иригација е максимално отстранување на smear layer-от, редукција на микробиолошката содржина и подобрување на условите за херметична оптурација [9,49,70]. Според Peters et al. [81], апикалната големина и конусноста на каналот имаат директно влијание врз пенетрацијата и ефикасноста на иригансите, особено во апикалната регија.

Во однос на изборот на ириганси, литературата најчесто препорачува комбиниран пристап. Натриум хипохлоритот во концентрации помеѓу 1 % и 5,25% се смета за основен ириганс поради неговото силно антимикробно дејство и способност за растворање на органска материја. Сепак, бидејќи NaOCl не ја отстранува неорганската компонента на smear layer-от, неговата употреба мора да биде надополнета со хелатен агенс, најчесто 17 % EDTA [9,106]. Препорачаниот режим на иригација вклучува последователна употреба на NaOCl и средство за декалцифицирање. Оздемир и сор. заклучиле дека комбинираната апликација на 17% EDTA и 2,5 % NaOCl значително ја намалува количината на интраканален биофилм [107].

Во поглед на редоследот на иригација, повеќето автори се согласуваат дека EDTA треба да се користи како финален хелатен агенс, по завршување на инструментацијата, со цел ефикасно отстранување на размачканиот слој. Според De-Deus et al. [108] и Torabinejad et al. [109], оптималното време на апликација на EDTA изнесува околу 1 минута, бидејќи подолга експозиција може да доведе до прекумерна дентинска деминерализација и ерозија на дентинските ѕидови.

По апликацијата на EDTA, дел од авторите препорачуваат финално испирање со NaOCl, со цел да се отстрани преостанатата органска материја и да се подобри антимикробниот ефект. De-Deus et al. [108] наведуваат дека овој чекор може да придонесе за почист канал, но истовремено нагласуваат дека NaOCl треба да се користи со претпазливост по EDTA, поради потенцијалната интеракција и зголемениот ризик од дентинска ерозија доколку експозицијата е продолжена. Во однос на волуменот на иригансот, истражувањата укажуваат дека поголемата количина на раствор има поголемо значење отколку самата концентрација. Boutsioukis et al. [76] нагласуваат дека континуираната размена на свеж ириганс е од суштинско значење за ефективна дезинфекција, особено во апикалната третина.

Иако постојат повеќе протоколи за финална иригација, можеби најлогична е следнава. За време на целата инструментација потребно е обилно испирање со NaOCl за разложување на органското ткиво и антибактериски ефект, понатаму следува иригација со ЕДТА за отстранување на неорганската содржина, односно отстранување на размачканиот слој. Повторна иригација со NaOCl , кој сега треба да дејствува во отворените дентински каналчиња кои содржат бактерии и органски материи. Завршна иригација се врши со CHX за зголемување на антимикробното дејство и продолжено дезифициентно дејство, но само во случаи каде што се очекуваа присуство на резистентни бактерии при ретретманите.

Начинот на апликација на иригансот игра клучна улога во успехот на финалната иригација. Современите препораки сè повеќе ја нагласуваат важноста на активацијата на иригансите и во рамки на финалната иригација. Ултразвучната и ласерската активација се опишуваат како методи кои значително ја подобруваат хидродинамиката и овозможуваат подобра пенетрација на иригансите во анатомски комплексните региони. Според De Moor et al. [99] и DiVito et al. [100], активацијата на иригансите доведува до

поефикасно отстранување на smear layer-от и подобра редукција на бактериите во споредба со пасивната иригација.

Со цел да се спречи формирањето на талози при употреба на NaOCl и CHX, често се препорачува иригациски протокол кој вклучува меѓуиспирања. На пример, Zehnder [9] препорачувал коренските канали да се испираат исклучиво со NaOCl за време на механичката препарација, што тој го припишуваше на „уникатните својства за растворање на ткивата“. Пред финалното испирање со CHX, кое тој го препорачуваше за хроничен пулпитис и ревизии, Zehnder [9] советувал меѓуиспирање со EDTA или лимонска киселина со цел да се спречи формирањето на талози. Тука треба да се напомене дека коренскиот дентин може да омекне доколку е изложен на силни хелатни агенси, како што е EDTA, подолг временски период. [50]

Bueso и сор. [64] користеле стереомикроскопска анализа за да го споредат ефектот на EDTA, дестилирана вода и натриум тиосулфат (STS) како меѓуиспирање за спречување на формирањето на кафеави талози. Во овој контекст, 5% STS значително го намали интензитетот на кафеавите талози во споредба со отсуство на меѓуиспирање. Alberto и сор. [28] го потврдија овој ефект ex vivo кога CHX беше додаден 10 минути по апликацијата на STS. Подоцнежни студии го евалуираа режимот на ендодонтска иригација. Формирање на талози беше забележано и при мешавината на EDTA и NaOCl, но не и при комбинацијата на лимонска киселина и CHX [110].

Дополнително, Mortenson и сор. [39] утврдија најмало количество на талог по меѓуиспирање со 50 % лимонска киселина, во споредба со EDTA и физиолошки раствор. Меѓуиспирање со чист алкохол, дестилирана вода или физиолошки раствор, исто така, можеше да го спречи или намали формирањето на талози [111]. Сепак, присуството на талог во коренскиот канален систем претставува слој кој ги затвора дентинските тубули [34,66], тешко се отстранува [65,111] и ја компромитира херметичноста на коренското полнење со употреба на AH 26 цементот за оптурација (Dentsply Sirona, Konstanz, Германија) и гутаперка, пропорционално со количината на талог [112].

Прашањето дали талогот влијае врз атхезијата на цементот за оптурација е контроверзно. Додека Gupta и сор. [113] заклучија дека талогот значително ја намалува способноста за врзување на епокси-базиран цемент [84], подоцнежни истражувања покажаа дека атхезијата на системот за оптурација Resilon®-Epiphany SE (Pentron Clinical Technologies, Wallingford, CT, САД) не бил засегната од присуството на талог. Дополнително, Magro и сор. [114] не пронашле корелација помеѓу длабочината на пенетрација на епокси-цементот во дентин и вредностите на јачината на врзување помеѓу групите третирани со или без CHX. Сепак, испитуваните CHX варијанти довеле до поголемо формирање на талог во сите области на коренскиот канал кои претходно биле испирани со NaOCl, иако тоа не ја намали јачината на врзување на заптивачот во

push-out тестот. Ова беше припишано на протоколот за сушење на каналите и ковалентните врски помеѓу запативачот и дентинската површина [114].

Дури и со активација на иригациските раствори, отстранувањето на талогот е можно само во ограничен степен. Сепак, беше утврдено дека активацијата на хелатните агенси EDTA и лимонската киселина, особено со употреба на звучни (Eddy®, VDW, Минхен, Германија) или ултразвучни уреди, е супериорна во споредба со испирање со шприц [67,115-116].

Цели на истражувањето

Примарната цел на ендодонтскиот третман е дезинфекција на коренските канали и спречување на реинфекција. Во случај на примарни инфекции на каналот на коренот на забот, најголемиот дел од инфекцијата се наоѓа во макроканалниот систем. Сепак, значителен дел од инфекцијата се наоѓа подлабоко, во латералните канали, апикалната делта и дентинските тубули. Токму оваа анатомска варијабилност и физиолошка специфичност на ендодонтското ткиво се комплицирачки фактори за ослободување од ендодонтската инфекција. Инструментацијата за време на ендодонтскиот третман создава размачкан слој кој ги покрива каналот и ги блокира отворите на дентинските тубули. Тој претставува идеална подлога за раст и репродукција на микроорганизми и мора да се отстрани пред дефинитивната оптурација на коренскиот канал.

Овие фактори ја нагласуваат важноста на иригацијата за отстранување на размачканиот слој, дебрисот, бактериите и супстратите кои се неопходни за растот на бактериите.

Оттука произлегува и целта на нашето истражување, односно да се разгледува и да се спореди ефектот на иригацијата со динамична мануелна активација, пасивна ултразвучна активација и конвенционална иригација врз отстранувањето на размачканиот слој или поточно:

- Да се утврди дали финалната иригација на каналите влијае врз отстранувањето на размачканиот слој и дебрисот за разлика од каналите каде што не е извршена финалната иригација;
- Да се анализира ефектот на активација на иригансот;
- Да се испита ефикасноста на рачната активација на иригансот;
- Да се добијат податоци дали ултразвучната активација ќе биде наш приоритет како метод за по успешен ендодонтски третман.

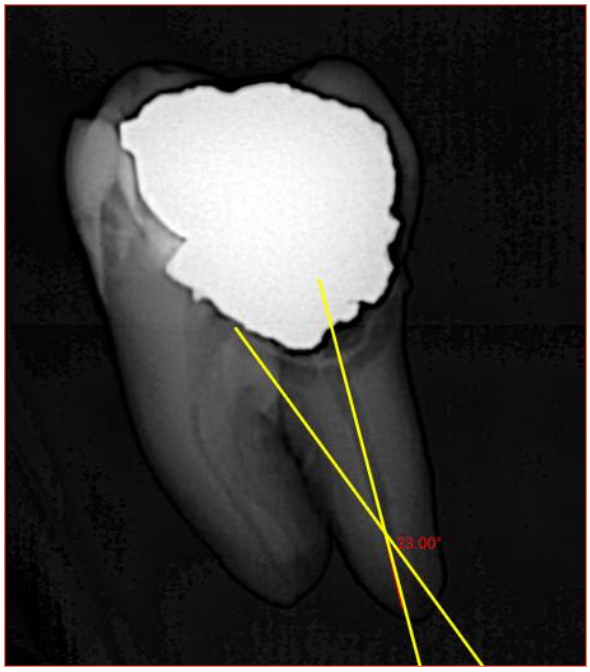
Електронската микроскопија со скенирање овозможува испитување на морфолошките детали на површините на подготвениот коренски канал. Го користевме SEM за да ја процениме ефективноста на капацитетот на иригацијата да го отстранат размачканиот слој.

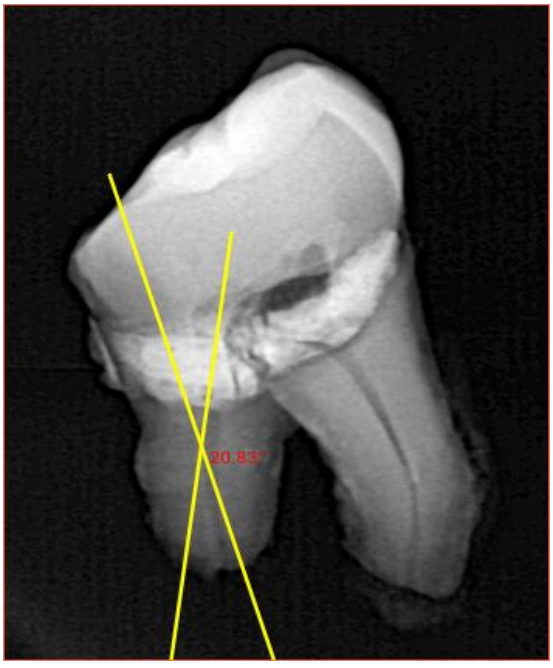
Материјали и методи

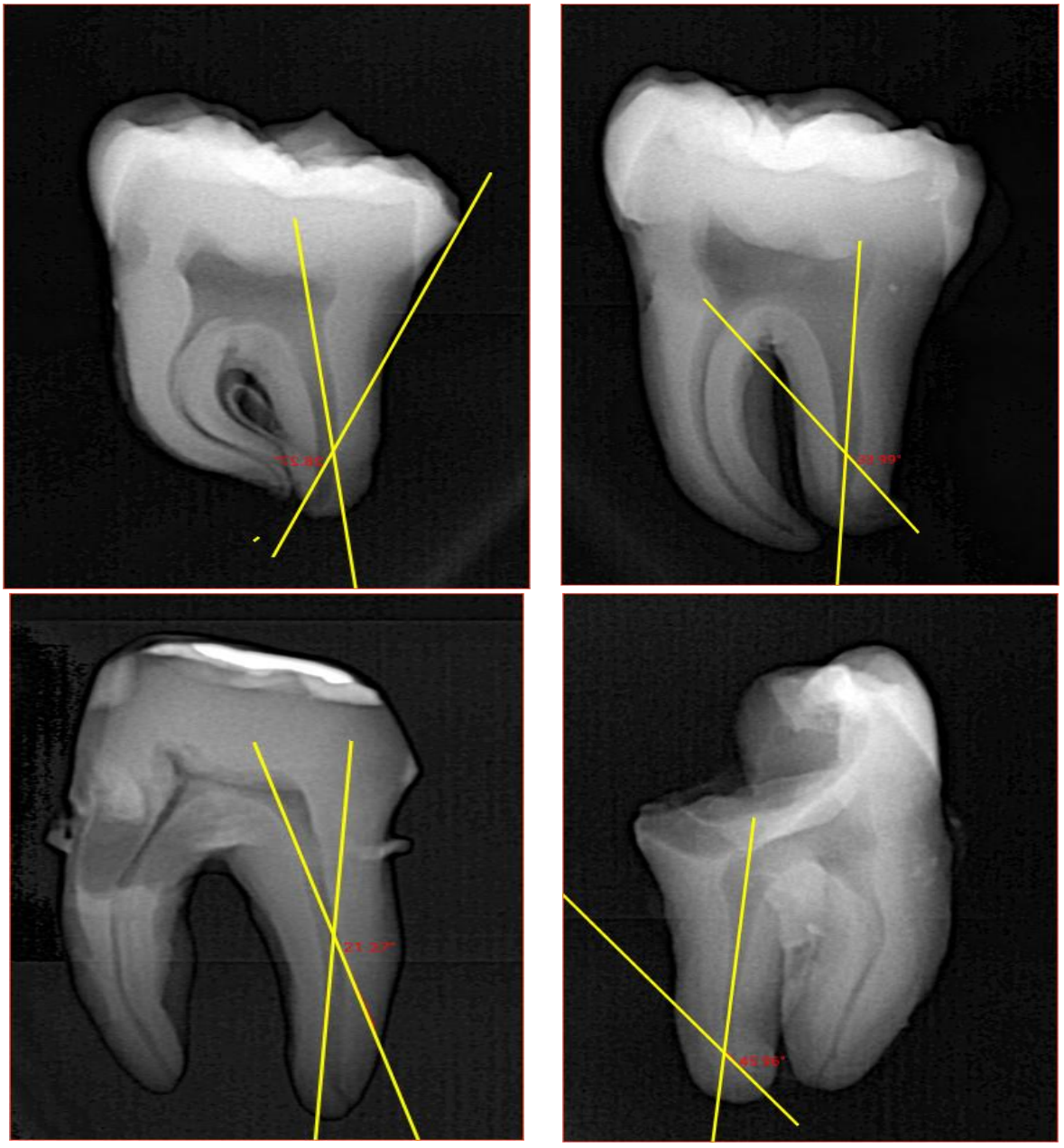
Селекција на забите

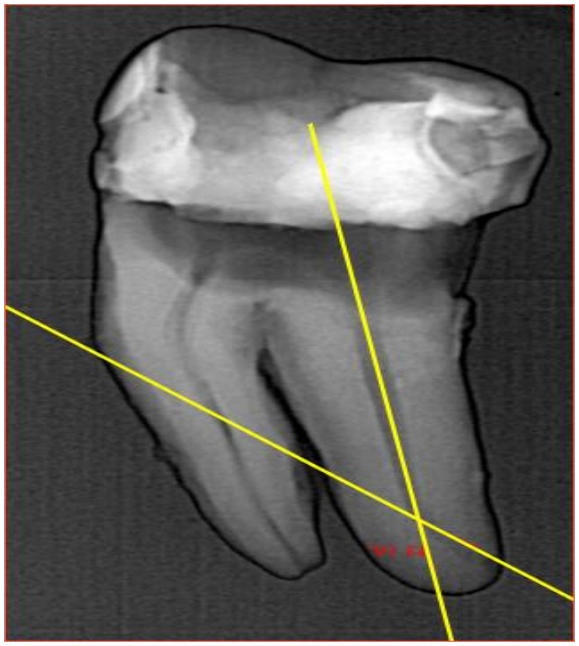
За потребите на испитувањето беа употребени триесет и два мандибуларни молари. Забите со анатомски варијации, калцифицирани канали, фрактурирани корени и пукнатини во површината се исклучени од испитувањето. За дебридман на надворешните површини беше користен рачен скалпер.

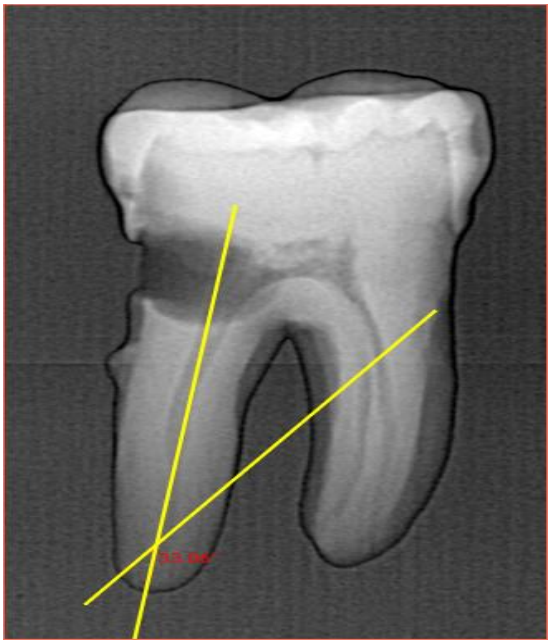
Во испитувањето беа вклучени само дисталните канали на мандибуларните молари со закривеност на коренот од 20 до 45°. Аголот е одредена во местото на вкрстување на двете линии извлечени едниот од апикалниот отвор на коренот и другиот од влезот на каналот со претходно рендген снимање на забите така наречено Шнајдеровиот агол (слика бр. 1) По отворање на пристапниот кавитет и детекција на влезовите на коренските канали со ендодонтска сонда, ја провервиме проодноста на коренските канали потоа, работната должина беше одредена со кер-игла бр. 15, 1 mm од апекс (слика бр. 2) под x2,5 зголемување (слика бр. 3). За да се добие унифицирање на примероците, забите беа декоронирани 2,5 mm над емајлово-цементната граница (слика бр. 4). До обработка на каналите, забите се чувани во дестилирана вода.

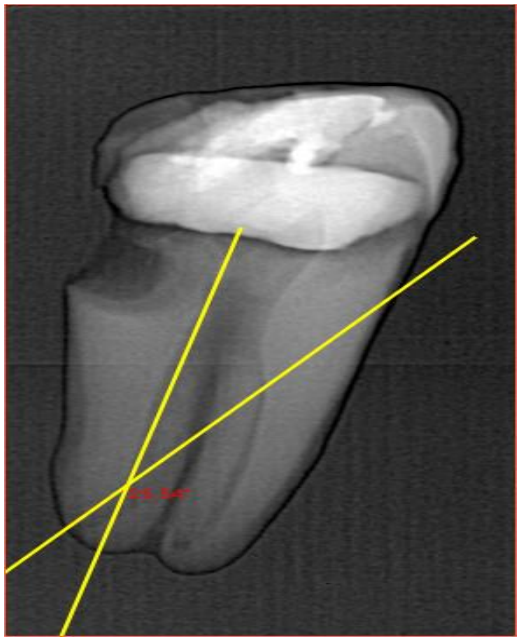


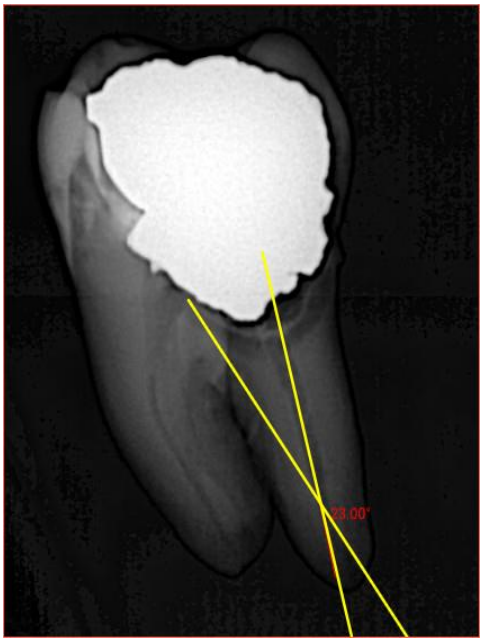


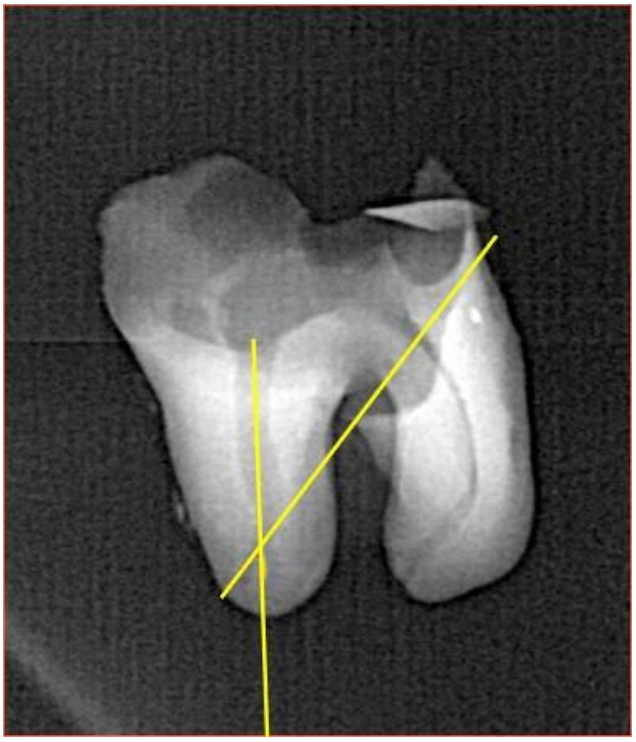









23.00°



Слика бр. 1 Репрезентативни слики од пресметка на аголот на корените





Слика бр. 2 Одредување на работна должина



Слика бр. 3 R&P Optix x2.5 лупи



Слика бр. 4 Декоронирање на забите над емајлово-цементната граница

Обработка на коренските канали

Обработката на коренските канали беше направена во приватната здравствена установа „Vitadent“ во Гостивар.

Извршена беше обработка на дисталниот коренскиот канал, а мезијалните канали беа изолирани со глас-јономер цемент.

Екстирпацијата на пулпата беше направена со пулп-екстирпатор и каналите беа рачно проширени со кер-игла до бр. 20, а обработката со машински универзален XP-каналниот инструмент, кој што го проширува коренскиот канал до димензија 30# (слика бр.5) Паралелно со обработката се иригираше со 5,2 % натриум-хипохлорит и со физиолошки раствор.

По завршената инструментација и иригација, забите по случаен избор се поделени во четири групи (n=8/group) од по 8 примерока.

Првата група е контролна и беше вршена иригација само додека траеше обработката на коренскиот канал со физиолошки раствор.

Во трите експериментални групи е направена финалната иригација со следниот протокол:

По обработката на коренските канали, при што истовремено се правеше иригација со натриум-хипохлорид, се пристапи кон финалната иригација: прво употребивме иригација со натриум-хипохлорит (1 ml по циклус), во три циклуси од по 30 секунди, коренскиот канал го испиравме со дестилирана вода, па повторно во три циклуси од по 30 сек беше направена иригација со раствор на ЕДТА од 15 % (1 ml по циклус), по што каналите ги исправме со физиолошки раствор и ги оставивме во дестилирана вода до испитувањата. (слика бр. 6)

Трите групи се разликуваа според активацијата на иригансите.

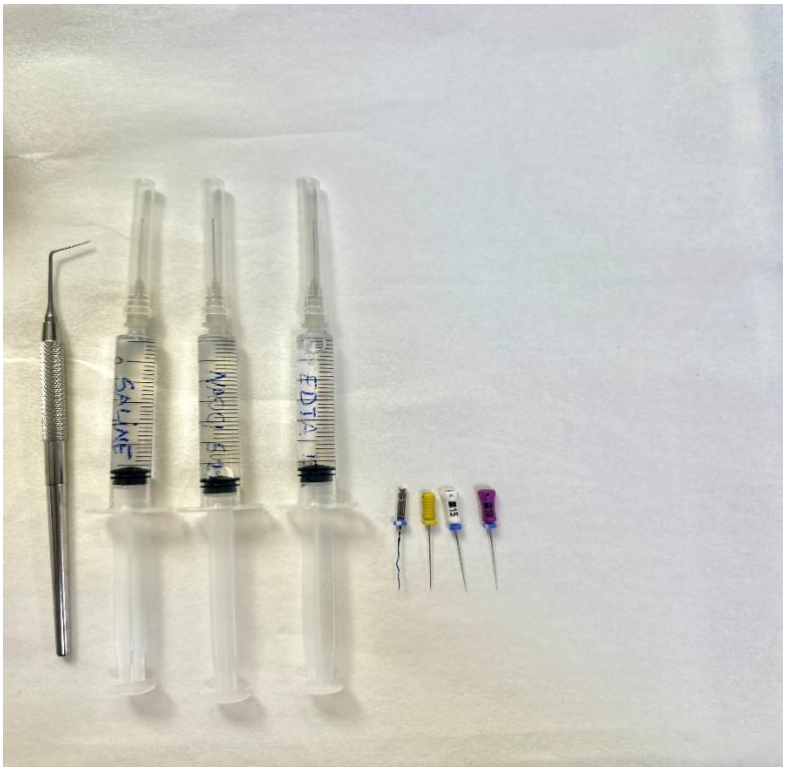
Во група 2, финалната иригација беше без активација. Иригацијата беше изведена со шприц за еднократна употреба и игла со странично вентилација со 30G (ProRinse) (слика бр.7)

Група 3. Иригацијата беше направена со динамична мануелна активација, кој е лесно достапна и евтина метода за чистење на ѕидовите на целиот коренски канал. Активацијата е направена со повеќекратно вметнување на добро приспособена гутаперка конус до работна должина на претходно обликуван канал. Конусот гутаперка се нанесува со кратки, нежни брзи потези за хидродинамичко поместување и активирање на иригансот.

Група 4. Активација на иригансот со пасивна ултразвучна иригација со апаратот VRN® Dental Ultrasonic. (слика бр.8)



Слика бр. 5 Xp сет со рачни и машински универзални инструменти



Слика бр. 6 Ирганси (5,2% NaOCl, 15% EDTA, физиолошки раствор)



Слика бр. 7 Игла со странична вентилација



Слика бр. 8 Ултразвучен апарат VRN

Препарација на забите за СЕМ-анализа

Забите ги пресековме лонгитудинално со креирање на вертикален жлеб на букалната и лингвалната страна на коренот со карбидни дискови со мала брзина и континуирано испирање со вода (слика бр.9) За цело време ротирачкиот инструмент постојано е поставен во каналот за да се спречи случајна контаминација на остатоците од дентинот. Потоа, секој заб е поделен вертикално со примена на длето и чеканче поставено во надолжниот жлеб. Една половина од секој примерок е подготвено за СЕМ (слика бр. 10)



Слика бр.9 Вертикалните жлебови



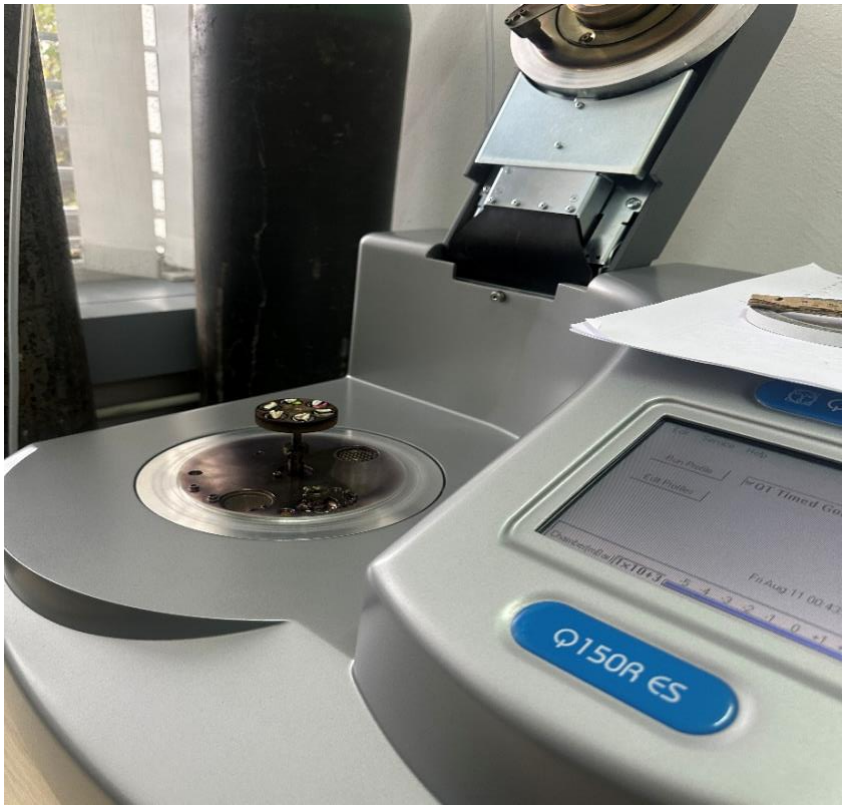
Слика бр. 10 Испитаните половини

СЕМ-испитување

СЕМ-анализата беше направена на Технолошко-техничкиот факултет на Универзитетот „Гоце Делчев“ – Штип. Секој примерок беше кодиран и монтиран на алуминиумски држач, со распрскување, обложен со злато, а потоа испитан со SEM на 20 kV (слика бр.11,12,13,14). Ние ги сликавме примероците со зголемување од 200 X до 1000X за да го процениме присуството на дебрисот и размачканиот слој.



Слика бр. 11 Уред за златно обложување на примероците



Слика бр. 12 Постапка на златно обложување на примероците пред СЕМ-анализа



Слика бр. 13 Корени обложени со злато





Слика бр. 14 Скенирачки електронски микроскоп (СЕМ) користен за анализа на примероците

При анализирање на примероците, анализа е направено за целиот канал, но и поединечно за секоја третина од каналот: коронарната, средната и апикалната третина.

Според критериумите дадени од Hülsmann и сор. [43] оценувањето е категоризирано во 5 групи:

1) Сосема чист коренски канал. Без размачкан слој и отворени дентински тубули.
2) Мало количество на размачкан слој и дебрис. Дентинските тубули се отворени.
3) Тенок размачкан слој и дентински тубули делумно отворени (карактеристичен изглед на полумесечина).
4) Делумно покриеност со дебел размачкан слој и затворени тубули.
5) Целосна покриеност со дебел размачкан слој и дебрис. Тубулите не се забележуваат.

Статистичка анализа

- Податоците од истражувањето беа внесени во посебно за оваа цел конструирана база во Excel, а потоа истите беа обработени во SPSS software package, version 26.0 for Windows.

- Добиените резултати после статистичката обработка беа прикажани табеларно и графички.

- Атрибутивните параметри беа анализирани преку одредување на односи и пропорции и истите беа прикажани како апсолутни и релативни броеви.

- Pearson Chi square test, Fisher exact test и Fisher Freeman Hathon exact test беа користени за утврдување на асоцијацијата меѓу одредени атрибутивни белези.

- За споредба на пропорциите беше користен Difference test.

- За утврдување на правилноста на дистрибуцијата на фреквенцијата на испитуваните нумерички параметри беше користен Shapiro-Wilk W тест.

- За анализата на нумеричките параметри беа користени мерките на централна тенденција (просек, медијана, минимални и максимални вредности), како и со мерките на дисперзија (стандардна девијација и интерактивни рангови).

- За споредбата на два независни нумерички параметри со неправилна дистрибуција беше користен Mann Whitney U test, а за споредба на повеќе вакви параметри беше користен Kruskal Wallis test.

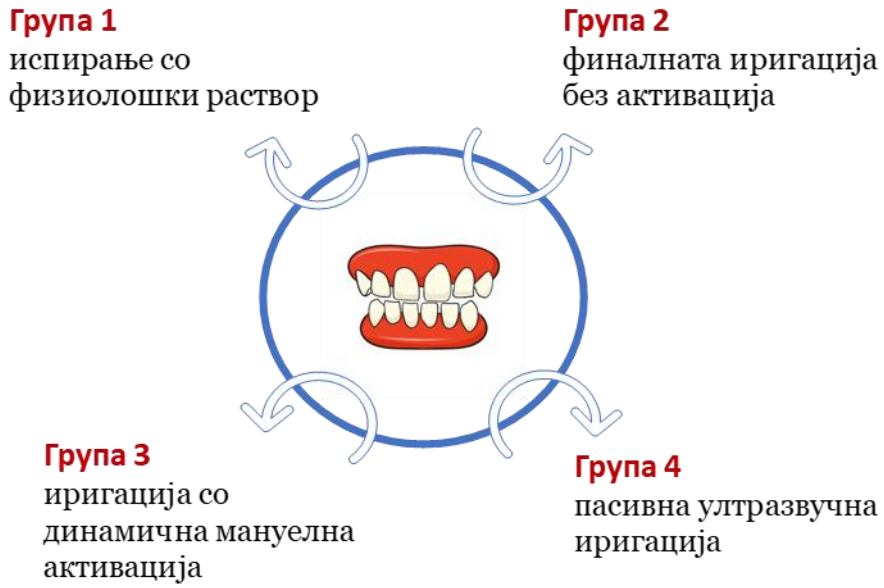
- За статистичка значајност на добиените резултати користена беше двострана анализа со ниво на сигнификантност од $p<0,05$.

Резултати

Истражувањето претставуваше проспективно моноцентрично клиничко истражување кое беше спроведено во периодот 2024 /2026 година на Катедрата за болести на забите и ендодонтот. За исполнување на целите на истражувањето обработката на коренските канали беше направена во приватната здравствена установа „Vitadent“ во Гостивар, а СЕМ-анализата беше изведена на Технолошко-техничкиот факултет на Универзитетот „Гоце Делчев“ – Штип.

Согласно однапред поставените инклузиони и ексклузиони критериуми, примерокот на истражувањето го сочинуваа вкупно 96 заби селектирани со метода на прост случаен избор (random sampling). Забите во примерокот беа поделени во четири еднакви групи и тоа една контролна и три испитувани групи секоја со по 24 заби. Во контролна група (Група 1) направено беше само испирање со физиолошки раствор, а во трите експериментални групи направена беше финалната иригација со протокол за: а) Група 2 - иригација без активација; б) Група 3 - иригација со динамична мануелна активација; и в) Група 4 - пасивна ултразвучна иригација.

Анализата беше направена според скорот на Hülsmann и сор. на 5 степена Licker scale (1→ сосема чист корен до 5→целосна покриеност) за целиот примерок, за секоја од четирите групи поединечно како и според 12 подгрупи на секоја третина од каналот (коронарна - С, средна - М и апикална третина А).



Генерални карактеристики

Анализата на генералните карактеристики за забите во примерокот се однесуваше на формираните групи и подгрупи како и анализата на добиените вредности за скорот на Hülsmann и сор.

Групи/Подгрупи

Примерокот на истражувањето го сочинуваа вкупно 96 (100%) заби распределени во 4 групи (една контролна и 3 испитувани групи) од кои секоја со подеднаков број од по 24 (25%) заби. Четирите групи се разликуваа меѓусебно во однос на активацијата на иригансите, односно (Табела 1):

- Група 1 со ИФР (контролна) - испирање со физиолошки раствор;
- Група 2 со ИБА (испитувана) – иригација без активација;
- Група 3 со ИДМА (испитувана) - иригација со динамична мануелна активација;
- Група 4 со ПУИ (испитувана) - пасивна ултразвучна иригација.

Табела 1. Дистрибуција на примерокот според групи

Параметри	**N (%)**
Групи	
Група - Контролна со ИФР	24 (25%)
Група - Испитувана со ИБА	24 (25%)
Група - Испитувана со ИДМА	24 (25%)
Група - Испитувана со ПУИ	24 (25%)
Вкупно	96 (100%)
Група со ИФР - испирање со физиолошки раствор; Група со ИБА - иригација без активација; Група со ИДМА - иригација со динамична мануелна активација; Група со ПУИ – пасивна ултразвучна иригација.	

Дополнително секој заб во секоја од четирите групи беше анализиран во три дела и тоа коронарна (С), средна (М) и апикална третина (А) при што беа формирани 12 подгрупи односно по три за секоја од четирите групи (Табела 2).

Табела 2. Дистрибуција на примерокот според подгрупи

Параметри	**N (%)**
Подгрупи со ИФР	
Подгрупа со ИФР - С	**8 (33,33 %)**
Подгрупа со ИФР - М	**8 (33,33 %)**
Подгрупа со ИФР - А	**8 (33,33 %)**
Вкупно	**24 (100 %)**
Подгрупи со ИБА	
Подгрупа со ИБА - С	**8 (33,33 %)**
Подгрупа со ИБА - М	**8 (33,33 %)**
Подгрупа со ИБА - А	**8 (33,33 %)**
Вкупно	**24 (100 %)**
Подгрупи со ИДМА	
Подгрупа со ИДМА - С	**8 (33,33 %)**
Подгрупа со ИДМА - М	**8 (33,33 %)**
Подгрупа со ИДМА - А	**8 (33,33 %)**
Вкупно	**24 (100 %)**
Подгрупи со ПУИ	
Подгрупа со ПУИ - С	**8 (33,33 %)**
Подгрупа со ПУИ - М	**8 (33,33 %)**
Подгрупа со ПУИ - А	**8 (33,33 %)**
Вкупно	**24 (100 %)**
Група со ИФР - испирање со физиолошки раствор; **Група со ИБА - иригација без активација;** **Група со ИДМА - иригација со динамична мануелна активација;** **Група со ПУИ – пасивна ултразвучна иригација;** **С=коронарна третина; М=средна третина; А=апикална третина;**	

Согласно анализата според коронарна (С), средна (М) и апикална третина (А) на забите, во секој од четирите групи (ИФР, ИБА, ИДМА, и ПУИ) имаше по 3 подгрупи со по 8 (33,33%) заби и тоа: а) ИФР – С, М, А; б) ИБА – С, М, А; в) ИДМА – С, М, А; и г) ПУИ – С, М, А (Табела 2).

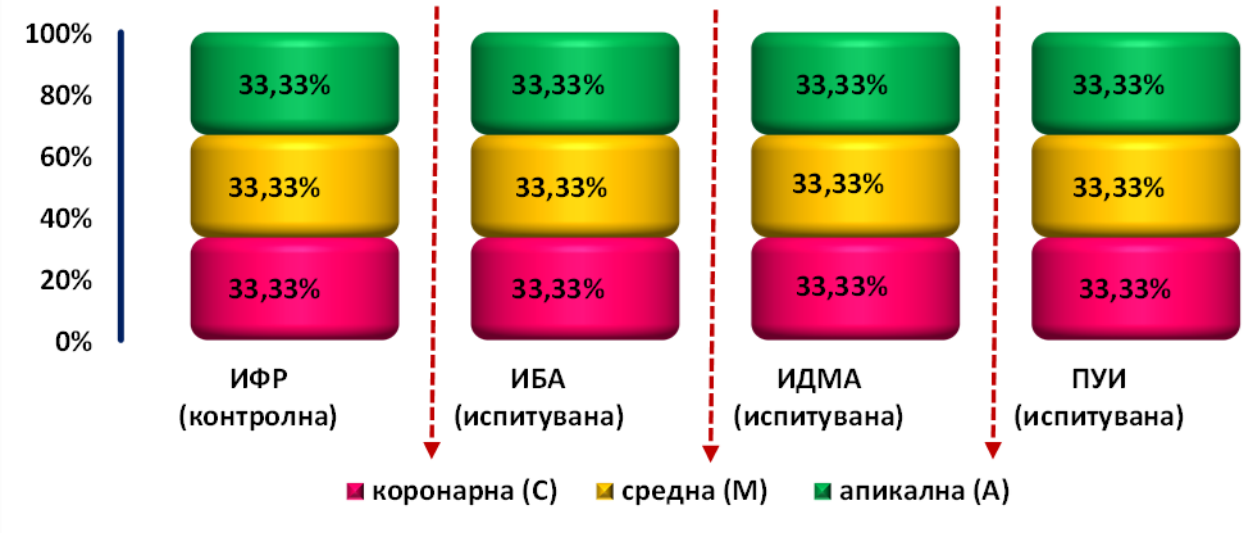


График 1. Дистрибуција на примерокот според групи и подгрупи

Hülsmann скор

Системот за бодување на Хилсман (Hülsmann и сор.) беше користен со цел за ендодонтско проценка на присуството на слој за размачкување и/или на остатоци на инструментирните sидови на коренскиот канал. Hülsmann скорот на 5-степена Licker scale укажуваше од 1→сосема чист корен до 5→целосна покриеност на коренот.

Висината на Hülsmann скорот беше утврдена за секој од забите од четирите групи. Анализата за вредностите на Hülsmann скорот за целиот примерок на заби укажа на неправилна дистрибуција на фреквенциите за Shapiro-Wilk W=0,882; p=0,00001 (График 2). Базирано на утврдената дистрибиција на фреквенциите во понатамошната постапка анализата беше направена со користење на соодветни тестови.

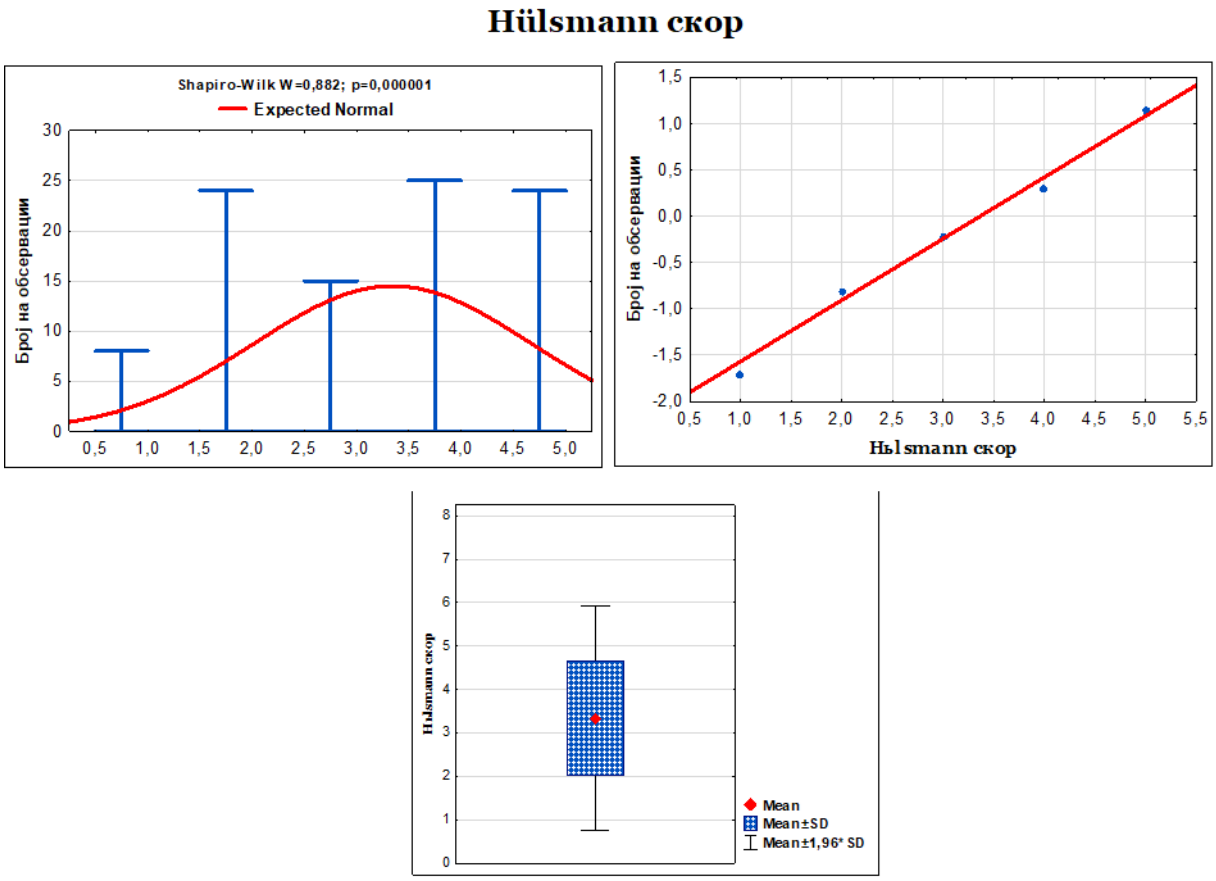


График 2. Дистрибуција на фреквенции на Hülsmann скорот на забите од примерокот

Меѓугрупна споредба на Hülsmann скор

Во рамките на истражувањето направена беше меѓугрупна споредба на добиените вредности Hülsmann скорот од 5 степена Licker scale од 1→сосема чист корен до 5→целосна покриеност на коренот (повисокиот Hülsmann скор укажува на полоша состојба на забот) и тоа (Табела 3 и График 3-4):

- **Сосема чист коренски канал** - без размачкан слој и отворени дентински тубули;
- **Мало количество на размачкан слој и дебрис** - дентинските тубули се отворени;
- **Тенок размачкан слој и дентински тубули делумно отворени** (карактеристичен изглед на полумесечина);
- **Делумно покриеност со дебел размачкан слој и затворени тубули**;
- **Целосна покриеност со дебел размачкан слој и дебрис** - тубулите не се забележуваат.

Табела 3. Меѓугрупна споредба на Hülsmann скор

Параметри	Hülsmann скор						
	N	Mean±SD	Min/ Max	Percentiles			p
				25th	50th (Median)	75th	
Групи							
Група со ИФР	24	4,67±0,64	3/ 5	4,5	5,0	5,0	$X^2_{(3)}$=54,566; p=0,00001*
Група со ИБА	24	3,83±0,92	2/ 5	3,5	4,0	4,0	
Група со ИДМА	24	2,79±1,10	1/ 5	2,0	2,5	4,0	
Група со ПУИ	24	2,08±0,83	1/ 4	1,5	2,0	3,0	
Вкупно	24	3,34±1,32	1/ 5	2,0	4,0	4,5	

Mean = Просек; SD = Стандардна девијација; Median = Медијана; Min/ Max=Мин/Мак;
Група со ИФР - испирање со физиолошки раствор;
Група со ИБА - иригација без активација;
Група со ИДМА - иригација со динамична мануелна активација;
Група со ПУИ – пасивна ултразвучна иригација;
Kruskal Wallis H test; сигнификантно за p<0,05

Со меѓугрупната споредба опфатени беа 4-те групи (Група со ИФР - испирање со физиолошки раствор; Група со ИБА - иригација без активација; Група со ИДМА - иригација со динамична мануелна активација; и Група со ПУИ – пасивна ултразвучна иригација) (Табела 3 и График 3).

Hülsmann скор / Група со ИФР – Во контролната Група на заби со ИФР - испирање со физиолошки раствор просечната вредност на Hülsmann скорот беше највисока и изнесуваше 4,67±0,64 со мин./мак вредност од 3/5. Анализата укажа дека кај 50 % од забите во оваа група висината на Hülsmann скорот беше ≤5 додека кај 25 % од нив вредноста на овој скор беше 5 за Median (IQR) = 5 (4,5-5) (Табела 3 и График 3).

Hülsmann скор / Група со ИБА – Во испитуваната Група на заби со ИБА - иригација без активација просечната вредност на Hülsmann скорот изнесуваше 3,83±0,92 со мин./мак. вредност од 2/5. Анализата укажа дека кај 50 % од забите во оваа група висината на Hülsmann скорот беше ≤4 додека кај 25 % од нив вредноста на овој скор беше >4 за Median (IQR) = 4 (3,5-4). Просечната вредност на Hülsmann скорот во оваа група беше втора по големина после онаа на контролната Група на заби со ИФР - испирање со физиолошки раствор (Табела 3 и График 3).

Hülsmann скор / Група со ИДМА – Во испитуваната Група на заби со ИБА - иригација со динамична мануелна активација просечната вредност на Hülsmann скорот изнесуваше 2,79±1,10 со мин/мак вредност од 1/5. Анализата укажа дека кај 50% од забите во оваа група висината на Hülsmann скорот беше ≤2,5 додека кај 25% од нив вредноста на овој скор беше >4 за Median (IQR) = 2,5 (2-4). Просечната вредност на Hülsmann скорот во оваа група беше трета по големина после онаа на контролната Група на заби со ИФР - испирање со физиолошки раствор (Табела 3 и График 3).

Hülsmann скор / Група со ПУИ – Во испитуваната Група на заби со ПУИ – пасивна ултразвучна иригација просечната вредност на Hülsmann скорот изнесуваше 2,08±0,83 со мин./мак. вредност од 1/4. Анализата укажа дека кај 50% од забите во оваа група висината на Hülsmann скорот беше ≤2 додека кај 25% од нив вредноста на овој скор беше >3 за Median (IQR) = 2 (1,5-3,0). Просечната вредност на Hülsmann скорот во оваа група беше четврта по големина после онаа на контролната Група на заби со ИФР - испирање со физиолошки раствор (Табела 3 и График 3).

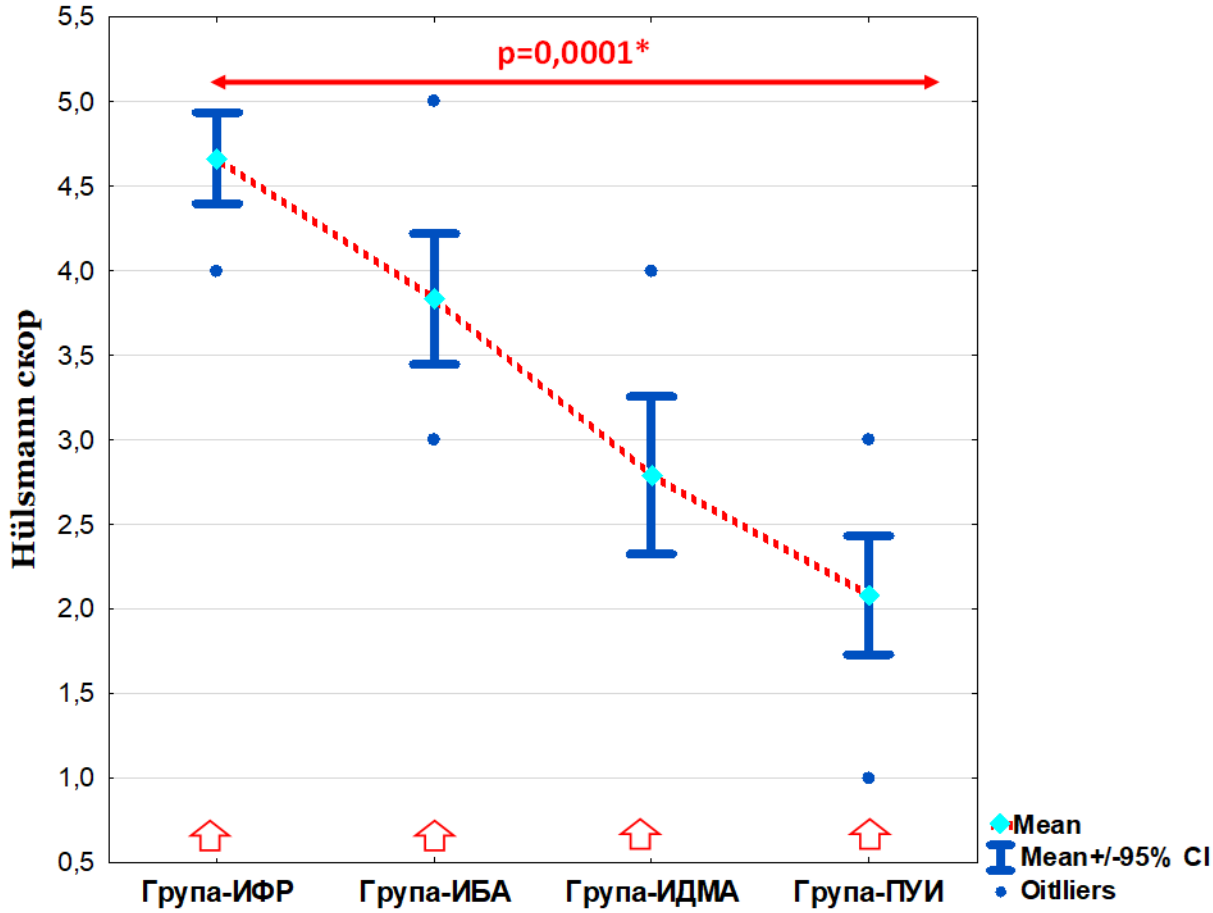


График 3. Меѓугрупна споредба на Hülsmann скор

Највисока просечна вредност на Hülsmann скорот имаше во контролната Група со ИФР - испирање со физиолошки раствор со вредност од 4,67±0,64 додека најниска просечна вредност овој скор имаше во испитуваната Група со ПУИ – пасивна ултразвучна иригација каде имаше вредност од 2,08±0,83 (Табела 3 и График 3).

Утврдена беше сигнификантна разлика помеѓу четирите групи на заби во однос на висината на Hülsmann скорот за Kruskal Wallis H test: $X^2_{(3)}=54,566$; p=0,00001 (Табела 3 и График 3).

Hülsmann скор / Вкупно за цел примерок – Во целиот примерок на заби просечната вредност на Hülsmann скорот изнесуваше 3,34±1,32 со мин./мак. вредност од 1/5. Анализата укажа дека кај 50% од забите во примерокот висината на Hülsmann скорот беше ≤4 додека кај 25% од нив вредноста на овој скор беше >4,5 за Median (IQR) = 4 (2,0-4,5) (Табела 3 и График 4).

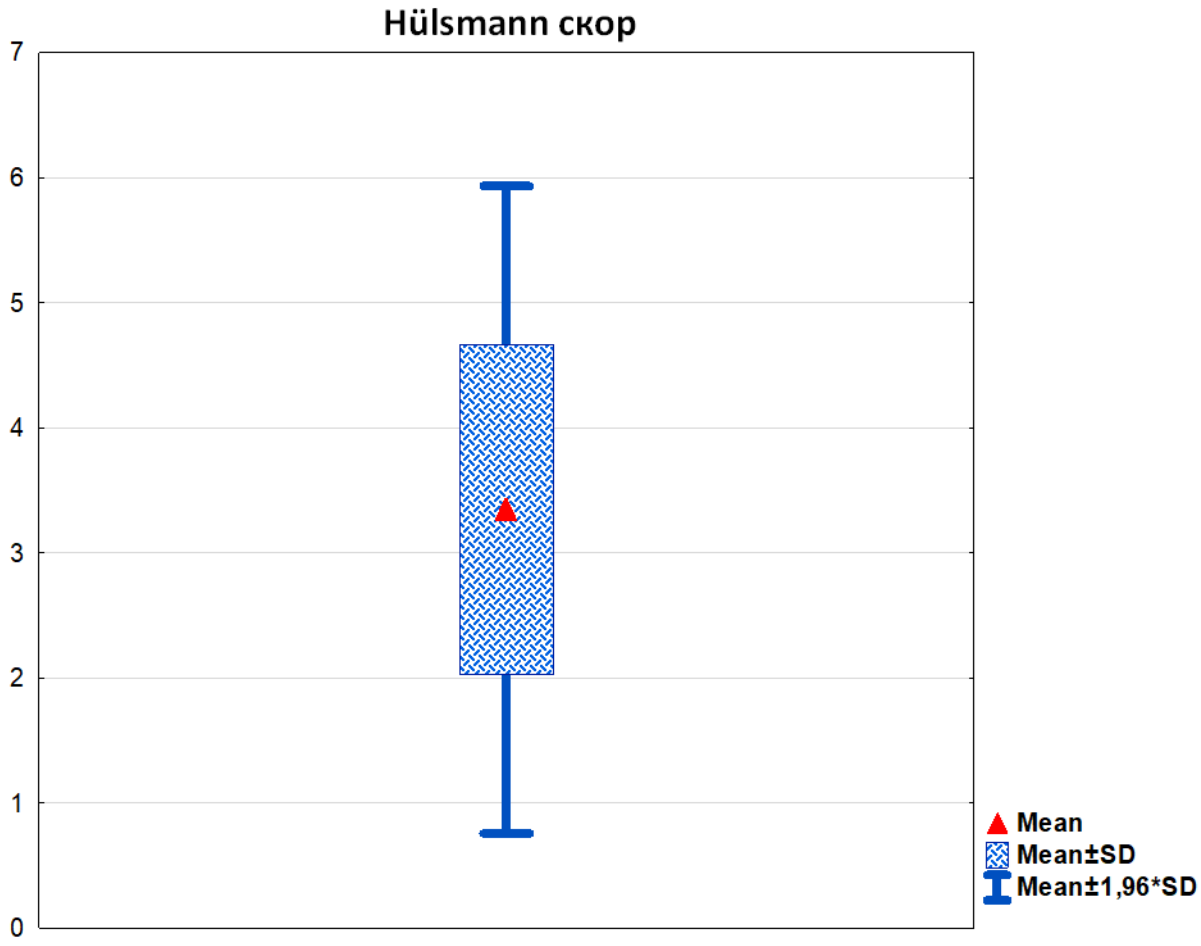


График 4. Карактеристики на вкупен Hülsmann скор за цел примерок

Комбинирана меѓугрупна споредба на Hülsmann скор

За да се утврди на што се должи сигнификантноста во разликите на добиените вредности за Hülsmann скорот меѓу четирите групи на заби (Група со ИФР - испирање со физиолошки раствор; Група со ИБА - иригација без активација; Група со ИДМА - иригација со динамична мануелна активација; и Група со ПУИ – пасивна ултразвучна иригација) аплициран беше Mann Whitney U test за 6 можни меѓугрупни комбинации (Табела 3-4 и График 5-10).

Табела 4. Споредба на Hülsmann скор во шест комбинации на групи

Групи	**Hülsmann скор**		
	Група со ИФР/ Група со ИБА	**Група со ИФР/ Група со ИДМА**	**Група со ИФР/ Група со ПУИ**
Z	-3,545)[b]	-5,194)[b]	-5,951)[b]
Asymp. Sig. (2-tailed)	0,0001*	0,0001*	0,0001*
Δ Mean±SD	0,84±0,28	1,88±0,46	2,59±0,19
	Група со ИБА/ Група со ИДМА	**Група со ИБА/ Група со ПУИ**	**Група со ИДМА / Група со ПУИ**
Z	--3,168)[c]	-4,931)[c]	-2,208)[c]
Asymp. Sig. (2-tailed)	0,002*	0,0001*	0,027*
Δ Mean±SD	1,04±0,18	1,75±0,18	0,71±0,27

Група со ИФР - испирање со физиолошки раствор;
Група со ИБА - иригација без активација;
Група со ИДМА - иригација со динамична мануелна активација;
Група со ПУИ – пасивна ултразвучна иригација;

Mann Whiney U test=Z; сигнификантно за p<0,05

Група ИФР / Група со ИБА – Утврдена беше сигнификантна разлика помеѓу 2-те групи на заби (Група со ИФР - испирање со физиолошки раствор и Група со ИБА - иригација без активација) во однос на висината на Hülsmann скорот за Mann Whiney U test: Z=-3,545; p=0,0001. Забите од групата со ИФР имаа

сигнификантно повисок Hülsmann скор (поголеми наслаги) споредено со забите од групата со НБА за Δ Mean±SD = 0,84±0,28 (Табела 3-4 и График 5).

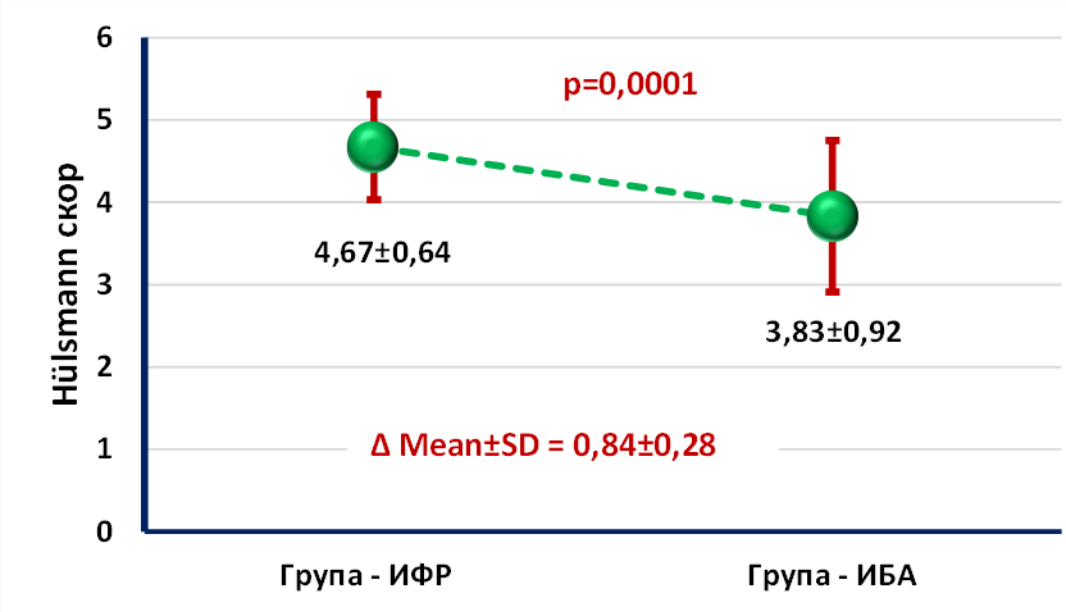


График 5. Споредба на Група со ИФР / Група со ИБА според Hülsmann скор

Група ИФР / Група со ИДМА – Утврдена беше сигнификантна разлика помеѓу 2-те групи на заби (Група со ИФР - испирање со физиолошки раствор и Група со ИДМА - иригација со динамична мануелна активација) во однос на висината на Hülsmann скорот за Mann Whiney U test: Z=-5,194; p=0,0001. Забите од групата со ИФР имаа сигнификантно повисок Hülsmann скор (поголеми наслаги) споредено со оние од групата со ИДМ за Δ Mean±SD=1,88±0,46 (Табела 3-4 и График 6).

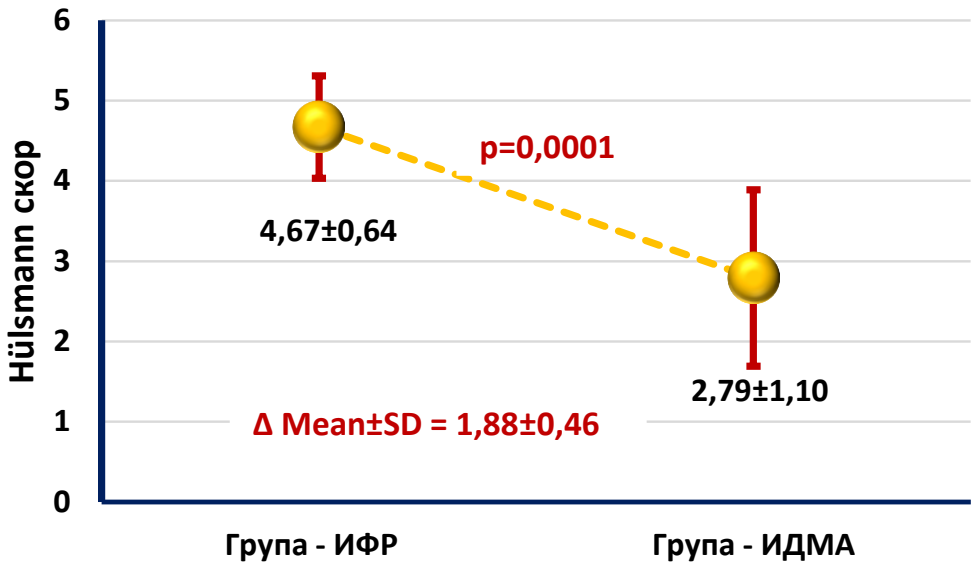


График 6. Група со ИФР / Група со ИДМА според Hülsmann скор

Група ИФР / Група со ПУИ – Утврдена беше сигнификантна разлика помеѓу двете групи на заби (Група со ИФР - испирање со физиолошки раствор и Група со ПУИ – пасивна ултразвучна иригација) во однос на висината на Hülsmann скорот за Mann Whiney U test: Z=-5,951; p=0,0001. Забите од групата со ИФР имаа сигнификантно повисок Hülsmann скор (поголеми наслаги) споредено со оние од групата со ПУИ за Δ Mean±SD=2,59±0,19. Разликата во Hülsmann скорот е најголема помеѓу овие две групи споредено разликите со сите останатите 5 меѓугрупни комбинации (Табела 3-4 и График 7).

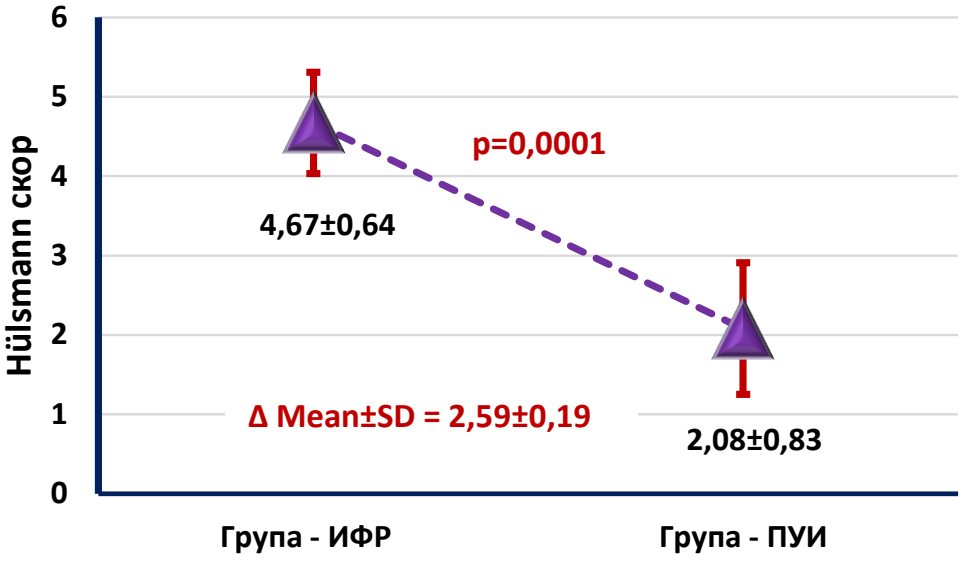


График 7. Споредба на Група со ИФР / Група со ПУИ според Hülsmann скор

Група ИБА / Група со ИДМА – Утврдена беше сигнификантна разлика помеѓу 2-те групи на заби (ИБА - иригација без активација и Група со ИДМА - иригација со динамична мануелна активација) во однос на висината на Hülsmann скорот за Mann Whiney U test: Z=-3,168; p=0,002. Забите од групата со ИБА имаа сигнификантно повисок Hülsmann скор (поголеми наслаги) споредено со забите од групата со ИДМА за Δ Mean±SD = 1,04±0,18 (Табела 3-4 и График 8).

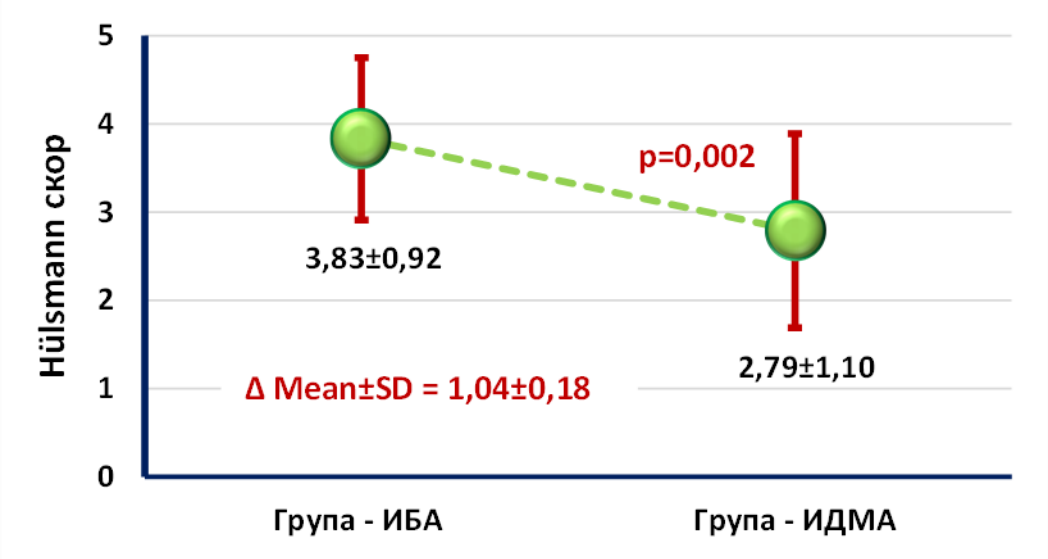


График 8. Споредба на Група со ИБА / Група со ИДМА според Hülsmann скор

Група ИБА / Група со ПУИ – Утврдена беше сигнификантна разлика помеѓу двете групи на заби (ИБА - иригација без активација и Група со ПУИ – пасивна ултразвучна иригација) во однос на висината на Hülsmann скорот за Mann Whiney U test: Z=-4,931; p=0,0001. Забите од групата со ИБА имаа сигнификантно повисок Hülsmann скор (поголеми наслаги) споредено со забите од групата со ПУИ за Δ Mean±SD = 1,75±0,18 (Табела 3-4 и График 9).

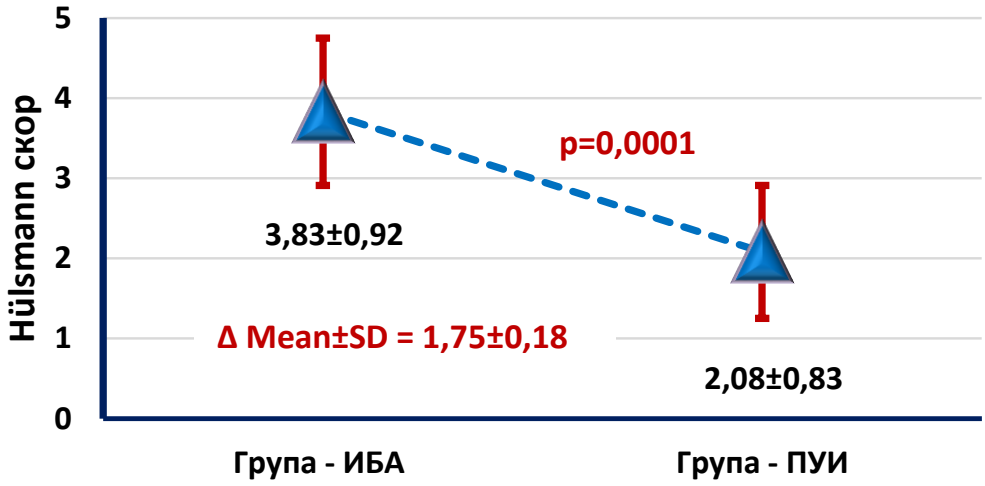


График 9. Споредба на Група со ИБА / Група со ПУИ според Hülsmann скор

Група ИДМА / Група со ПУИ – Утврдена беше сигнификантна разлика помеѓу двете групи на заби (Група со ИДМА - иригација со динамична мануелна активација и Група со ПУИ – пасивна ултразвучна иригација) во однос на висината на Hülsmann скорот за Mann Whiney U test: Z=-2,208; p=0,027. Забите од групата со ИДМА имаа сигнификантно повисок Hülsmann скор (поголеми наслаги) споредено со забите од групата со ПУИ за Δ Mean±SD = 0,71±0,27 (Табела 3-4 и График 10).

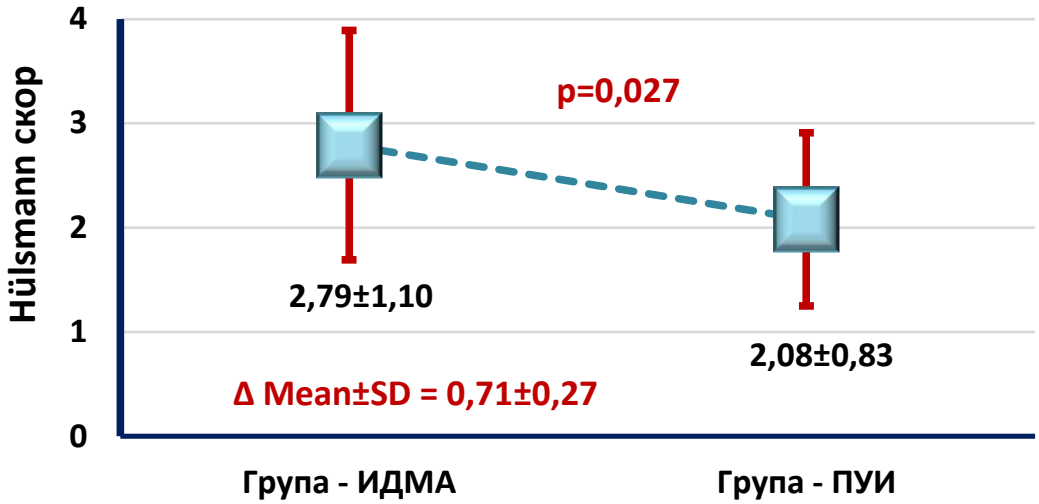


График 10. Група со ИДМА/ Група со ПУИ според Hülsmann скор

Интрагрупна споредба на Hülsmann скор

Во рамките на истражувањето во секоја од четирите групи беше направена интрагрупна споредба на добиените вредности за Hülsmann скорот за секој од трите дела на забот и тоа за коронарна (С), средна (М) и апикална третина (А). Формирани беа вкупно 12 подгрупи, односно по три за секоја од четирите групи и тоа: а) Група со ИФР - испирање со физиолошки раствор (С, М, А); б) Група со ИБА - иригација без активација (С, М, А); в) Група со ИДМА (А) - иригација со динамична мануелна активација (С, М, А); и Група со ПУИ (А) – пасивна ултразвучна иригација (С, М, А). Hülsmann скорот беше одредуван на 5-степена Licker scale од 1→сосема чист корен до 5→целосна покриеност на коренот (повисокиот Hülsmann скор укажува на полоша состојба на забот) (Табела 5 - 9 и График 11-14).

Интрагрупна споредба на Hülsmann скор - Група со ИФР

За контролната група со ИФР - испирање со физиолошки раствор беше направена интрагрупна споредба на добиените вредности за Hülsmann скорот за секој од трите дела на забот и тоа за коронарна (С), средна (М) и апикална третина (А) (Табела 5 и График 11).

Табела 5. Интрагрупна споредба на Hülsmann скор - Група со ИФР

Параметри	Hülsmann скор						
	N	Mean±SD	Min/ Max	Percentiles			p
				25th	50th (Median)	75th	
Група со ИФР							
Група со ИФР - С	8	4,63±0,74	3/ 5	4,5	5,0	5,0	$X^2_{(2)}$=0,026; p=0,987
Група со ИФР - М	8	4,63±0,74	3/ 5	4,5	5,0	5,0	
Група со ИФР - А	8	4,75±0,46	4/ 5	4,5	5,0	5,0	
Вкупно	24	4,67±0,64	3/ 5	4,5	5,0	5,0	

Mean = Просек; SD = Стандардна девијација; Median = Медијана; Min/ Max=Мин/Мак;
Група со ИФР - испирање со физиолошки раствор; коронарна (С), средна (М) и апикална третина (А)
Kruskal Wallis H test; сигнификантно за p<0,05

Во контролната Група на заби со ИФР - испирање со физиолошки раствор просечната вредност на Hülsmann скорот изнесуваше за (Табела 5 и График 11):

- коронарна (С) - 4,63±0,74 со мин./мак. скор од 3/ 5 и 50 % заби со вредност ≤5 за Median (IQR) =5 (4,5-5);
- средна (М) - 4,63±0,74 со мин./мак. скор од 3/ 5 со 50 % заби со вредност ≤5 за Median (IQR) = 5 (4,5-5);
- апикална третина (А) - 4,75±0,46 со мин./мак. скор од 4/ 5 со 50 % заби со вредност ≤5 за Median (IQR) = 5 (4,5-5).

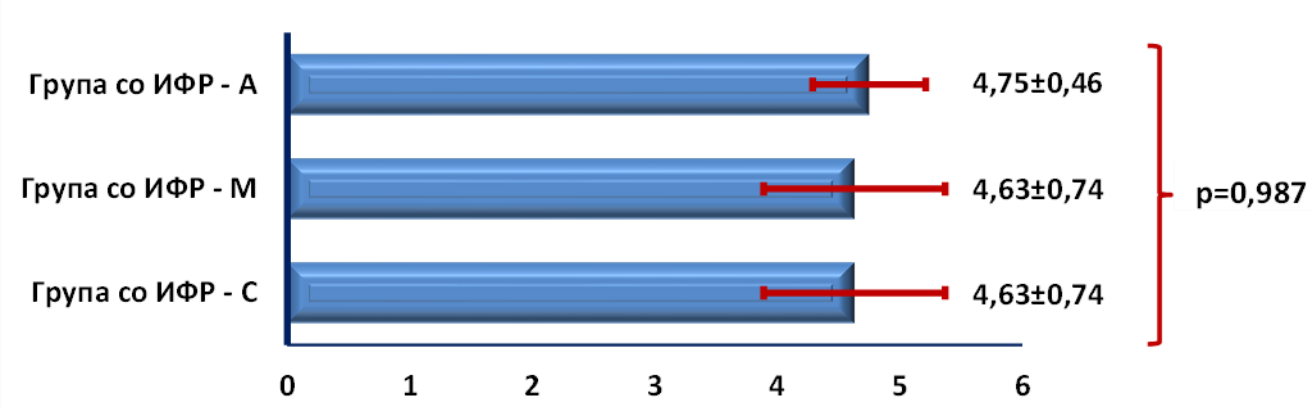


График 11. Интрагрупна споредба на Hülsmann скор - Група со ИФР

Во контролната група со ИФР - испирање со физиолошки раствор беше утврдена несигнификантна разлика помеѓу трите дела (С, М, А) на забите во примерокот во однос на вредноста на Hülsmann скорот за Kruskal Wallis H test: $X^2_{(2)}$=0,26; p=0,987. Вредноста на Hülsmann скорот беше несигнификантно највисока во апикалниот дел на забите од групата со контролната група со ИФР - испирање со физиолошки раствор (Табела 5 и График 11).

Интрагрупна споредба на Hülsmann скор - Група со ИБА

За испитуваната група со ИБА - иригација без активација беше направена интрагрупна споредба на добиените вредности за Hülsmann скорот за секој од трите дела на забот и тоа за коронарна (С), средна (М) и апикална третина (А) (Табела 6 – 7 и График 12).

Табела 6. Интрагрупна споредба на Hülsmann скор - Група со ИБА

Параметри	Hülsmann скор						
	N	Mean±SD	Min/ Max	Percentiles			p
				25th	50th (Median)	75th	
Група со ИБА							
Група со ИБА - С	8	3,50±0,75	2/ 4	3,0	4,0	4,0	$X^2_{(2)}$=10,867; p=0,004*
Група со ИБА - М	8	3,38±0,92	2/ 4	2,5	4,0	4,0	
Група со ИБА - А	8	4,63±0,52	2/ 5	4,0	5,0	5,0	
Вкупно	24	3,83±0,92	2/ 5	3,5	4,0	4,0	

Mean = Просек; SD = Стандардна девијација; Median = Медијана; Min/ Max=Мин/Мак;
Група со ИБА - иригација без активација;
Kruskal Wallis H test; сигнификантно за p<0,05

Во испитуваната група со ИБА - иригација без активација просечната вредност на Hülsmann скорот изнесуваше за (Табела 6 и График 12):

- коронарна (С) - 3,50±0,75 со мин./мак. скор од 2/ 4 и 50 % заби со вредност ≤4 за Median (IQR) =4 (3-4);
- средна (М) - 3,38±0,92 со мин./мак. скор од 2/ 4 со 50 % заби со вредност ≤4 за Median (IQR) = 4 (2,5-4);

- апикална третина (А) - 4,63±0,52 со мин./мак. скор од 2/ 5 со 50% заби со вредност ≤5 за Median (IQR) = 5 (4-5).

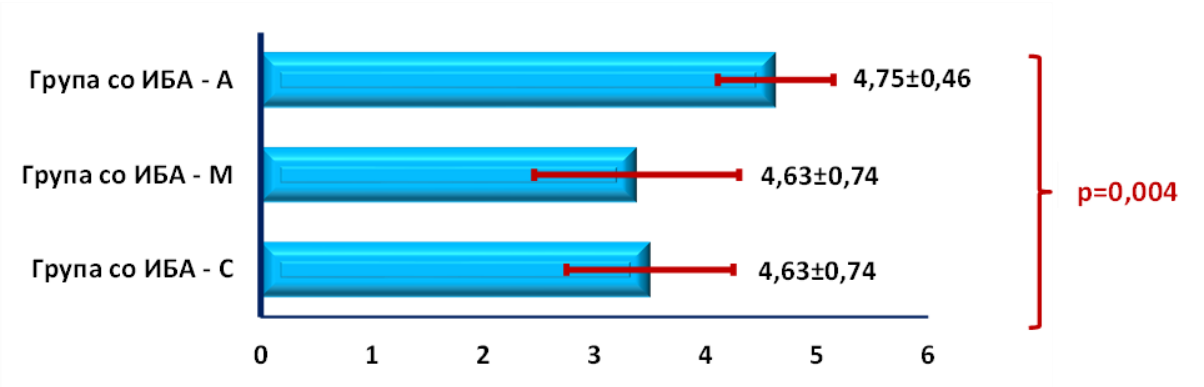


График 12. Интрагрупна споредба на Hülsmann скор - Група со ИБА

Во испитуваната група со ИБА - иригација без активација беше утврдена сигнификантна разлика помеѓу трите дела (С, М, А) на забите во примерокот во однос на висината на Hülsmann скорот за Kruskal Wallis H test: $X^2_{(2)}$=10,867; p=0,004 (Табела 6 и График 12).

Табела 7. Споредба на Hülsmann скор во три комбинации - Група со ИБА

Подгрупи	Hülsmann скор		
	ИБА - С / ИБА - М	ИБА - С / ИБА - А	ИБА - М / ИБА - А
Група со ИБА (С, М, А)			
Z	0,105[b]	-2,520	-2,741[b]
Asymp. Sig. (2-tailed)	0,9163	0,0118*	0,0061*

Група со ИБА - иригација без активација; коронарна (С), средна (М) и апикална третина (А)
Mann Whitney U test=Z; сигнификантно за p<0,05

Дополнително беше утврдено дека оваа сигнификантност се должи на сигнификантно понизок Hülsmann скор на испитуваната група со ИБА – С споредено со ИБА – А за Mann Whitney U test: Z=-2,520; p=0,0118 како и на сигнификантно понизок ИБА – М споредено со ИБА – А за Mann Whitney U test: Z=-2,741; p=0,0061 (Табела 6-7 и График 12).

Интрагрупна споредба на Hülsmann скор - Група со ИДМА

За испитуваната група со ИДМА - иригација со динамична мануелна активација беше направена интрагрупна споредба на добиените вредности за Hülsmann скорот за секој од трите дела на забот и тоа за коронарна (С), средна (М) и апикална третина (А) (Табела 8 и График 13).

Табела 8. Интрагрупна споредба на Hülsmann скор - Група со ИДМА

Параметри	Hülsmann скор						
	N	Mean±SD	Min/ Max	Percentiles			p
				25th	50th (Median)	75th	
Група со ИДМА							
Група со ИДМА - С	8	2,63±1,06	1/ 4	2,0	2,5	3,5	$X^2_{(2)}$=3,542; p=0,170
Група со ИДМА - М	8	2,38±1,06	1/ 4	2,0	2,0	3,0	
Група со ИДМА - А	8	3,38±1,06	2/ 5	2,5	3,5	4,0	
Вкупно	24	2,79±1,10	1/ 5	2,0	3,5	4,0	

Mean = Просек; SD = Стандардна девијација; Median = Медијана; Min/ Max=Мин/Мак;
Група со ИДМА - иригација со динамична мануелна активација;
Kruskal Wallis H test; сигнификантно за p<0,05

Во испитуваната група со ИДМА - иригација со динамична мануелна активација просечната вредност на Hülsmann скорот изнесуваше за (Табела 8 и График 13):

- коронарна (С) - 2,63±1,06 со мин./мак. скор од 1/ 4 и 50% заби со вредност ≤2,5 за Median (IQR) =2,5 (2-3,5);
- средна (М) - 2,38±1,06 со мин./мак. скор од 1/ 4 со 50% заби со вредност ≤2 за Median (IQR) = 2 (2-3);
- апикална третина (А) - 3,38±1,06 со мин/мак скор од 2/ 5 со 50% заби со вредност ≤5 за Median (IQR) = 3,5 (2,5-4).

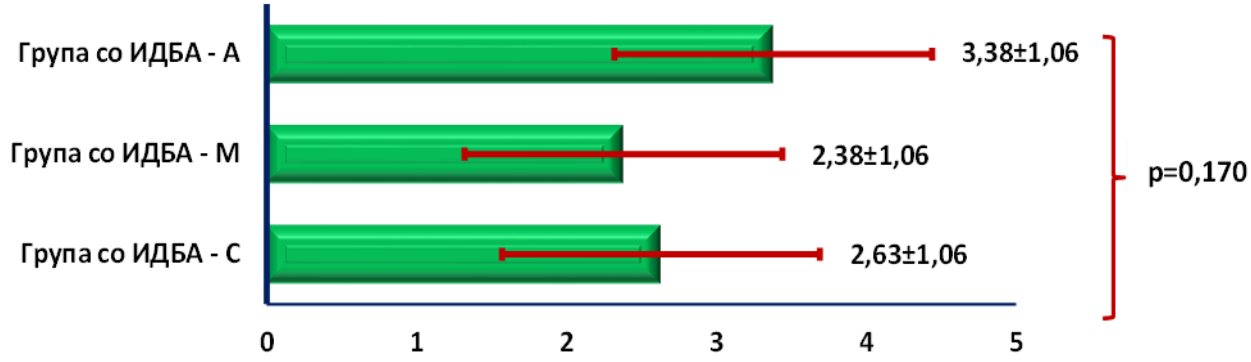


График 13. Интрагрупна споредба на Hülsmann скор - Група со ИДМА

Во испитуваната група со ИДМА - иригација со динамична мануелна активација немаше сигнификантна разлика помеѓу трите дела (С, М, А) на забите во примерокот во однос на висината на Hülsmann скорот за Kruskal Wallis H test: $X^2_{(2)}$=3,542; p=0,170. Утврдена беше несигнификантно највисок Hülsmann скор за група со ИДМА – А споредено со ИДМА – С и ИДМА – М (Табела 8 и График 13).

Интрагрупна споредба на Hülsmann скор - Група со ПУИ

За испитуваната група со ПУИ – пасивна ултразвучна иригација направена беше интрагрупна споредба на добиените вредности за Hülsmann скорот за секој од трите дела на забот и тоа за коронарна (С), средна (М) и апикална третина (А) (Табела 9 и График 14).

Во испитуваната група со ПУИ – пасивна ултразвучна иригација направена просечната вредност на Hülsmann скорот изнесуваше за (Табела 9 и График 14):

- коронарна (С) - 1,63±0,74 со мин./мак. скор од 1/ 3 и 50% заби со вредност ≤1,5 за Median (IQR) =1,5 (12);
- средна (М) - 1,88±0,64 со мин./мак. скор од 1/ 3 со 50% заби со вредност ≤2 за Median (IQR) = 2 (1,5-2);
- апикална третина (А) - 2,75±0,71 со мин./мак. скор од 2/ 4 со 50% заби со вредност ≤3 за Median (IQR) = 3 (2-3).

Табела 9. Интрагрупна споредба на Hülsmann скор - Група со ПУИ

Параметри	Hülsmann скор						
	N	Mean±SD	Min/ Max	Percentiles			p
				25th	50th (Median)	75th	
Група со ПУИ							
Група со ПУИ - С	8	1,63±0,74	1/ 3	1	1,5	2	$X^2_{(2)}$=7,983; p=0,018*
Група со ПУИ - М	8	1,88±0,64	1/ 3	1,5	2	2	
Група со ПУИ - А	8	2,75±0,71	2/ 4	2	3	3	
Вкупно	24	2,08±0,83	1/ 4	1,5	2,0	3,0	

Mean = Просек; SD = Стандардна девијација; Median = Медијана; Min/ Max=мин./мак.;
Група со ПУИ – пасивна ултразвучна иригација;
Kruskal Wallis H test; сигнификантно за p<0,05

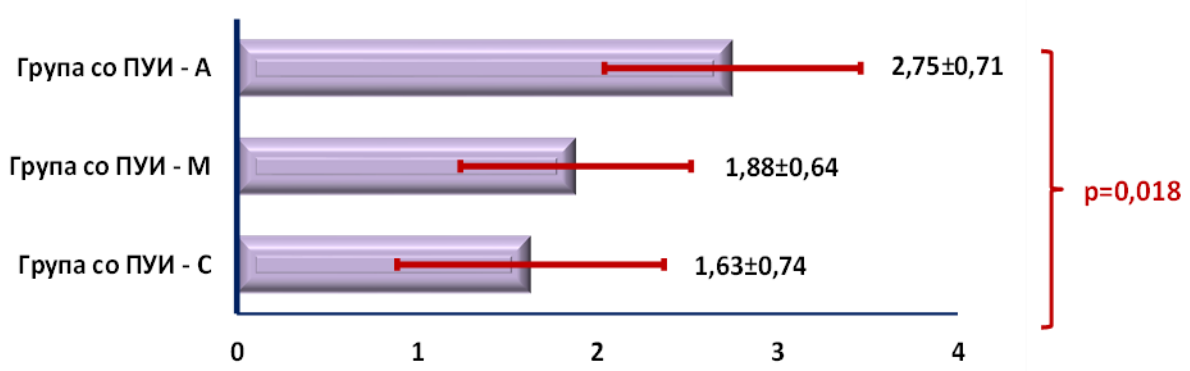


График 14. Интрагрупна споредба на Hülsmann скор - Група со ПУИ

Во испитуваната група со ПУИ – пасивна ултразвучна иригација беше утврдена сигнификантна разлика помеѓу трите дела (С, М, А) на забите во примерокот во однос на висината на Hülsmann скорот за Kruskal Wallis H test: $X^2_{(2)}$=7,983; p=0,018 (Табела 9 и График 14).

Табела 10. Споредба на Hülsmann скор во три комбинации - Група со ПУИ

Подгрупи	Hülsmann скор		
	ПУИ - С / ПУИ - М	ПУИ - С / ПУИ- А	ПУИ - М / ПУИ - А
Група со ПУИ (С, М, А)			
Z	-0,682[b]	-2,310	-1,995[b]
Asymp. Sig. (2-tailed)	0,4948	0,0209*	0,0460*
Група со ПУИ – пасивна ултразвучна иригација; Mann Whitney U test=Z; сигнификантно за p<0,05			

Дополнително беше утврдено дека оваа сигнификантност се должи на сигнификантно понизок Hülsmann скор на ПУИ – С споредено со ИБА – А за Mann Whitney U test: Z=-2,310; p=0,02009 како и на сигнификантно понизок ИБА – М споредено со ИБА – А за Mann Whitney U test: Z=-1,995; p=0,0460 (Табела 9-10 и График 14).

Меѓугрупна споредба - Hülsmann скор за коронарен дел

Во рамките на истражувањето направена беше меѓугрупна споредба на Hülsmann скорот за коронарна третина (С) на четирите групи и тоа: а) Група со ИФР (С) - испирање со физиолошки раствор; б) Група со ИБА (С) - иригација без активација; в) Група со ИДМА (С) - иригација со динамична мануелна активација; и Група со ПУИ (С) – пасивна ултразвучна иригација (Табела 11-12 и График 15).

Утврдено беше континуирано намалување на висината на Hülsmann скорот за коронарна третина за ИФР (С) → ИБА (С) → ПУИ (С). Утврдено беше дека (Табела 11):

- **Група со ИФР (С) - испирање со физиолошки раствор:** просечната вредност на Hülsmann скорот во коронарната третина на група ИФР (С) беше највисока и изнесуваше 4,63±0,74 со мин./мак. вредност од 3/5 и 50% на заби од оваа група каде вредноста на скорот изнесуваше 5 за Median IQR=5 (4,5-5);
- **Група со ИБА (С) - иригација без активација**: просечната вредност на Hülsmann скорот во коронарната третина на група ИБА (С) беше втора

по висина после ИФР (С) и изнесуваше 3,50±0,75 со мин./мак. вредност од 2/4 и 50 % на заби од оваа група каде вредноста на скорот беше ≤4 за Median IQR=4 (3-4);

- **Група со ИДМА (А) - иригација со динамична мануелна активација**: просечната вредност на Hülsmann скорот во коронарната третина на група ИДМА (С) беше трета по висина после ИФР (С) и ИБА (С) и изнесуваше 2,63±1,06 со мин./мак. вредност од 1/4 и 50% на заби од оваа група каде вредноста на скорот беше ≤2,5 за Median IQR=2,5 (2-3,5);

- **Група со ПУИ (С) – пасивна ултразвучна иригација**: просечната вредност на Hülsmann скорот во коронарната третина на група ПУИ (С) беше најниска и изнесуваше 1,63±0,74 со мин./мак. вредност од 1/3 и 50% на заби од оваа група каде вредноста на скорот беше 1 за Median IQR=1,5 (1-2);

Табела 11. Меѓугрупна споредба на Hülsmann скор за коронарна третина

Параметри	Hülsmann скор						
	N	Mean±SD	Min/ Max	Percentiles			p
				25th	50th (Median)	75th	
Подгрупи							
Група со ИФР - С	8	4,63±0,74	3/ 5	4,5	5,0	5,0	$X^2_{(3)}$=20,749; p=0,00001*
Група со ИБА - С	8	3,50±0,75	2/ 4	3,0	4,0	4,0	
Група со ИДМА - С	8	2,63±1,06	1/ 4	2,0	2,5	3,5	
Група со ПУИ - С	8	1,63±0,74	1/ 3	1	1,5	2	

Mean = Просек; SD = Стандардна девијација; Median = Медијана; Min/ Max=Мин/Мак;
Група со ИФР - испирање со физиолошки раствор;
Група со ИБА - иригација без активација;
Група со ИДМА - иригација со динамична мануелна активација;
Група со ПУИ – пасивна ултразвучна иригација;
С – коронарна третина; Kruskal Wallis H test; сигнификантно за p<0,05

Табела 12. Споредба на Hülsmann скор за коронарна третина во шест комбинации на групи

Групи	Hülsmann скор		
	Група со ИФР-С/ Група со ИБА-С	**Група со ИФР -С/ Група со ИДМА-С**	**Група со ИФР-С/ Група со ПУИ-С**
Z	-2,614)[b]	-3,048)[b]	-3,437)[b]
Asymp. Sig. (2-tailed)	0,009*	0,002*	0,0001*
	Група со ИБА-С/ Група со ИДМА-С	**Група со ИБА-С/ Група со ПУИ-С**	**Група со ИДМА -С/ Група со ПУИ-С**
Z	--1,727)[c]	-3,095)[c]	-1,925)[c]
Asymp. Sig. (2-tailed)	0,084	0,002*	0,054

Група со ИФР - испирање со физиолошки раствор;
Група со ИБА - иригација без активација;
Група со ИДМА - иригација со динамична мануелна активација;
Група со ПУИ – пасивна ултразвучна иригација;
С – коронарна третина; Mann Whiney U test=Z;
сигнификантно за p<0,05

Утврдена беше сигнификатна разлика меѓу четирите групи во однос на Hülsmann скорот за коронарната третина за Kruskal Wallis H test: $X^2_{(3)}$=20,749; p=0,00001 (Табела 11-12 и График 15).

Дополнително беше утврдено дека оваа сигнификантност се должи на (Табела 11-12 и График 15):

- сигнификантно понизок Hülsmann скор на испитуваната група со ИБА–С споредено со ИФР–С за Mann Whitney U test: Z=-2,614; p=0,009;
- сигнификантно понизок Hülsmann скор на испитуваната група со ИДМА–С споредено со ИФР–С за Mann Whitney U test: Z=-3,048; p=0,002;
- сигнификантно понизок Hülsmann скор на испитуваната група со ПУИ–С споредено со ИФР–С за Mann Whitney U test: Z=-3,437; p=0,0001;

- несигнификантно понизок Hülsmann скор на испитуваната група со ИДМА-С споредено со ИБА–С за Mann Whitney U test: Z=-1,727; p=0,084;

- сигнификантно понизок Hülsmann скор на испитуваната група со ПУИ–С споредено со ИБА–С за Mann Whitney U test: Z=-3,095; p=0,002;

- несигнификантно понизок Hülsmann скор на испитуваната група со ПУИ–С споредено со ИДМА–С за Mann Whitney U test: Z=-1,925; p=0,054;

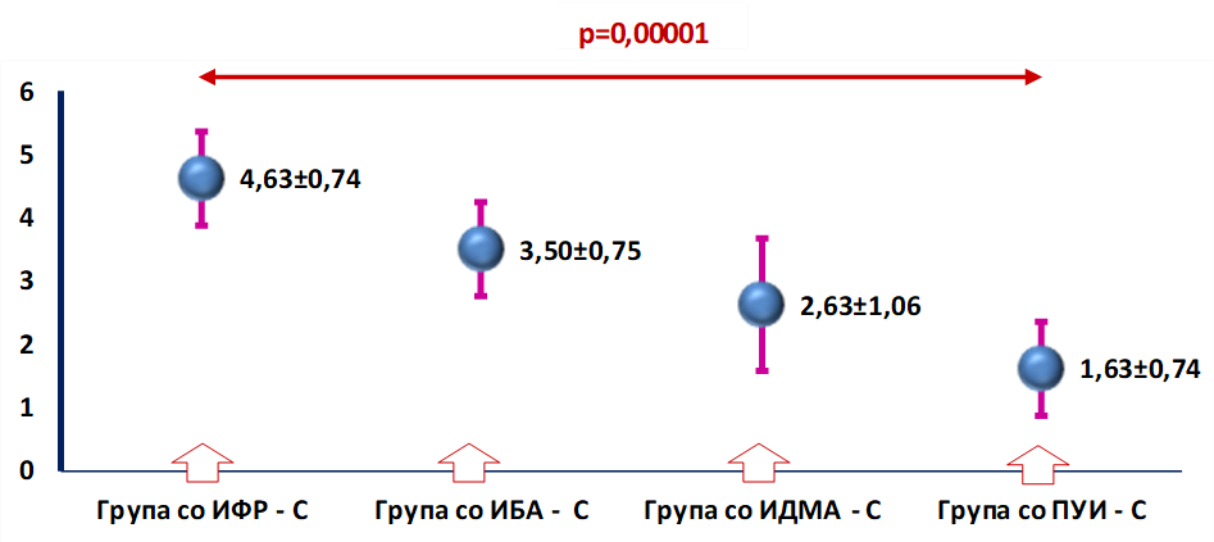


График 15. Споредба на Hülsmann скор за коронарна третина според групи

Меѓугрупна споредба - Hülsmann скор за среден дел

Во рамките на истражувањето направена беше меѓугрупна споредба на Hülsmann скорот за средна третина (М) на четирите групи и тоа:
а) Група со ИФР (М) - испирање со физиолошки раствор; б) Група со ИБА (М) - иригација без активација; в) Група со ИДМА (А) - иригација со динамична мануелна активација; и г) Група со ПУИ (А) – пасивна ултразвучна иригација (Табела 13-14 и График 17).

Табела 13. Меѓугрупна споредба на Hülsmann скор за средна третина

Параметри	Hülsmann скор						
		Mean±SD	Min / Max	Percentiles			p
					50th (Median)		
Подгрупи							
Група со ИФР - М		4,53 ±0,74	3/ 5		5,0		$X^2_{(3)}$=19,749; p=0,001*
Група со ИБА - М		3,38 ±0,92	2/ 4		4,0		
Група со ИДМА - М		2,38 ±1,06	1/ 4		2,0		
Група со ПУИ - М		1,88 ±0,64	1/ 3		2,0		

Mean = Просек; SD = Стандардна девијација; Median = Медијана; Min/ Max=Мин/Мак;
Група со ИФР - испирање со физиолошки раствор;
Група со ИБА - иригација без активација;
Група со ИДМА - иригација со динамична мануелна активација;
Група со ПУИ – пасивна ултразвучна иригација;
М – средна третина; Kruskal Wallis H test; сигнификантно за p<0,05

Утврдено беше континуирано намалување на висината на Hülsmann скорот за средна третина за ИФР (М) → ИБА (М) → ПУИ (М). Утврдено беше дека (Табела 13 и График 17):

- **Група со ИФР (М)** - испирање со физиолошки раствор: просечната вредност на Hülsmann скорот во средната третина на група ИФР (М) беше највисока и изнесуваше 4,53±0,74 со мин./мак. вредност од 3/5 и 50 % на заби од оваа група каде што вредноста на скорот изнесуваше 5 за Median IQR=5 (4,5-5);

- **Група со ИБА (М)** - иригација без активација: просечната вредност на Hülsmann скорот во средната третина на група ИБА (М) беше втора по висина после ИФР (М) и изнесуваше 3,38±0,92 со мин./мак. вредност од

2/4 и 50% на заби од оваа група каде вредноста на скорот беше ≤4 за Median IQR=4 (2,5-4);

- **Група со ИДМА (М)** - иригација со динамична мануелна активација: просечната вредност на Hülsmann скорот во средната третина на група ИДМА (М) беше трета по висина после ИФР (М) и ИБА (М) и изнесуваше 2,38±1,06 со мин./мак. вредност од 1/4 и 50% на заби од оваа група каде што вредноста на скорот беше ≤2 за Median IQR=2 (2-3);

- **Група со ПУИ (М)** – пасивна ултразвучна иригација: просечната вредност на Hülsmann скорот во средната третина на група ПУИ (М) беше најниска и изнесуваше 1,88±0,64 со мин./мак. вредност од 1/3 и 50% на заби од оваа група каде вредноста на скорот беше ≤2 за Median IQR=2 (1,5-2);

Табела 14. Споредба на Hülsmann скор за средна третина во шест комбинации на групи

Групи	Hülsmann скор		
	Група со ИФР-М/ Група со ИБА-М	Група со ИФР -М/ Група со ИДМА-М	Група со ИФР-М/ Група со ПУИ-М
Z	-2,666)[b]	-3,187)[b]	-3,456)[b]
Asymp. Sig. (2-tailed)	0,008*	0,001*	0,0001*
	Група со ИБА-М/ Група со ИДМА-М	Група со ИБА-М/ Група со ПУИ-М	Група со ИДМА -М/ Група со ПУИ-М
Z	--1,839)[c]	-2,735)[c]	-0,910)[c]
Asymp. Sig. (2-tailed)	0,066	0,006*	0,363

Група со ИФР - испирање со физиолошки раствор;
Група со ИБА - иригација без активација;
Група со ИДМА - иригација со динамична мануелна активација;
Група со ПУИ – пасивна ултразвучна иригација;
М – средна третина; Mann Whiney U test=Z; сигнификантно за p<0,05

Утврдена беше сигнификатна разлика меѓу четирите групи во однос на Hülsmann скорот за средна третина за Kruskal Wallis H test: $X^2_{(3)}$=19,749; p=0,0001 (Табела 13 и График 17).

Дополнително беше утврдено дека оваа сигнификантност се должи на (Табела 13-14 и График 17):

- сигнификантно понизок Hülsmann скор на испитуваната група со ИБА–М споредено со ИФР–М за Mann Whitney U test: Z=-2,666; p=0,008;

- сигнификантно понизок Hülsmann скор на испитуваната група со ИДМА–М споредено со ИФР–М за Mann Whitney U test: Z=-3,187; p=0,001;

- сигнификантно понизок Hülsmann скор на испитуваната група со ПУИ–М споредено со ИФР–М за Mann Whitney U test: Z=-3,456; p=0,0001;

- несигнификантно понизок Hülsmann скор на испитуваната група со ИДМА-М споредено со ИБА–М за Mann Whitney U test: Z=-1,839; p=0,066;

- сигнификантно понизок Hülsmann скор на испитуваната група со ПУИ–М споредено со ИБА–М за Mann Whitney U test: Z=-2,735; p=0,006;

- несигнификантно понизок Hülsmann скор на испитуваната група со ПУИ–М споредено со ИДМА–М за Mann Whitney U test: Z=-0,910; p=0,363;

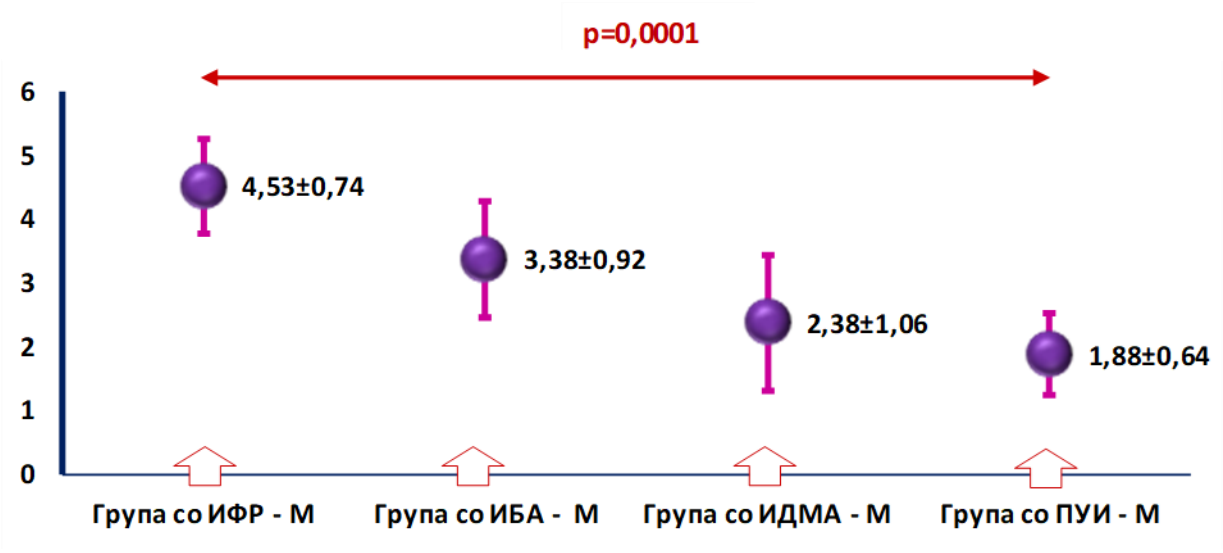


График 16. Споредба на Hülsmann скор за средна третина според групи

Меѓугрупна споредба - Hülsmann скор за апикален дел

Во рамките на истражувањето направена беше меѓугрупна споредба на Hülsmann скорот за апикална третина (А) на четирите групи и тоа: а) Група со ИФР (А) - испирање со физиолошки раствор; б) Група со ИБА (А) - иригација без активација; в) Група со ИДМА (А) - иригација со динамична мануелна активација; и г) Група со ПУИ (А) – пасивна ултразвучна иригација (Табела 15-16 и График 18).

Табела 15. Меѓугрупна споредба на Hülsmann скор за апикална третина

Параметри	Hülsmann скор						
	N	Mean±SD	Min/ Max	Percentiles			p
				25th	50th (Median)	75th	
Подгрупи							
Група со ИФР - А	8	4,75±0,46	4/ 5	4,5	5,0	5,0	$X^2_{(3)}$=19,166; p=0,0001*
Група со ИБА - А	8	4,63±0,52	2/ 5	4,0	5,0	5,0	
Група со ИДМА - А	8	3,38±1,06	2/ 5	2,5	3,5	4,0	
Група со ПУИ - А	8	2,75±0,71	2/ 4	2	3	3	

Mean = Просек; SD = Стандардна девијација; Median = Медијана; Min/ Max=Мин/Мак;
Група со ИФР - испирање со физиолошки раствор;
Група со ИБА - иригација без активација;
Група со ИДМА - иригација со динамична мануелна активација;
Група со ПУИ – пасивна ултразвучна иригација;

А – апикална третина; Kruskal Wallis H test; сигнификантно за p<0,05

Утврдено беше континуирано намалување на висината на Hülsmann скорот за апикална третина за ИФР (А) → ИБА (А) → ПУИ (А). Беше утврдено дека (Табела 15 и График 18):

- **Група со ИФР (А) - испирање со физиолошки раствор:** просечната вредност на Hülsmann скорот во средната третина на група ИФР (А) беше највисока и изнесуваше 4,75±0,46 со мин./мак. вредност од 4/5 и 50% на заби од оваа група каде вредноста на скорот изнесуваше 5 за Median IQR=5 (4,5-5);

- **Група со ИБА (А) -** иригација без активација: просечната вредност на Hülsmann скорот во средната третина на група ИБА (А) беше втора по висина после ИФР (А) и изнесуваше 4,63±0,52 со мин./мак. вредност од 2/5 и 50% на заби од оваа група каде вредноста на скорот беше ≤5 за Median IQR=5 (4-5);

- **Група со ИДМА (А) -** иригација со динамична мануелна активација: просечната вредност на Hülsmann скорот во средната третина на група ИДМА (А) беше трета по висина после ИФР (А) и ИБА (А) и изнесуваше 3,38±1,06 со мин./мак. вредност од 2/5 и 50% на заби од оваа група каде што вредноста на скорот беше ≤3,5 за Median IQR=3,5 (2,5-4);

- **Група со ПУИ (А)** – пасивна ултразвучна иригација: просечната вредност на Hülsmann скорот во средната третина на група ПУИ (А) беше најниска и изнесуваше 2,75±0,71 со мин./мак. вредност од 2/4 и 50 % на заби од оваа група каде што вредноста на скорот беше ≤3 за Median IQR=3 (2-3);

Табела 16. Споредба на Hülsmann скор во шест комбинации на групи

Групи	Hülsmann скор		
	Група со ИФР-А/ Група со ИБА-А	Група со ИФР -А/ Група со ИДМА-А	Група со ИФР-А/ Група со ПУИ-А
Z	-0,522)[b]	-2,679)[b]	-3,390)[b]
Asymp. Sig. (2-tailed)	0,602*	0,007*	0,001*
	Група со ИБА-А/ Група со ИДМА-А	Група со ИБА-А/ Група со ПУИ-А	Група со ИДМА -А/ Група со ПУИ-А
Z	--2,443)[c]	-3,312)[c]	-1,270)[c]
Asymp. Sig. (2-tailed)	0,015*	0,001*	0,204

Група со ИФР - испирање со физиолошки раствор;
Група со ИБА - иригација без активација;
Група со ИДМА - иригација со динамична мануелна активација;
Група со ПУИ – пасивна ултразвучна иригација;

А – апикална третина; Mann Whiney U test=Z; сигнификантно за p<0,05

Утврдена беше сигнификатна разлика меѓу четирите групи во однос на Hülsmann скорот за апикална третина за Kruskal Wallis H test: $X^2_{(3)}$=19,166; p=0,0001 (Табела 15 и График 17).Дополнително беше утврдено дека оваа сигнификантност се должи на (Табела 15-16 и График 18):

- несигнификантно понизок Hülsmann скор на испитуваната група со ИБА–А споредено со ИФР–А за Mann Whitney U test: Z=-0,522; p=0,602;
- сигнификантно понизок Hülsmann скор на испитуваната група со ИДМА–А споредено со ИФР–А за Mann Whitney U test: Z=-2,679; p=0,007;

- сигнификантно понизок Hülsmann скор на испитуваната група со ПУИ–А споредено со ИФР–А за Mann Whitney U test: Z=-3,390; p=0,001;

- сигнификантно понизок Hülsmann скор на испитуваната група со ИДМА-А споредено со ИБА–А за Mann Whitney U test: Z=-2,443; p=0,015;

- сигнификантно понизок Hülsmann скор на испитуваната група со ПУИ–А споредено со ИБА–А за Mann Whitney U test: Z=-3,312; p=0,001;

- несигнификантно понизок Hülsmann скор на испитуваната група со ПУИ–А споредено со ИДМА-А за Mann Whitney U test: Z=-1,270; p=0,204

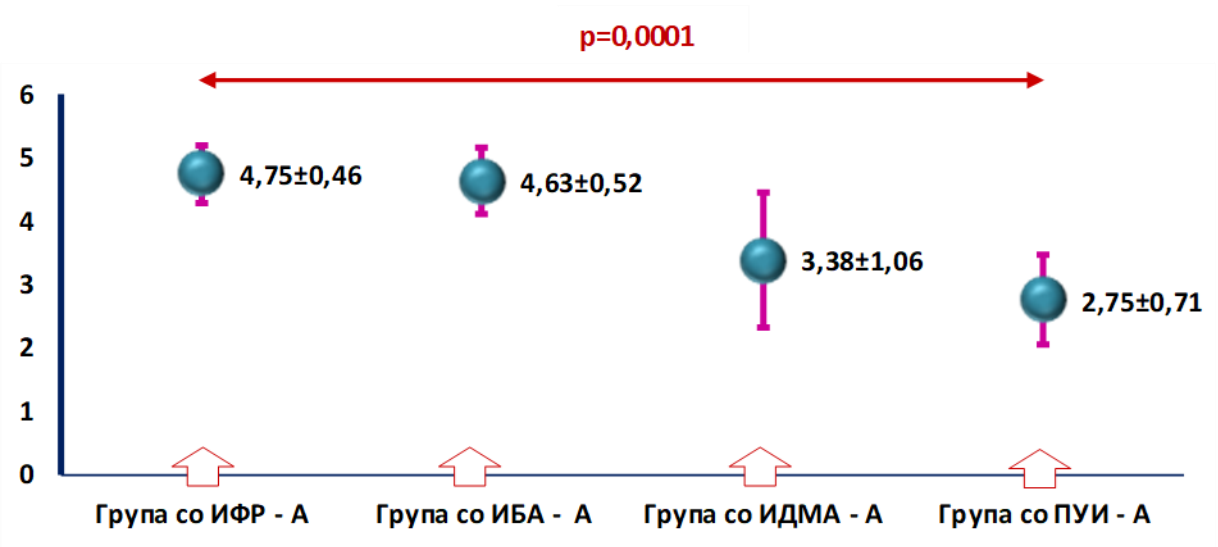
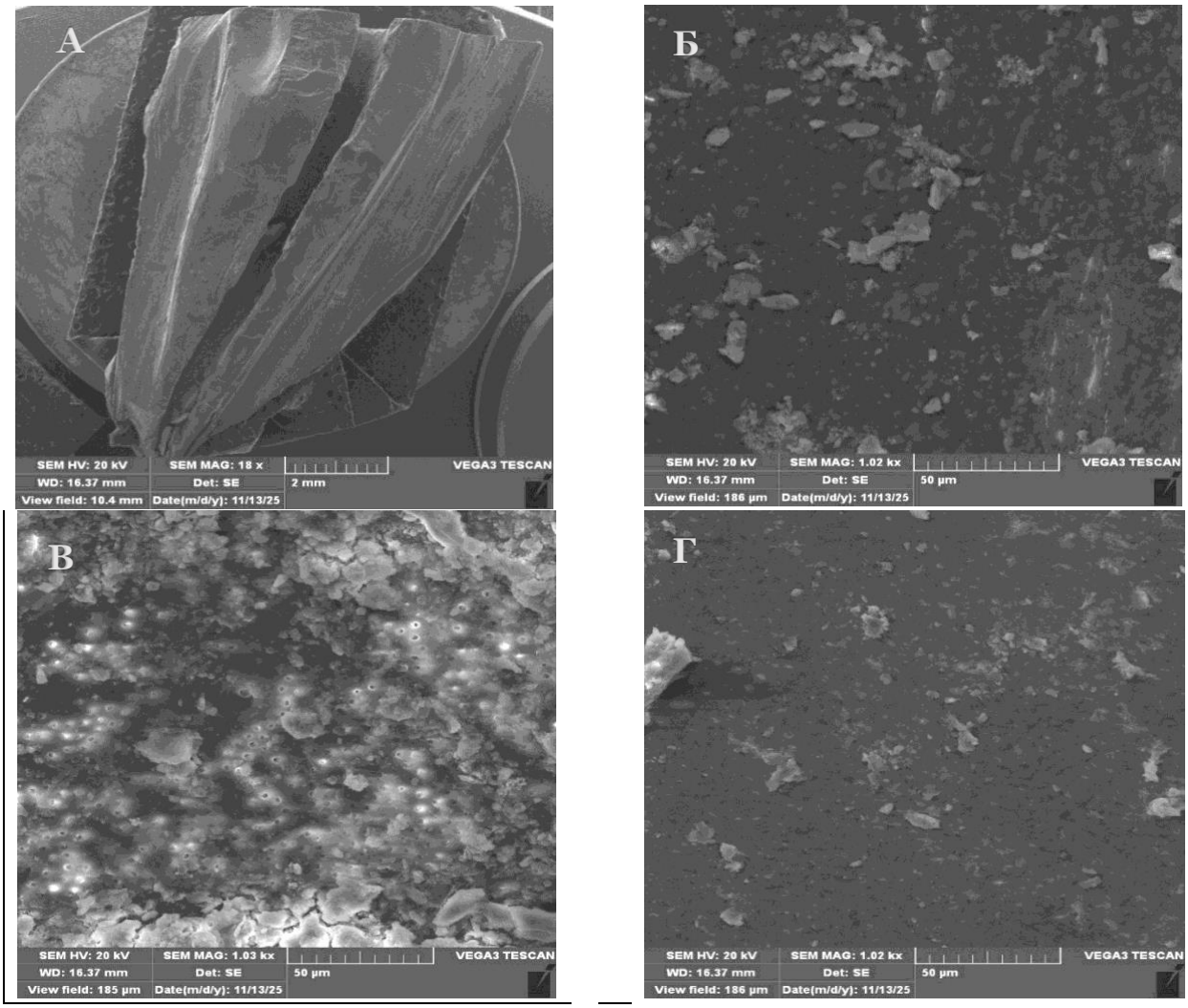


График 17. Споредба на Hülsmann скор за апикална третина според групи

Репрезентативни слики направени со електронска микроскопија (СЕМ)



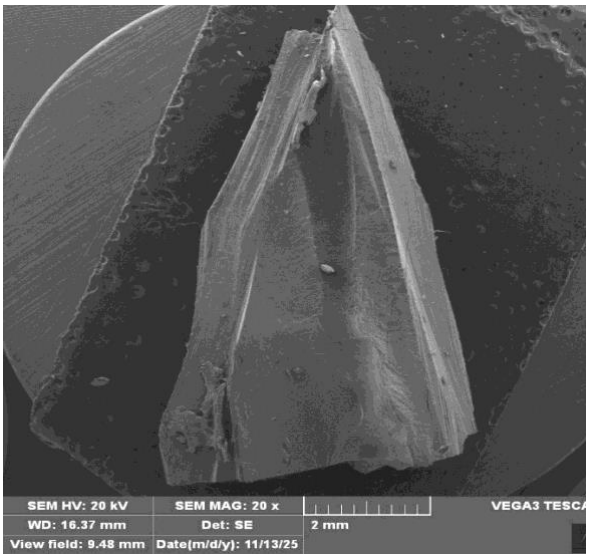
Во сликата означено со буква А покажано е целиот корен каде што е извршена само иригација со физиолошки раствор т.е прва група.

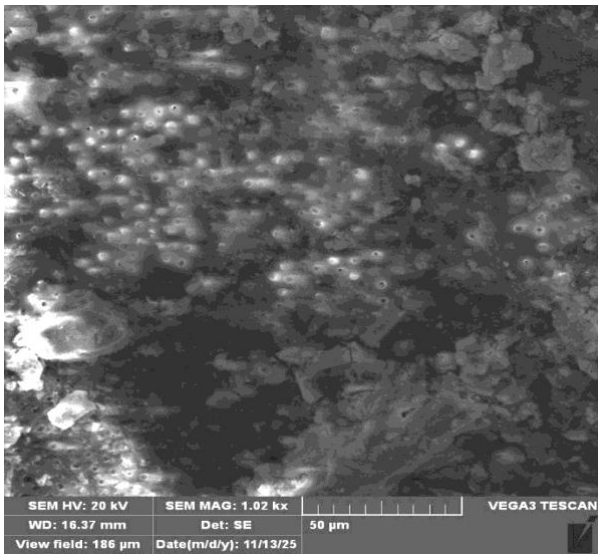
Под Б се гледа коронарната третина на коренот зголемено x1000 каде што дентинските тубули се целосно затворени со дебел и нерамномерен размачкан слој и е класифицирано со скор 5 по скалата на Hülsmann.

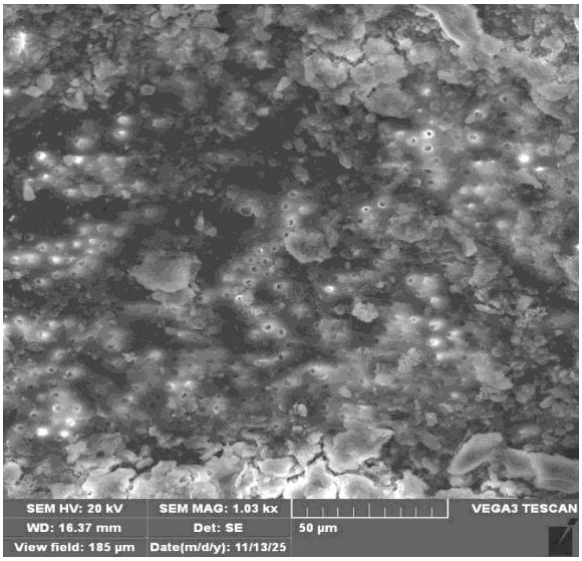
Под В се гледа средната третина на коренот каде што видливи се само неколку отворени дентински тубули која по класификацијата е означено со број 3.

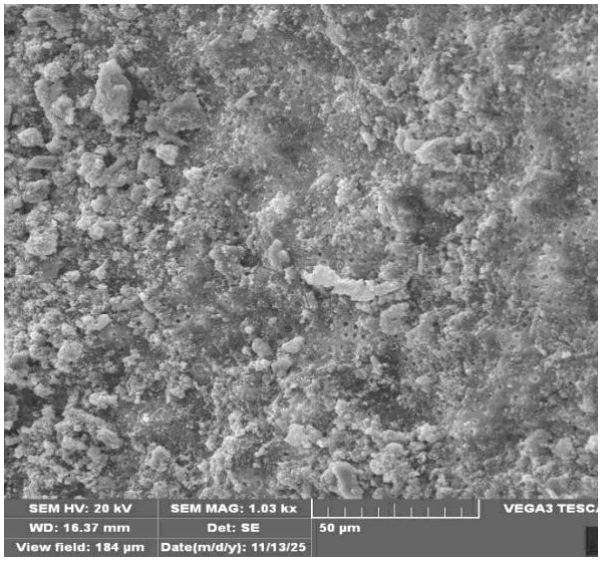
Под Г се гледа апикалниот дел исто така под магнификација 1000, дебел и нерамномерен размачкан слој кој целосно покрива ѕидот, по Hülsmann број 5.

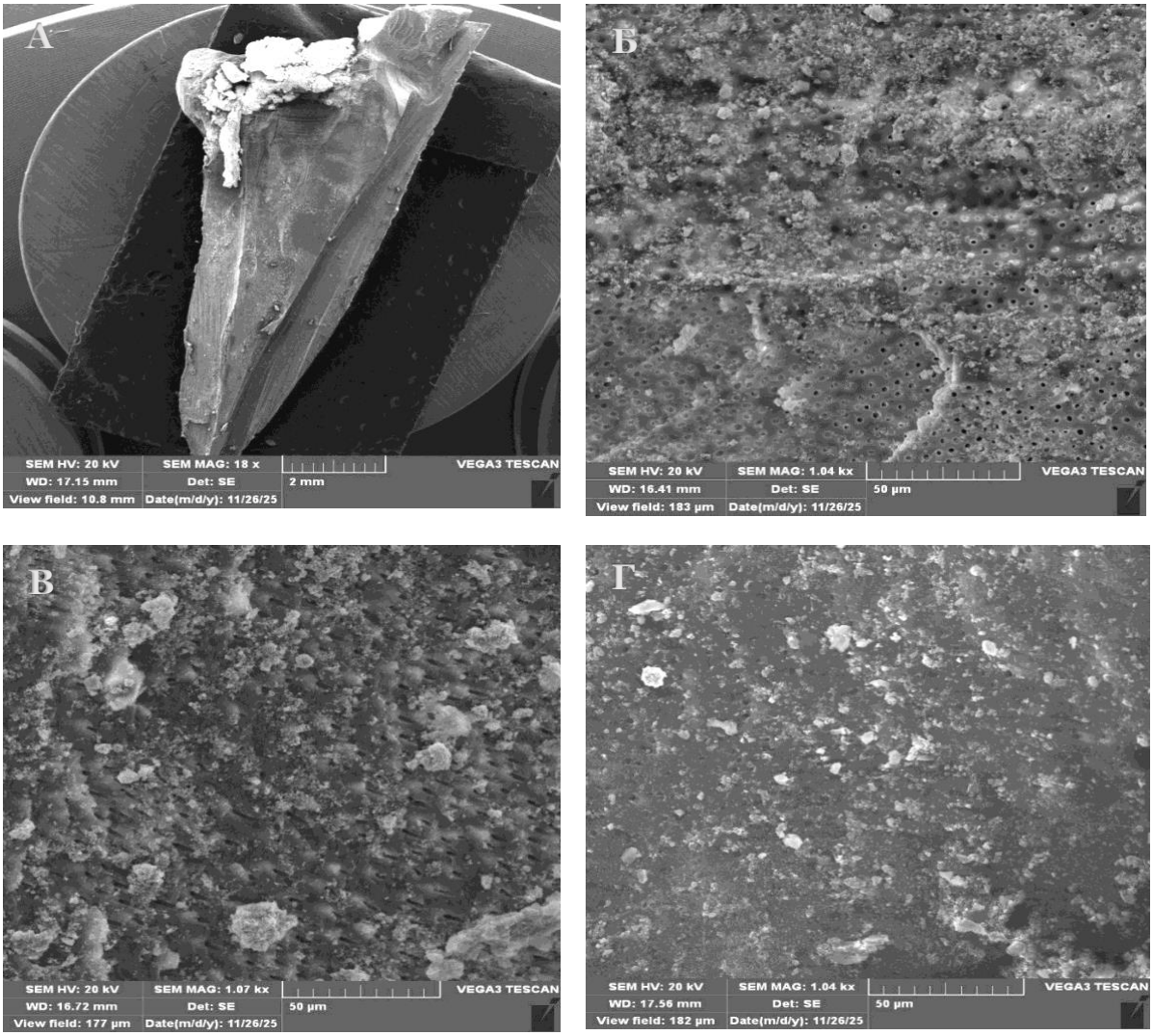
Репрезентативни слики од група 1
Коронарниот, Средниот, Апикалниот дел на коренот











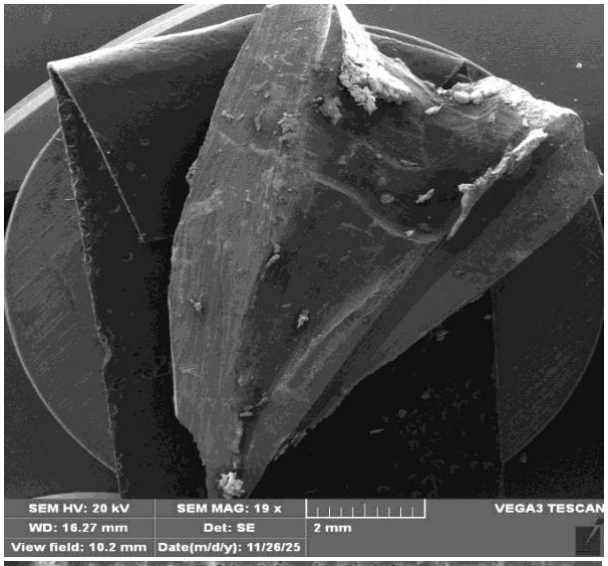
Под сликата означена со буквата А се гледа целиот корен каде што е извршена иригација без актвација на иригансот.

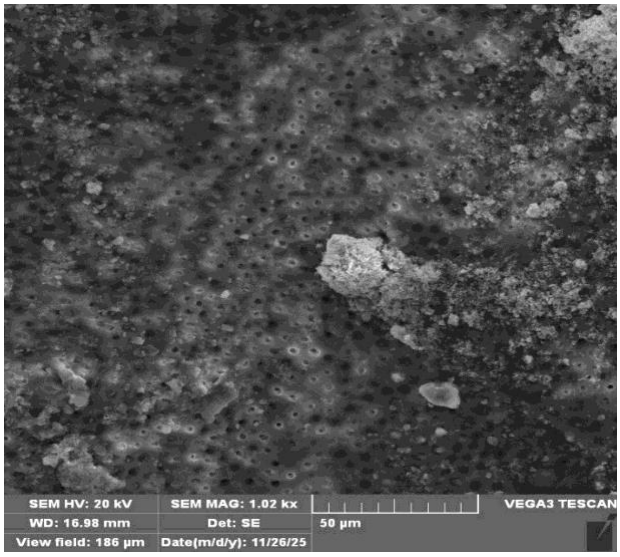
Под Б се гледа коронарниот дел на коренот под зголемување 1000х. Мало количество на размачкан слој каде што повеќето дентински тубули се отворени.

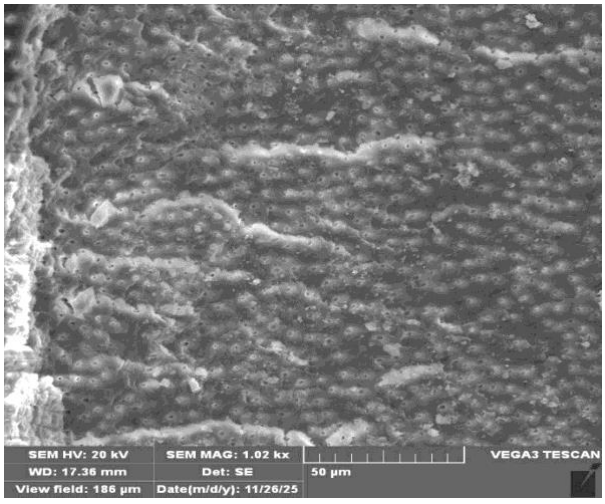
Под В се гледа средниот дел на коренот каде се видливи само неколку дентински тубули, ѕидот е покриен со мало количество на рамномерен размачкан слој.

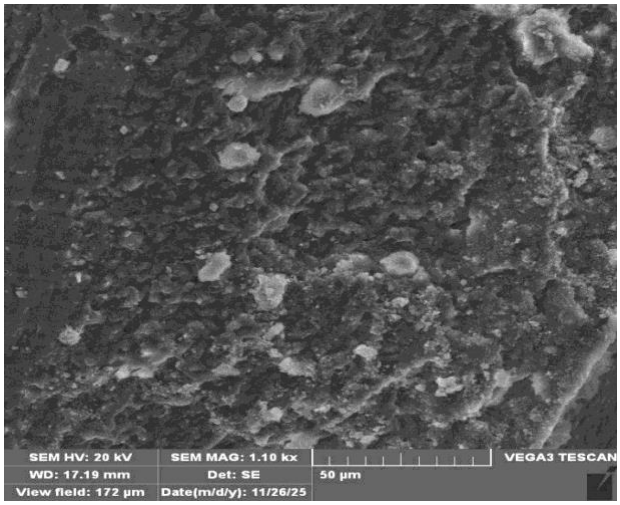
Под Г се гледа апикалниот дел на коренот каде постои дебел и нерамномерен размачкан слој кој целосно го покрива ѕидот на каналот.

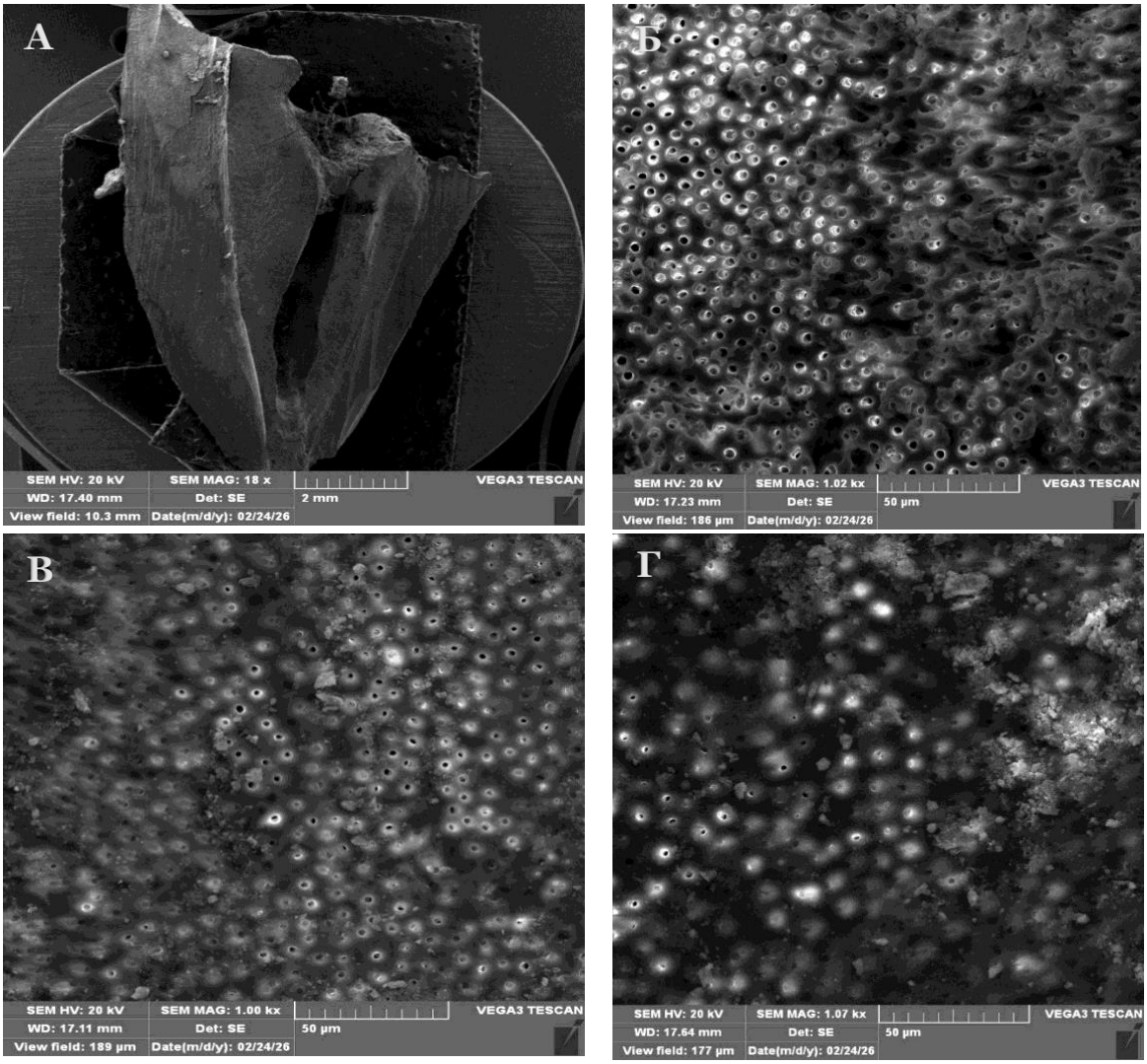
Репрезентативни слики од група 2
Коронарниот, Средниот, Апикалниот дел на коренот











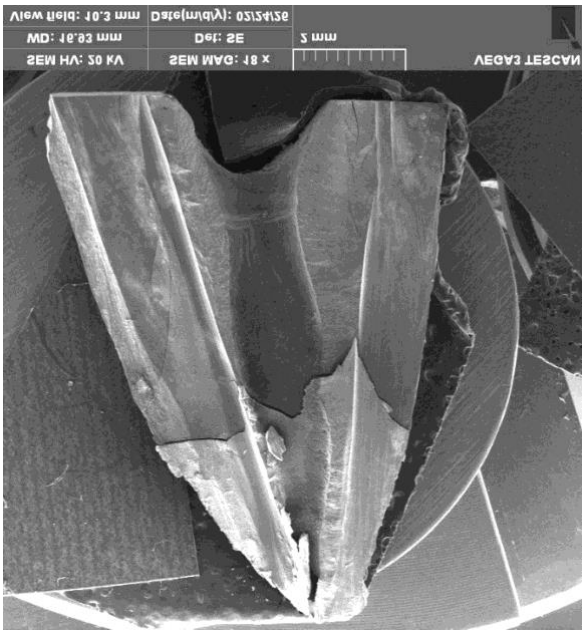
Под сликата означена со буквата А се гледа целиот корен каде што е извршена иригација со мануелна динамична активација.

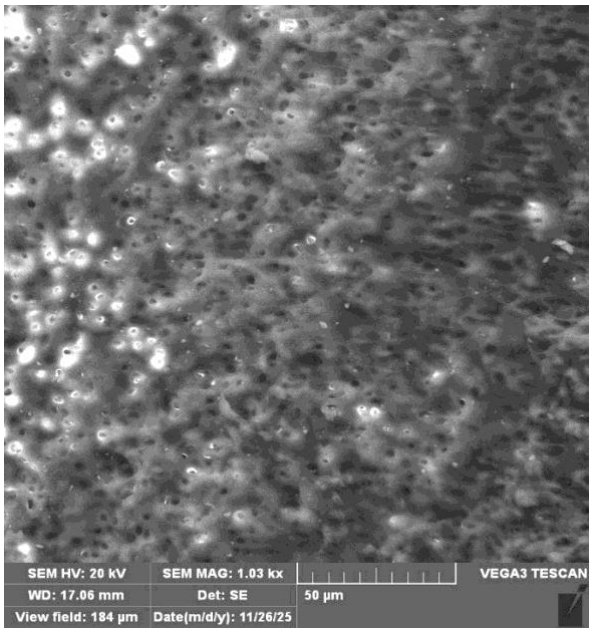
Под сликата Б, 1000 пати зголемено е коронарниот дел на коренот каде што постои мало количество на размачкан слој и повеќето од дентинските тубули се отворени

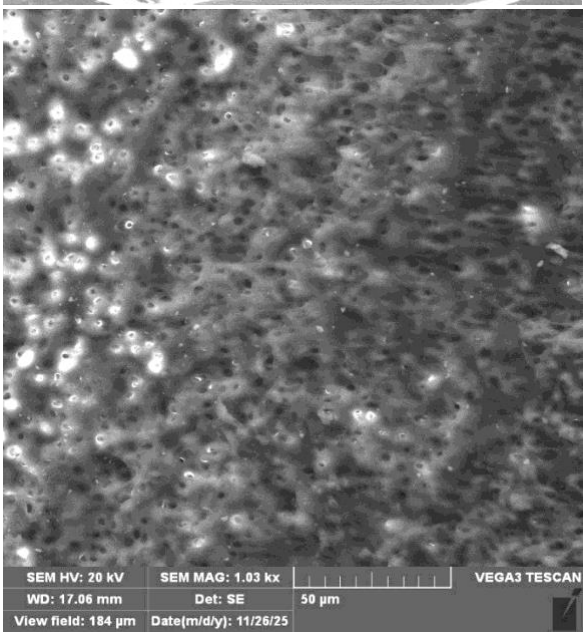
Под слика В отворени се само неколку дентински тубули.

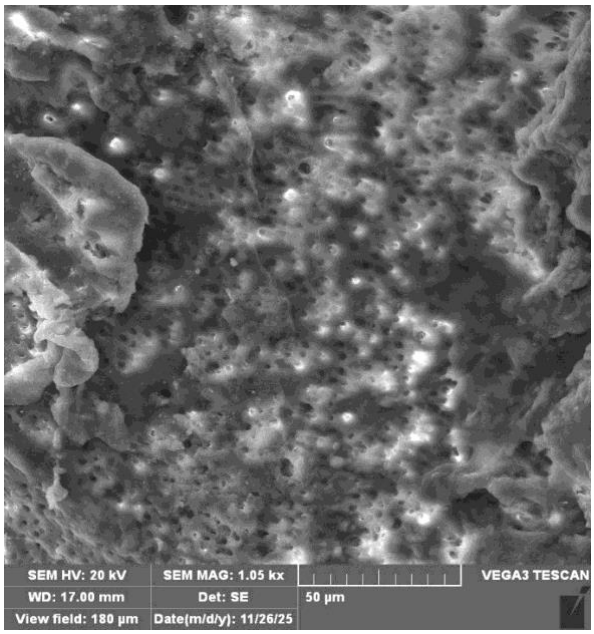
Под слика Г рамномерен размачкан слој го покрива ѕидот на каналот.

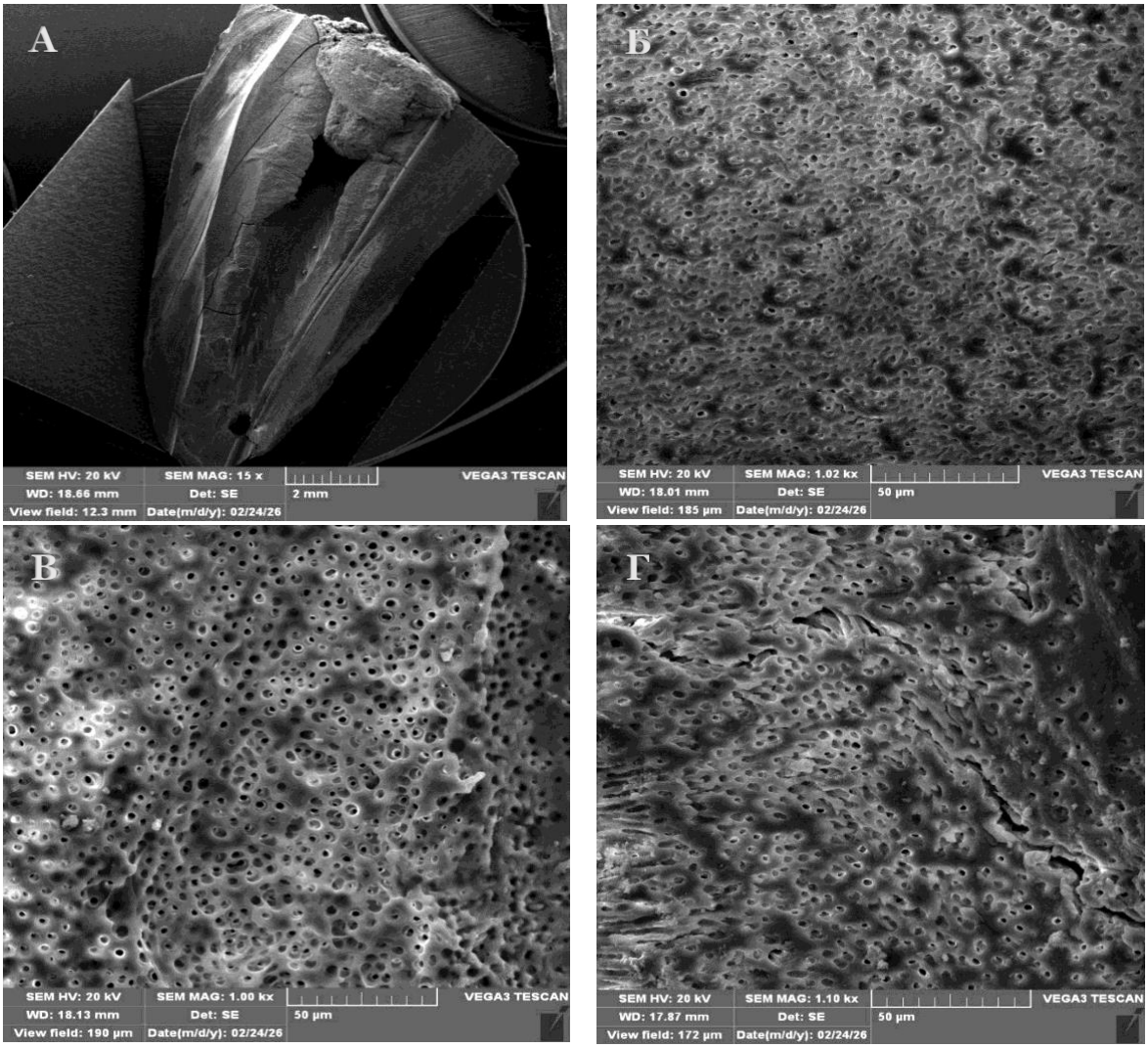
Репрезентативни слики од група 3
Коронарниот, Средниот, Апикалниот дел на коренот











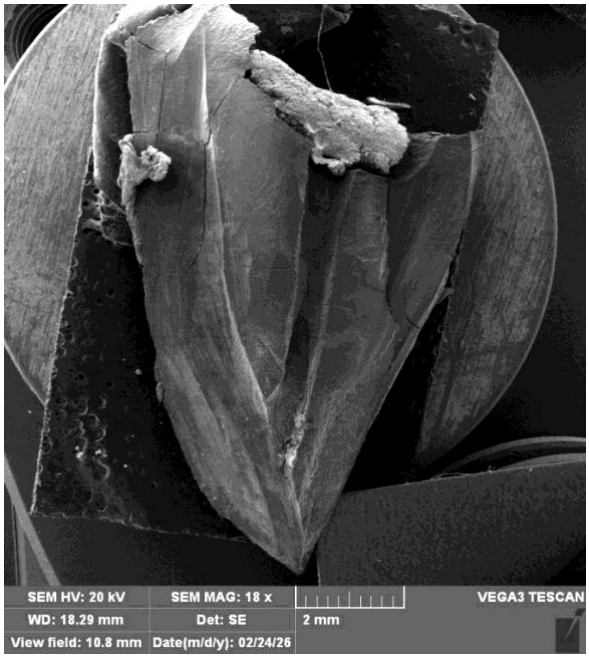
Под сликата А се гледа целиот корен каде што е извршена иригација со пасивна ултразвучна активација на иригансот.

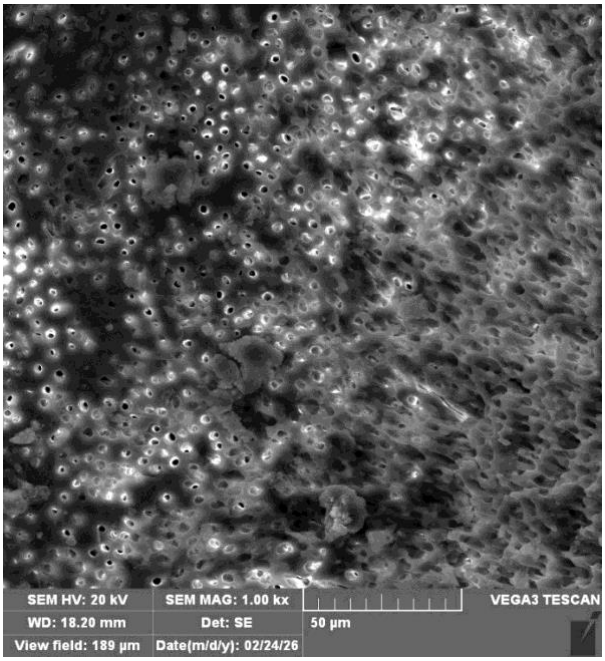
Под Б коронарниот дел на коренот е зголемено 1000 пати и тоа укажува дека сите дентински тубули се отворени без присуство на размачкан слој.

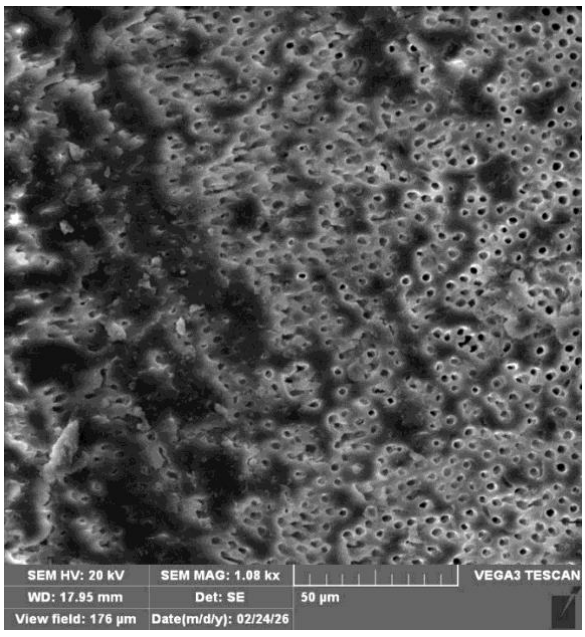
Под В е средниот дел на коренот каде исто така нема присуство на размачкан слој.

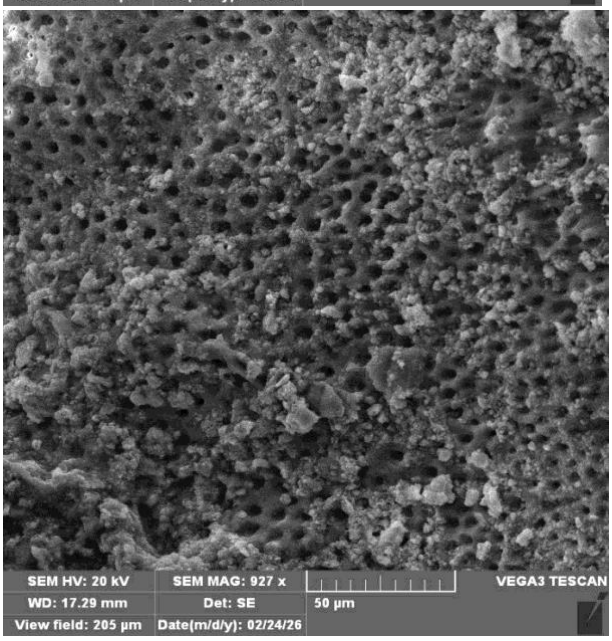
Под Г е апикалниот дел на коренот каде што има сосема мало количество на размачкан слој со отворени дентински тубули.

Репрезентативни слики од група 4
Коронарниот, Средниот, Апикалниот дел на коренот









Дискусија

Научните достигнувања, како и големиот напредок на техниката и технологијата, значајно придонесоа за брзиот развој на ендодонцијата. Таа брзо се прошири и продлабочи, како од биолошки така и од технички аспект. Новите ендодонтски процедури резултираат во подобрување на квалитетот на ендодонтските третмани, па со тоа се зголемени и очекувањата за зачувување на природната дентиција.

Освен механичката препарација на каналите за успешно ендодонтско лекување, клучна улога игра и иригацијата, бидејќи само со механичка инструментација физички се елиминираат бактериите од главниот коренски канал, меѓутоа немаме дејство во латералните или во акцесорните каналчиња, инструментите не можат да ги допрат тие зони па оттука ќе потекнуваат факторите за неуспех на третманот [3,8-9,13,117].

Во литературата, но и во секојдневната практика се применуваат различни ириганси активирани на различни начини за појачување на дејството врз преостанатиот дебрис и размачканиот слој кој се формира за време на механичката обработка на забите. Нивното целосно отстранување е многу значајно, но и мошне проблематично, особено во апикалната третина, а и уште повеќе потенцирано во канали со неправилна конфигурација. Ако остатоците во коренскиот канал не се отстранат во целост, успехот на ендодонтската терапија станува неизвесен.

Цел на нашето испитување беа можностите и начините на дејството на иригансите и хелаторите во однос на отстранувањето на дебрисот и размачканиот слој. Прашањата на кои очекуваме да добиеме одговор се следните: Дали за отстранување на размачканиот слој и преостанатиот дебрис е потребна финална иригација? Дали активацијата го зголемува дејството на иригансите и хелаторите и кој метод на активација е најефективен за отстранување на размачканиот слој?

Направени се многу истражувања, но добиените резултати се многу различни, што остава простор за споделување и на нашите резултати.

Во ова истражување беше анализирана ефикасноста на различни иригациски протоколи во отстранување на преостанатиот дебрис и размачканиот слој од коренските канали, преку SEM-анализа и оценување според Hülsmann скалата. Испитувањето беше насочено кон споредба на

контролен протокол без финална иригација, финална иригација без активација, мануелна динамичка активација и пасивна ултразвучна иригација. Добиените резултати покажаа јасна зависност меѓу начинот на финална иригација и степенот на чистота на дентинските ѕидови, што ја потврдува централната улога на иригациониот протокол во современата ендодонтска терапија [6,43,77].

Основниот наод од оваа студија е дека финалната иригација значително го подобрува отстранувањето на дебрисот и размачканиот слој во споредба со состојбата во која по инструментацијата не се применува дополнителен хемиски и хидродинамички протокол. Контролната група покажа највисоки вредности на Hülsmann скалата во короналната, средната и апикалната третина, што укажува на присуство на дебел размачкан слој, затворени дентински тубули и поголемо количество преостанат материјал на ѕидовите на каналот. Овој резултат е очекуван, бидејќи механичката обработка сама по себе создава дентински струготини и не може целосно да ги евакуира од каналниот систем [43,49,70].

Контролните примероци во ова истражување ја демонстрираа ограниченоста на иригацијата со физиолошки раствор и отсуството на хелаторен протокол. Физиолошкиот раствор може механички да испере дел од лабавите остатоци, но нема способност да раствора органско ткиво, нема значајно антимикробно дејство и не го отстранува неорганскиот дел од размачканиот слој. Затоа, степенот на постигнати резултати во оваа група претставува логична последица од недоволната хемиска активност на применетиот раствор [9,16,45].

Во групата со финална иригација, но без активација беше забележано подобрување во споредба со контролната група, но резултатите сè уште покажуваа значајно присуство на размачкан слој, особено во апикалната третина. Ова укажува дека самото присуство на NaOCl и EDTA не е доволно доколку растворот не се достави, обнови и активира соодветно во целата должина на коренскиот канал. Хемиските својства на иригансите имаат голема важност, но нивниот ефект е ограничен доколку контактот со дентинските ѕидови е недоволен [76,118].

Ограничената ефикасност на конвенционалната иригација може да се објасни со хидродинамичките карактеристики на шприц-игла системот. Кај оваа техника, размената на растворот најчесто се случува во непосредна близина на врвот на иглата, додека апикалниот дел останува најмалку достапен. Boutsioukis и Gutierrez Nova покажуваат дека протокот на иригансот во минимално обликувани канали е зависен од длабочината на внесување на иглата, дизајнот на отворот и големината на каналот. [129] Овие фактори веројатно влијаеле и врз резултатите од ова истражување, особено во примероците каде што апикалната третина останала покриена со размачкан слој [76,80,118].

Дополнителен фактор кој ја намалува ефикасноста на позитивниот притисок при конвенционална иригација е феноменот „vapor lock“. Во апикалната зона може да се формира воздушен меур или затворен простор што

го спречува продирањето и обновувањето на иригансот. Тау и сор. опишуваат дека овој феномен може значително да го намали дебридманот во апикалниот дел, дури и кога се користи игла со страничен отвор.[82] Присуството на затворени дентински тубули и повисоки скорови во апикалните сегменти во нашето истражување може да се поврзе токму со ова ограничување [82-83].

Во однос на начинот на активација и покрај големиот број расположливи активациони техники, ние се одлучивме да примени две кои се најлесно достапни и можат да се применат во секоја ординација.

Мануелната динамичка активација покажа сигнификантно подобри резултати од иригацијата без активација. При оваа техника, брзите вертикални движења на гутаперка-конусот создаваат хидродинамичко поместување на растворот и овозможуваат подобра циркулација во обработениот канал. Таа е едноставна, евтина и клинички лесно применлива техника, што ја прави особено значајна во ординации каде што не е достапна ултразвучна, звучна или ласерска опрема. Добиените резултати укажуваат дека и едноставна механичка агитација може да го зголеми ефектот на финалната иригација. [84-86] Подобрувањето забележано кај мануелната динамичка активација е во согласност со резултатите на Ahuja и сор., кои покажале дека оваа техника може значително да го подобри отстранувањето на размачканиот слој во споредба со неактивирана иригација. [84] Слично, Khare и сор. наведуваат дека мануелната активација може да обезбеди споредливи резултати во одредени сегменти, особено кога се анализира пенетрацијата на растворот во латералните простори.[85] Сепак, оваа техника е зависна од операторот, од адаптацијата на гутаперка-конусот и од интензитетот и траењето на движењата [87].

Иако мануелната динамичка активација беше поефикасна од конвенционалната иригација, таа не обезбеди целосно чистење на сите примероци. Ова ограничување може да се објасни со тоа што движењето на гутаперка-конусот создава помалку интензивен хидродинамички ефект во споредба со ултразвучната активација. Дополнително, при поголема закривеност на каналот и во апикалните нерегуларности, конусот може да не дозволи рамномерно придвижување на иригансот по целата површина. Затоа оваа техника треба да се смета како подобрување во однос на пасивната иригација, но не и како метод со предвидливо целосно отстранување на размачканиот слој [78,86,96].

Најдобри резултати во ова истражување беа добиени кај пасивната ултразвучна иригација. SEM-анализата покажа почисти дентински ѕидови, речиси секогаш отворени дентински тубули и отсуство на преостанат дебрис. Овој резултат може да се објасни со механизмите на акустично струење и кавитација, кои овозможуваат интензивно движење на растворот во каналот. Ултразвучната енергија го зголемува контактот меѓу иригансот и дентинските

ѕидови, ја подобрува размената на течности и ја олеснува дислокацијата на органските и неорганските остатоци [89-90,119].

Предноста на пасивната ултразвучна иригација е особено важна бидејќи инструментот не треба да врши дополнителна препарација на каналот, туку слободно вибрира во иригансот. На тој начин се намалува ризикот од непотребно отстранување на дентин, а се зголемува ефикасноста на растворот. Plotino и сор. нагласуваат дека ултразвукот во ендодонцијата има значајна улога во подобрување на чистењето, особено кога врвот може слободно да осцилира без контакт со ѕидовите. Ова е важно бидејќи контактот со ѕидот може да ја намали амплитудата и да ја компромитира активацијата [98,119].

Резултатите од нашето истражување се во согласност со Barbosa и сор., кои преку систематски преглед и метаанализа покажале дека пасивната ултразвучна иригација е поефикасна од неактивираната иригација во отстранување на остатоци од тврди ткива [120]. Исто така, Curtis и Sedgley покажуваат дека континуираната ултразвучна иригација може да отстрани повеќе дебрис од конвенционалната иригација [121]. Овие наоди го поддржуваат заклучокот дека хидродинамичката активација ја зголемува чистотата на каналниот систем [10,36].

И покрај тоа што пасивната ултразвучна иригација имаше најниски средни вредности, статистичката анализа не покажа значајна разлика помеѓу мануелната динамичка активација и пасивната ултразвучна иригација. Овој резултат не треба да се толкува како целосна еднаквост на методите, туку како можен одраз на бројот на примероци, варијабилноста на каналната анатомија и ограничувањата на скалата за оценување. Клинички, разликата во средните вредности сепак укажува на подобар тренд кај ултразвучната активација, но која не беше статистички докажана [2,96-97].

Кога резултатите се анализираат според третините на каналот, се забележува типична градација на чистење: короналната третина покажа најдобри вредности, тие опаѓаа во средната третина, а апикалната третина беше најтешка за чистење. Оваа распределба е очекувана и е во согласност со анатомските и физичките ограничувања на коренскиот канал. Коронарната третина од каналот е поширок и подостапен и овозможува полесна размена на растворот. Апикалната третина, напротив, е потесна, често поизразено закривен и подложен на задржување на дебрис и воздух [2,76,78].

Апикалната третина има најголемо клиничко значење бидејќи токму таму најчесто се наоѓаат сложени анатомски структури, апикални рамификации и области во кои може да преживее микробниот биофилм. Затоа, фактот што ниту еден протокол не обезбеди целосно чистење на апикалниот дел е важен резултат. Тој укажува дека и најдобрата активациона техника не може целосно да ги надмине биолошките и анатомските ограничувања на коренскиот канален систем. Ова треба да се земе предвид при клиничката интерпретација на резултатите [3,8,78,117].

Наодите добиени при анализа на апикалната третина се совпаѓаат со Khaord и сор., кои покажале дека апикалниот дел останува најпроблематичен регион при отстранување на размачканиот слој, без разлика на применетата техника [78]. Kaur и сор. исто така укажуваат дека различните техники за активација ја подобруваат ефикасноста на финалната иригација, но најголемиот предизвик останува чистењето на апикалните сегменти [2]. Ова ја потврдува потребата од внимателно избран протокол, со доволно апикално обликување, соодветна игла, контролиран проток и активација на растворот [77].

Разликата меѓу дебрисот и размачканиот слој е важна за разбирање на резултатите. Дебрисот претставува акумулација на дентински струготини, органски остатоци и пулпално ткиво, кои можат релативно полесно да се дислоцираат со механичка агитација. Размачканиот слој, пак, е поцврсто прилепен аморфен слој кој ја покрива површината на дентинот и ги затвора отворите на тубулите. Затоа, техника која успешно отстранува дебрис не мора секогаш да обезбеди целосно отстранување на размачканиот слој [4,49,68,70].

Од хемиски аспект, употребата на NaOCl и EDTA има јасна логика. NaOCl има антимикробно и органолитично дејство, додека EDTA дејствува врз неорганската компонента на размачканиот слој преку хелирање на калциумовите јони. Комбинацијата на овие раствори овозможува поширок спектар на дејство отколку употребата на еден ириганс. Сепак, нивната примена мора да биде контролирана, бидејќи директното мешање и продолжената експозиција можат да го намалат ефектот или да доведат до несакани промени на дентинската површина [9,18,43,63].

Во литературата е добро опишано дека EDTA може ефикасно да го отстрани неорганскиот дел од размачканиот слој, но продолжената експозиција може да предизвика ерозија на перитубуларниот и интертубуларниот дентин. Çalt и Serper укажуваат на можноста за ерозивни промени при подолго дејство на хелаторите [50], а Bhandary и сор. покажуваат дека времетраењето и концентрацијата на EDTA можат да влијаат врз отпорноста на коренот [122]. Затоа, во клинички услови не е важно само кој раствор се користи, туку и колку долго, во која концентрација и во каков редослед [122-123].

Клиничкото значење на отстранувањето на размачканиот слој се однесува на неколку аспекти. Прво, со негово отстранување се отвораат дентинските тубули и се овозможува подлабока пенетрација на иригансите и интраканалните медикаменти. Второ, се намалува потенцијалниот резервоар на микроорганизми и токсини. Трето, се подобрува контактот меѓу материјалот за оптурација и дентинските ѕидови. Violich и Chandler нагласуваат дека размачканиот слој може да претставува бариера за дезинфекција и запечатување, што е во согласност со клиничката важност на резултатите од ова истражување [70-71,124].

Сепак, дискусијата за размачканиот слој не треба да се поедностави само на тезата дека тој секогаш мора да биде целосно отстранет. Дел од авторите

сметаат дека неговото присуство може привремено да ги блокира тубулите и да ја намали пропустливоста на дентинот. Но, во инфицирани канали, особено кај некротични пулпи и апикален периодонтитис, задржувањето на органски и бактериски компоненти во размачканиот слој претставува поголем ризик. Затоа, во современата ендодонција преовладува ставот дека контролираното отстранување на овој слој е пожелно пред дефинитивната оптурација [73-74,124-125].

SEM-анализата применета во ова истражување овозможи директна морфолошка визуелизација на дентинските sидови, дентинските тубули и преостанатите наслаги. Предноста на SEM е високата резолуција и можноста за споредба на различни третини на каналот. Ова е особено корисно при оценување на размачканиот слој, кој не може прецизно да се процени со клинички преглед. Преку SEM сликите беше возможно да се потврди дека пониските скорови се поврзани со почисти површини и поотворени дентински тубули [2,43,78].

Сепак, SEM-методологијата има и ограничувања. Таа овозможува анализа на избрани површини, а не на целата тридимензионална структура на коренскиот канал. Дополнително, подготовката на примероците, сечењето, сушењето и обложувањето со злато можат да внесат артефакти. Оценувањето според Hülsmann скалата е широко употребувано, но останува полу-квантитативно и делумно субјективно. Поради тоа, резултатите треба да се толкуваат во комбинација со и со податоците од други методи како микро-КТ, конфокална микроскопија или микробиолошка анализа [43,77,120].

Нашето истражување има и други методолошки ограничувања. Станува збор за in vitro студија, па не може целосно да се репродуцира клиничката состојба во усната празнина. Во реални услови присутни се крв, ткивни течности, протеини, температура, различни видови биофилм и варијабилна анатомија. Исто така, бројот на примероци е релативно ограничен, што може да влијае врз статистичката моќ при споредба на две активирани техники. Овие ограничувања не ја намалуваат вредноста на резултатите, но ја одредуваат рамката во која тие треба да се интерпретираат [6,15,79].

Од практичен аспект, резултатите сугерираат дека конвенционалната иригација не треба да биде единствен метод за финално чистење на коренскиот канал, особено кај заби со сложена анатомија, закривени канали, некротична пулпа или перзистентни периапикални промени. Пасивната ултразвучна иригација покажа најдобар тренд и треба да се разгледува како приоритетна техника кога е достапна. Мануелната динамичка активација, пак, може да биде корисна алтернатива кога нема ултразвучен уред, бидејќи е едноставна, евтина и подобра од неактивирана иригација [10,84,86,120-121].

Важно е да се нагласи дека активирањето на иригансот не го заменува правилното обликување на каналот. Доколку каналот не е доволно проширен, иглата не може безбедно да се постави на соодветна длабочина, а ултразвучниот врв не може слободно да вибрира. Затоа, добриот резултат е последица на

интегриран протокол: коректна работна должина, соодветна коничност, безбедна концентрација на раствори, контролирано време на дејство и финална активација. Овој интегриран пристап е поефикасен од фокусирање само на еден елемент од третманот [6,9,76-77].

Во однос на поставените цели, резултатите покажуваат дека финалната иригација има значајно влијание врз отстранувањето на размачканиот слој и дебрисот; дека активацијата ја подобрува ефикасноста на иригансот; дека мануелната динамичка активација има подобар ефект од конвенционалната иригација; и дека пасивната ултразвучна активација покажува најдобра ефикасност меѓу испитуваните протоколи. Сепак, ниту една техника не обезбеди целосно отстранување на размачканиот слој во сите региони што е особено важно за апикалната третина [2,78,96,120].

Овој последен наод има големо значење за толкување дека ниту еден протокол не може да обезбеди целосно отстранување на дебрисот и размачканиот слој од целиот коренски канал. Резултатите ја поддржуваат оваа претпоставка, бидејќи и покрај значајните разлики меѓу протоколите, целосно чистење на сите примероци не беше постигнато. Од друга страна, статистичката анализа покажа значајни разлики помеѓу протоколите [2,43,78].

Идните истражувања треба да вклучат поголем број примероци, различни типови заби и дополнителни методи за анализа. Комбинацијата на SEM со микро-КТ би овозможила подобро разбирање на тридимензионалното задржување на дебрисот, додека микробиолошките методи би покажале дали морфолошки почистите површини навистина се поврзани со подобра редукција на биофилмот. Дополнително, треба да се споредат ултразвучната, соничната, ласерската активација и негативниот апикален притисок во стандардизирани услови, со посебен фокус на апикалната третина [77,93-94,120].

Врз основа на добиените резултати, може да се заклучи дека активираните техники на финална иригација претставуваат значајно подобрување во однос на конвенционалната иригација. Пасивната ултразвучна иригација покажа најповолен резултат, но мануелната динамичка активација исто така има клиничка вредност. Апикалната третина останува најголем предизвик, што ја потврдува потребата од внимателно планиран, хемиски и хидродинамички балансиран протокол. Затоа, современиот ендодонтски третман треба да го вклучи активирањето на иригансот како важна фаза за подобрување на чистењето, дезинфекцијата и прогнозата на терапијата [6,9,15,77].

Заклучок

Според добиените резултати од испитувањето за овој магистерски труд, можат да се извлечат следните заклучоци:

1. Протоколот за финално иригирање со наизменично испирање со NaOCl и EDTA овозможува отстранување на преостанатиот дебрис и размачканиот слој и отворање на дентинските каналчиња;
2. За успешна иригација потребна е активација на иригансот, па треба да се разгледува како неизоставен дел од современиот ендодонтски третман;
3. Финалната иригација со шприц и игла, но без активација не ги обезбедува очекуваните резултатите, што е особено видливо во апикалната третина;
4. Иако мануелната динамичка активација покажува подобра ефикасност од иригација без активација, сигнификантно подобри резултати се добиваат се употреба на пасивна ултразвучна активација;
5. Мануелната активација сепак претставува корисна, едноставна и економична клиничка алтернатива;
6. Делувањето на иригансите се разликува во различните делови од коренскиот канал;.
7. Коронарната и средната третина се сигнификантно почисти кај групите со активирана финална иригација, но и кај примероците каде беше направена финална иригација без активација беа забележени голем број на отворени дентински тубули;
8. Во апикалната третина од коренскиот канал дејството на иригансите е најсложено и најмалку успешно;
9. Помеѓу групите со активирана финална иригација не се докажа сигнификантна разлика во отстранување на размачканиот слој во апикалниот дел. Во примероците со финална иригација, но без активација, добиениот резултат беше целосно неуспешен и несигнификантно се разликуваше од контролната група, каде беше употребен физиолошки раствор;
10. И покрај подобрената ефикасност на техники за активација на иригансите, ниту еден протокол не обезбеди апсолутно отстранување на размачканиот слој и дебрисот кај испитуваните примероци.

Референции

1. Zou X, Zheng X, Liang Y, et al. Expert Consensus on Irrigation and Intracanal Medication in Root Canal Therapy. Vol. 16. International Journal ofOral Science. Springer Nature; 2024.
2. Kaur M, Singla M, Kaur H, Mittal L, Gupta S, Joseph MM. Comparative evaluation of smear layer removal by using different irrigant activation techniques: An in vitro scanning electron microscopic study. J Conserv Dent Endod. 2024 Mar;27(3):257-261.
3. Nair PN , Henry S , Cano V , et al .Microbial status of apical root canal system of human mandibular first molars with primary apical periodontitis after "one-visit" endodontic treatment[J].Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod,2005,99(2):231-252
4. Khan, Suleman Abbas; Gaidhane, Harshal; Navit, Saumya; Upadhyay, Meenakshi; Pal, Sujeet Shriram; Grover, Nishi. Comparative Evaluation of Pulp Dissolution and Smear Layer Removal Properties of Various Herbal Extracts: An in vitro Study. Advances in Human Biology. 2025 Feb 3. doi:10.4103/aihb.aihb_150_24.
5. Khaidarov A. M., Alyavi M. N., Alieva M. A. Irrigation In Modern Endodontics. World Bulletin of Public Health (WBPH). Volume-32, March 2024
6. Virdee SS, Farnell DJJ, Silva MA, Camilleri J, Cooper PR, Tomson PL. The influence of irrigant activation, concentration and contact time on sodium hypochlorite penetration into root dentine: an ex vivo experiment. Int Endod J. 2020;53(7):986–997
7. Fedorowicz Z, Nasser M, Sequeira-Byron P, de Souza RF, Carter B, Heft M. Irrigants for non-surgical root canal treatment in mature permanent teeth. Cochrane Database of Systematic Reviews 2012, Issue 9. Art. No.: CD008948.
8. Siqueira JF, Junior, Rôças IDN, Marceliano-Alves MF, Pérez AR, Ricucci D. Unprepared root canal surface areas: causes, clinical implications, and therapeutic strategies. Braz Oral Res. 2018;18(32):e65.
9. Zehnder M. Root canal irrigants. J Endod. 2006 May;32(5):389–98.5.
10. Sedgley C. Root canal irrigation--a historical perspective. J Hist Dent. 2004 Jul;52(2):61-5. PMID: 15293717.
11. Gomes BPFA, Aveiro E, Kishen A. Irrigants and irrigation activation systems in Endodontics. Braz Dent J. 2023 Jul-Aug;34(4):1-33.
12. Martinho FC, Chiesa WM, Marinho AC, Zaia AA, Ferraz CC, Almeida JF, et al. Clinical investigation of the efficacy of chemomechanical preparation with rotary

nickel-titanium files for removal of endotoxin from primarily infected root canals. J Endod. 2010;36(11):1766–1769.
13. Wu MK, Wesselink PR. A primary observation on the preparation and obturation of oval canals. Int Endod J 2001 Mar;34(2):137-141.
14. Sirtes G., Waltimo T., Schaetzle M., Zehnder M. The effects of temperature on sodium hypochlorite short-term stability, pulp dissolution capacity, and antimicrobial efficacy. Journal of Endodontics. 2005;31(9):669–671.
15. Gomes B. P. F .A. , Vianna M. E , Zaia A.A, Almeida J.F.A., Souza-Filho F. J, R Ferraz C. C.. Chlorhexidine in endodontics Braz Dent J . 2013;24(2):89-102.
16. Mohammadi Z. Sodium hypochlorite in endodontics: an update review. Int Dent J. 2008 Dec;58(6):329-41.
17. Kim SW, Shin DH. Antibacterial effect of urushiol on E. faecalis as a root canal irrigant. Restor Dent Endod. 2017;42(1):54–59.
18. Estrela C, Estrela CRA, Barbin EL, Spanó JCE, Marchesan MA, Pécora JD. Mechanism of action of sodium hypochlorite. Braz Dent J. 2002;13(2):113-117.
19. Flemming H.C., Wingender J., Szewzyk U., Steinberg P., Rice S.A., Kjelleberg S. Biofilms: An emergent form of bacterial life. Nat. Rev. Microbiol. 2016;14:563–575.
20. Devaraj S., Jagannathan N., Neelakantan P. Antibiofilm efficacy of photoactivated curcumin, triple and double antibiotic paste, 2% chlorhexidine and calcium hydroxide against Enterococcus fecalis in vitro. Sci. Rep. 2016;6:24797
21. Caggianiello G., Kleerebezem M., Spano G. Exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria: From health-promoting benefits to stress tolerance mechanisms. Appl. Microbiol. Biotechnol. 2016;100:3877–3886.
22. Zollinger A, Attin T, Mohn D, Zehnder M. Effects of endodontic irrigants on blood and blood-stained dentin. Heliyon. 2019;5(5)
23. Kandaswamy D, Venkateshbabu N. Root canal irrigants. J Conserv Dent. 2010;13(4):256-264.
24. Dutner J, Mines P, Anderson A. Irrigation trends among American Association of Endodontists members: a web-based survey. Journal of Endodontics. 2012;38(1):37-40.
25. Abu Hasna A, Khoury RD, Toia CC, Gonçalves GB, de Andrade FB, Talge Carvalho CA, Ribeiro Camargo CH, Carneiro Valera M. In vitro Evaluation of the Antimicrobial Effect of N-acetylcysteine and Photodynamic Therapy on Root Canals Infected with Enterococcus faecalis. Iran Endod J. 2020;15:236–245.
26. Çakır A, Şahin TN, Kahveci Ö. Assessing the efficacy of various irrigation solutions in dissolving organic tissue. Sci Rep. 2024 Jun 15;14(1):13861.
27. Stojicic S1, Zivkovic S, Qian W, Zhang H, Haapasalo M. Tissue dissolution by sodium hypochlorite: effect of concentration, temperature, agitation, and surfactant. J Endod. 2010 Sept;36(9):1558-62.
28. Alberto APL, Oliveira DDS, Oliveira HE, Maciel ACC, Belladonna FG, Silva EJNL. Does sodium thiosulphate avoid the formation of the brown-coloured precipitate as an intermediate irrigant between NaOCl and chlorhexidine? Aust Endod J. 2022;48(1):72-76.

29. Wang TF, Feng XW, Gao YX, Wang M, Wang YN, Sa Y, et al. Effects of different concentrations and exposure time of sodium hypochlorite on the structural, compositional and mechanical properties of human dentin. J Huazhong Univ Sci Technolog Med Sci. 2017;37(4):568-576.
30. Clarkson RM, Moule AJ, Podlich HM. The shelf-life of sodium hypochlorite irrigating solutions. Aust Dent J. 2001;46(4):269–276.
31. Gonçalves LS, Rodrigues RC, Andrade CV, Junior, Soares RG, Vettore MV. The Effect of Sodium Hypochlorite and Chlorhexidine as Irrigant Solutions for Root Canal Disinfection: A Systematic Review of Clinical Trials. J Endod. 2016
32. Tanomaru Filho M, Yamashita JC, Leonardo MR, Silva LA, Tanomaru JM, Ito IY. In vivo microbiological evaluation of the effect of biomechanical preparation of root canals using different irrigating solutions. J Appl Oral Sci. 2006 Apr;14(2):105-10.
33. Jeansonne MJ, White RR. A comparison of 2.0% chlorhexidine gluconate and 5.25% sodium hypochlorite as antimicrobial endodontic irrigants. J Endod. 1994 Jun;20(6):276-8.
34. Akisue E, Tomita VS, Gavini G, Figueiredo JAP. Effect of the combination of sodium hypochlorite and chlorhexidine on dentinal permeability and scanning electron microscopy precipitate observation. J Endod. 2010;36(5):847-850.
35. Rosenthal S, Spångberg L, Safavi K. Chlorhexidine substantivity in root canal dentin. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2004;98:488–492.
36. Souza M, Cecchin D, Farina AP, et al. Evaluation of chlorhexidine substantivity on human dentin: a chemical analysis. J Endod 2012;38:1249–1252.
37. Delgado RJ, Gasparoto TH, Sipert CR, Pinheiro CR, Moraes IG, Garcia RB, Bramante CM, Campanelli AP, Bernardineli N. Antimicrobial effects of calcium hydroxide and chlorhexidine on Enterococcus faecalis. J Endod. 2010 Aug;36(8):1389-93.
38. Rahimi S, Janani M, Lotfi M, Shahi S, Aghbali A, Vahid Pakdel M, et al. A review of antibacterial agents in endodontic treatment. Iran Endod J. 2014;9(3):161–168
39. Mortenson D, Sadilek M, Flake NM, Paranjpe A, Heling I, Johnson JD, Cohenca N. The effect of using an alternative irrigant between sodium hypochlorite and chlorhexidine to prevent the formation of para-chloroaniline within the root canal system. Int Endod J. 2012;45(9):878-882.
40. Lessa FC, Aranha AM, Nogueira I, Giro EM, Hebling J, Costa CA. Toxicity of chlorhexidine on odontoblast-like cells. J Appl Oral Sci. 2010 Jan-Feb;18(1):50-8
41. Arabaci T, Türkez H, Canakçi CF, Ozgöz M. Assessment of cytogenetic and cytotoxic effects of chlorhexidine digluconate on cultured human lymphocytes. Acta Odontol Scand 2013;71:1255–1260.
42. Bernardi A, Teixeira CS. The properties of chlorhexidine and undesired effects of its use in endodontics. Quintessence Int. 2015 Jul-Aug;46(7):575-82.
43. Hülsmann M, Heckendorff M, Lennon A. Chelating agents in root canal treatment: mode of action and indications for their use, Int Endod J 36,2003,810).
44. Zhang K, Kim YK, Cadenaro M, Bryan TE, Sidow SJ, Loushine RJ, et al. Effects of different exposure times and concentrations of sodium

hypochlorite/ethylenediaminetetraacetic acid on the structural integrity of mineralized dentin. J Endod. 2010;36(1):105–109.
45. Topbas C, Adiguzel O. Endodontic irrigation solution: a review. Int Dent Res. 2017;7:54–61.
46. Baruwa AO, Martins JNR, Maravic T, Mazzitelli C, Mazzoni A, Ginjeira A. Effect of endodontic irrigating solutions on radicular dentine structure and matrix metalloproteinases-a comprehensive review. Dent J (Basel) 2022;10(12):219.
47. Meryon SD, Tobias RS, Jakeman KJ. Smear removal agents: a quantitative study in vivo and in vitro. J Prosthet Dent. 1987;57(2):174-179.
48. Perez F, Rouqueyrol-Pourcel N. Effect of a low-concentration EDTA solution on root canal walls: A scanning electron microscopic study. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2005;99:383–7.
49. Chandler, N.; Chellappa, D. Lubrication during root canal treatment. Aust. Endod. J. 2019, 45, 106–110.
50. Çalt S, Serper A. Smear layer removal by EGTA. Journal of Endodontics. 2000 Aug 1;26(8):459-61.
51. Shetty N, Mathew T, Shetty A, Hegde MN, Attavar S. Ozonated water as an irrigant in disinfecting root canal systems - a systematic review. Evid Based Dent. 2022. doi:10.1038/s41432-022-0800-7.
52. Estrela C, Estrela CRA, Decurcio DA, Hollanda ACB, Silva JA. Antimicrobial efficacy of ozonated water, gaseous ozone, sodium hypochlorite and chlorhexidine in infected human root canals. Int Endod J. 2007;40(2):85-93. doi:10.1111/j.1365-2591.2006.01185.x.
53. Huth KC, Quirling M, Maier S, Kamereck K, Alkhayer M, Paschos E, et al. Effectiveness of ozone against endodontopathogenic microorganisms in a root canal biofilm model. Int Endod J. 2009;42(1):3-13. doi:10.1111/j.1365-2591.2008.01460.x.
54. Hubbezoglu I, Zan R, Tunc T, Sumer Z. Antibacterial efficacy of aqueous ozone in root canals infected by Enterococcus faecalis. Jundishapur J Microbiol. 2014;7(7):e11411. doi:10.5812/jjm.11411.
55. Nunes IAM, Novais TMG, Garcia PP, Silva WS, Tavarez RRJ, Rizzi CC, Carvalho CN, Maia Filho EMM. Antimicrobial action of ozonated water and photodynamic therapy with sonic activation in root canals infected with Enterococcus faecalis. J Clin Exp Dent. 2022;14(6):e486-e491. doi:10.4317/jced.57909.
56. Pinheiro SL, da Silva CC, da Silva LA, Cicotti MP, Bueno CES, Fontana CE, et al. Antimicrobial efficacy of 2.5% sodium hypochlorite, 2% chlorhexidine, and ozonated water as irrigants in mesiobuccal root canals with severe curvature of mandibular molars. Eur J Dent. 2018;12(1):94-99. doi:10.4103/ejd.ejd_324_17.
57. Marins JS, Sassone LM, Ribeiro DA. Biopure MTAD Induces DNA Damage but Not Cellular Death: An In Vitro Study. Eur J Dent. 2009 Oct;3(4):285-9.
58. Prabhakar J., Senthilkumar M., Priya M.S., Mahalakshmi K., Sehgal P.K., Sukumaran V.G. Evaluation of antimicrobial efficacy of herbal alternatives (Triphala and green tea polyphenols), MTAD, and 5% sodium hypochlorite against Enterococcus faecalis biofilm formed on tooth substrate: An in vitro study. J. Endod. 2010;36:83–86.

59. Tulsani SG, Chikkanarasaiah N, Bethur S. An in vivo comparison of antimicrobial efficacy of sodium hypochlorite and Biopure MTAD™ against enterococcus faecalis in primary teeth: A qPCR study. J Clin Pediatr Dent. 2014 Fall;39(1):30-4.
60. Ordinola-Zapata R., Bramante C.M., Garcia R.B., de Andrade F.B., Bernardineli N., de Moraes I.G., Duarte M.A. The antimicrobial effect of new and conventional endodontic irrigants on intra-orally infected dentin. Acta Odontol. Scand. 2013;71:424–431.
61. De-Deus G, Reis C, Fidel S, Fidel R, Paciornik S. Dentin demineralization when subjected to BioPure MTAD: a longitudinal and quantitative assessment. J Endod. 2007 Nov;33(11):1364-8.
62. Stojicic S, Shen Y, Qian W, Johnson B, Haapasalo M. Antibacterial and smear layer removal ability of a novel irrigant, QMiX. Int Endod J. 2012 Apr;45(4):363-71.
63. Prado M, Santos Junior HM, Rezende CM, et al. Interactions between irrigants commonly used in endodontic practice: a chemical analysis. J Endod. 2013, 39:505-510.
64. Bueso V, Parikh N, Terlier T, Holland JN, Sarmast ND, Jeong JW. Comparative evaluation of intermediate solutions in prevention of brown precipitate formed from sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate. Clin Exp Dent Res. 2022;8(6):1591-1597.
65. Vivacqua-Gomes N., Ferraz C.C., Gomes B.P., Zaia A.A., Teixeira F.B., Souza-Filho F.J. Influence of irrigants on the coronal microleakage of laterally condensed gutta-percha root fillings. Int. Endod. J. 2002;35:791–795.
66. Bui TB, Baumgartner JC, Mitchell JC. Evaluation of the interaction between sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate and its effect on root dentin. J Endod. 2008;34(2):181-185.
67. Keles A, Ors SA, Yilmaz Z. Effect of various solutions on the removal of orange-brown precipitate formed by interaction of sodium hypochlorite and chlorhexidine with or without ultrasonic activation. Niger J Clin Pract. 2020;23(3):381-385.
68. Fachin EV, Scarparo RK, Massoni LI. Influence of smear layer removal on the obturation of root canal ramifications. J Appl Oral Sci. 2009 May-Jun;17(3):240-3.
69. Bennie KR, Owen CP, Botha FS. Smear layer removal ability and antibacterial activity of endodontic irrigants. South African Dental Journal. 2016;71(9):398-401.
70. Violich DR, Chandler NP. The smear layer in endodontics - a review. Int Endod J. 2010 Jan;43(1):2-15.
71. Mello I, Robazza CR, Antoniazzi JH, Coil J. Influence of different volumes of EDTA for final rinse on smear layer removal. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2008;106(5):e40–e43.
72. Clark-Holke D, Drakeb D, Walton R, Riverac E, Guthmillerd JM. Bacterial penetration through canals of endodontically treated teeth in the presence or absence of the smear layer. J Dent, 31: 275-281,
73. Gençoglu N, Sanami S, Gunday M. Dentinal wall adaptation of thermo plasticized gutta-percha in the presence or absence of smear layer: a Scanning electron investigation. J Endod, 1993;19: 558-562,

74. Pashley DH. Smear layer: physiological considerations. Oper Dent. 1984;(Suppl 3):13-29.
75. Емире Читаку. Влијание на протоколите на иригација врз микропропустливоста кај заби оптурирани со различни техники. Докторска дисертација. Стоматолошки факултет, Универзитет Св Кирил и Методиј- Скопје. 2026.
76. Boutsioukis C, Lambrianidis T, Kastrinakis E. Irrigant flow within a prepared root canal using various flow rates. Int Endod J. 2010;43(10):909–916.
77. Kumar, R.S.; Ankola, A.; Peerzade, M.; Sankeshwari, R.; Hampiholi, V.; Khot, A.P.; Shah, M.A. Comparative Efficacy of Different Irrigant Activation Techniques for Irrigant Delivery Up to the Working Length of Mature Permanent Teeth: A Systematic Review and Meta-Analysis. Eur. Endod. J. 2023, 8, 1–19.
78. Khaord P, Amin A, Shah MB, Uthappa R, Raj N, Kachalia T, Kharod H. Effectiveness of different irrigation techniques on smear layer removal in apical thirds of mesial root canals of permanent mandibular first molar: A scanning electron microscopic study. J Conserv Dent. 2015 Jul-Aug;18(4):321-6.
79. Amorim J.S., Rosas C. A. P., Ferreira E. H., Conceição P. Вет et all. Ex vivo study of different final irrigation protocols against mature biofilms in root canal system disinfection", International Journal of Development Research, 11, (11), 52143-52146.
80. Yilmaz, Ayca, Yalcin, Turgut Y., Helvacioglu-Yigit, Dilek, Effectiveness of Various Final Irrigation Techniques on Sealer Penetration in Curved Roots: A Confocal Laser Scanning Microscopy Study, BioMed Research International, 2020, 8060489, 7 pages, 2020.
81. Peters OA, Peters CI, Schönenberger K, Barbakow F. ProTaper rotary root canal preparation. Int Endod J. 2011;44(3):203–211.
82. Agarwal A, Deore RB, Rudagi K, Nanda Z, Baig MO, Fareez MA. Evaluation of Apical Vapor Lock Formation and comparative Evaluation of its Elimination using Three different Techniques: An in vitro Study. J Contemp Dent Pract 2017;18(9):790-794.
83. Tay FR, Gu LS, Schoeffel GJ, Wimmer C, Susin L, Zhang K, Arun SN, Kim J, Looney SW, Pashley DH. Effect of vapor lock on root canal debridement by using a side-vented needle for positive-pressure irrigant delivery. J Endod. 2010 Apr;36(4):745-50.
84. Ahuja P, Nandini S, Ballal S, Velmurugan N. Effectiveness of four different final irrigation activation techniques on smear layer removal in curved root canals : a scanning electron microscopy study. J Dent (Tehran). 2014 Jan;11(1):1-9.
85. Khare M, Suprabha BS, Yadav A, Shenoy R, Boaz K, Rao A. Effectiveness of Ultrasonic and Manual Dynamic Agitation Techniques in Irrigant Penetration: An in vitro Study. World J Dent 2017;8(3):207-212
86. Raducka M, Piszko A, Piszko PJ, Jawor N, Dobrzyński M, Grzebieluch W, Mikulewicz M, Skośkiewicz-Malinowska K. Narrative Review on Methods of Activating Irrigation Liquids for Root Canal Treatment. Applied Sciences. 2023; 13(13):7733.

87. Topçuoğlu, H.S.; Topçuoğlu, G.; Arslan, H. The Effect of Different Irrigation Agitation Techniques on Postoperative Pain in Mandibular Molar Teeth with Symptomatic Irreversible Pulpitis: A Randomized Clinical Trial. J. Endod. 2018, 44, 1451–1456.
88. Souza CC, Bueno CE, Kato AS, Limoeiro AG, Fontana CE, Pelegrine RA. Efficacy of passive ultrasonic irrigation, continuous ultrasonic irrigation versus irrigation with reciprocating activation device in penetration into main and simulated lateral canals. J Conserv Dent. 2019 Mar-Apr;22(2):155-159.
89. Halford A, Ohl CD, Azarpazhooh A, Basrani B, Friedman S, Kishen A. Synergistic effect of microbubble emulsion and sonic or ultrasonic agitation on endodontic biofilm in vitro. J Endod. 2012 Nov;38(11):1530-4.
90. Macedo, R.G.; Verhaagen, B.; Rivas, D.F.; Versluis, M.; Wesselink, P.; Van Der Sluis, L. Cavitation Measurement during Sonic and Ultrasonic Activated Irrigation. J. Endod. 2014, 40, 580–583
91. Karade P, Chopade R, Patil S, Hoshing U, Rao M, Rane N, Chopade A, Kulkarni A. Efficiency of Different Endodontic Irrigation and Activation Systems in Removal of the Smear Layer: A Scanning Electron Microscopy Study. Iran Endod J. 2017 Fall;12(4):414-418.
92. Tan L, Liu Q, Chen Y, Zhao YQ, Zhao J, Dusenge MA, Feng Y, Ye Q, Hu J, Ou-Yang ZY, Zhou YH, Guo Y, Feng YZ. Comparison of sealer penetration of sonic activation versus conventional needle irrigation: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. BMC Oral Health. 2022 Dec 3;22(1):566
93. Liu C, Li Q, Yue L, Zou X. Evaluation of sonic, ultrasonic, and laser irrigation activation systems to eliminate bacteria from the dentinal tubules of the root canal system. J Appl Oral Sci. 2022 Nov 21;30:e20220199.
94. Paixão S, Gomes PS, Fernandes MH, Rodrigues C, Grenho L. Comparative Evaluation of Ultrasonic and Sonic Irrigant Activation Systems: Assessing Extrusion Risk, Debridement, and Biofilm Removal in Distinct Apical Preparation Sizes. Applied Sciences. 2024; 14(9):3904
95. Dadhich S, Srivastava H, Raisingani D, Prasad AB, Vijaywargiya S, Moryani V. Comparative Evaluation of Penetration Depth of Irrigants into Root Dentin after Manual Sonic and Ultrasonic Activation using Dye Penetration Method under Light Microscope: An In Vitro Study. Int J Clin Pediatr Dent. 2023 Nov;16(Suppl 3):253-257.
96. Haupt F, Meinel M, Gunawardana A, Hülsmann M Effectiveness of different activated irrigation techniques on debris and smear layer removal from curved root canals: a SEM evaluation. .Aust Endod J. 2020 Apr;46(1):40-46
97. Wigler R. , Herteanu M , Wilchfort Y. , Kfir A. .Efficacy of Different Irrigant Activation Systems on Debris and Smear Layer Removal: A Scanning Electron Microscopy Evaluation Int J Dent. 2023 Sep 20:2023:9933524.
98. Jiang LM, Verhaagen B, Versluis M, Langedijk J, Wesselink P, van der Sluis LW. The influence of the ultrasonic intensity on the cleaning efficacy of passive ultrasonic irrigation. J Endod. 2011 May;37(5):688-92.

99. De Moor RJG, Meire M, Goharkhay K, Moritz A, Vanobbergen J. Efficacy of ultrasonic versus laser-activated irrigation. Lasers Med Sci. 2010;25(6):775–782.
100. DiVito E, Peters OA, Olivi G. Effectiveness of the Er:YAG laser and PIPS technique. J Endod. 2011;37(7):955–959.
101. George R, Walsh LJ. Laser activation of endodontic irrigants. J Endod. 2012;38(7):865–868.
102. Betancourt P, Merlos A, Sierra JM, Arnabat-Dominguez J, Viñas M.r,Cr:YSGG Laser-Activated Irrigation and Passive Ultrasonic Irrigation: Comparison of Two Strategies for Root Canal Disinfection. Photobiomodul Photomed Laser Surg. 2020;38(2):91–97
103. Abraham S, Vaswani SD, Najan HB, Mehta DL, Kamble AB, Chaudhari SD. Scanning electron microscopic evaluation of smear layer removal at the apical third of root canals using diode laser, endoActivator, and ultrasonics with chitosan: An in vitro study. J Conserv Dent. 2019 Mar-Apr;22(2):149-154
104. DiVito E, Peters OA. Laser-assisted irrigation: review. Int Endod J. 2016;49(6):507–520.
105. Peters, O.A.; Boessler, C.; Zehnder, M. Effect of liquid and paste-type lubricants on torque values during simulated rotary root canal instrumentation. Int. Endod. J. 2005, 38, 223–229.
106. Gu LS, Kim JR, Ling J, Choi KK, Pashley DH, Tay FR. Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. J Endod. 2009;35(6):791–804.
107. Ozdemir H.O., Buzoglu H.D., Calt S., Stabholz A., Steinberg D. Effect of ethylenediaminetetraacetic acid and sodium hypochlorite irrigation on Enterococcus faecalis biofilm colonization in young and old human root canal dentin: In vitro study. J. Endod. 2010;36:842–846.
108. De-Deus G, Reis C, Paciornik S. Critical appraisal of published smear layer-removal studies. J Endod. 2011;37(8):1034–1040.
109. Torabinejad M, Khademi AA, Babagoli J, et al. A new solution for the removal of the smear layer. J Endod. 2011;37(2):249–253.
110. Rossi-Fedele G, Dogramaci EJ, Guastalli AR, Steier L, de Figueiredo JAP. Antagonistic interactions between sodium hypochlorite, chlorhexidine, EDTA, and citric acid. J Endod. 2012;38(4):426-431.
111. Krishnamurthy S, Sudhakaran S. Evaluation and prevention of the precipitate formed on interaction between sodium hypochlorite and chlorhexidine. J Endod. 2010;36(7):1154-1157.
112. Homayouni H, Majd NM, Zohrehei H, Mosavari B, Adel M, Dajmar R, Homayouni A. The effect of root canal irrigation with combination of sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate on the sealing ability of obturation materials. Open Dent J. 2014;8:184-187.
113. Gupta H, Kandaswamy D, Manchanda SK, Shourie S. Evaluation of the sealing ability of two sealers after using chlorhexidine as a final irrigant: an in vitro study. J Conserv Dent. 2013;16(1):75-78.
114. Magro GM, Kuga MC, Victorino KR, Vazquez-Garcia FA, Aranda-Garcia AJ, Faria-Junior NB, Faria G, Shinohara AL. Evaluation of the interaction between sodium

hypochlorite and several formulations containing chlorhexidine and its effect on the radicular dentin: SEM and push-out bond strength analysis. Microsc Res Tech. 2014;77(1):17-22.
115. Guneser MB, Dincer AN, Arslan D. Comparison of conventional syringe, CanalBrush, EndoActivator, photon-induced photoacoustic streaming, and manual instrumentation in removing orange-brown precipitate: an in vitro study. Photomed Laser Surg. 2017;35(6):311-316.
116. Metri M, Hegde S, Dinesh K, Indiresha HN, Nagaraj S, Bhandi SH. Comparative evaluation of two final irrigation techniques for the removal of precipitate formed by the interaction between sodium hypochlorite and chlorhexidine. J Contemp Dent Pract. 2015;16(11):850-853.
117. Ricucci D , Siqueira JF Jr. Fateof the tissue in lateral canals and apical ramifications in response to pathologic conditions and treatment procedures[J].J Endod,2010,36(1):1-15.
118. Generali L, Cavani F, Serena V, Pettenati C, Righi E, Bertoldi C. Effect of Different Irrigation Systems on Sealer Penetration into Dentinal Tubules. J Endod. 2017 Apr;43(4):652-656.
119. Plotino, G.; Pameijer, C.H.; Maria Grande, N.; Somma, F. Ultrasonics in Endodontics: A Review of the Literature. J. Endod. 2007, 33, 81–95.
120. Barbosa AFA, Lima CO, Sassone LM, Fares RD, Fidalgo TKDS, Silva EJNL. Effect of passive ultrasonic irrigation on hard tissue debris removal: a systematic review and meta-analysis. Braz Oral Res. 2021 Dec 6;35:e123.
121. Curtis TO, Sedgley CM. Comparison of a continuous ultrasonic irrigation device and conventional needle irrigation in the removal of root canal debris. J Endod. 2012 Sep;38(9):1261-4.
122. Bhandary S, Kakamari S, Srinivasan R, Chandrappa MM, Nasreen F, Junjanna P. A comparative evaluation of the effect of 8% and 17% ethylenediaminetetraacetic acid exposure for 1 min and 10 min on the fracture resistance of endodontically treated roots: An in vitro study. J Conserv Dent. 2017 Jan-Feb;20(1):21-24.
123. Saito K, Webb TD, Imamura GM, Goodell GG. Effect of shortened irrigation times with 17% ethylene diamine tetra-acetic acid on smear layer removal after rotary canal instrumentation. J Endod. 2008;34:1011–4.
124. Shahravan A, Haghdoost A-A, Rahimi H, Shadifar F. Effect of Smear Layer on Sealing Ability of Canal Obturation: A Systematic Review and Meta-analysis. J Endod 2007., 33 :96-105,
125. Madison S, Krell KV. Comparison of ethylenediamine tetraacetic acid and sodium hypochlorite on the apical seal of endodontically treated teeth. J Endod. 1984;10:499–503.
126. Basrani BR, Manek S, Sodhi RNS, Fillery E, Manzur A. Interaction between sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate. J Endod 2007; 33:966–969.)
127. Bedir SS, Mossa H, Hassan AM. Etidronate as A Weak Chelating Agent on Root Canal Dentin: An Update Review. Journal of Clinical & Diagnostic Research. 2017 Dec 1;11(12).

128. Bertacci A, Baroni C, Breschi L, Venturini M, Prati C. Influence of smear layer in lateral channels filling. Clin Oral Investig. 2007;11:353–359.
129. Boutsioukis C, Gutierrez Nova P. Syringe Irrigation in Minimally Shaped Root Canals Using 3 Endodontic Needles: A Computational Fluid Dynamics Study. J Endod. 2021 Sep;47(9):1487-1495.
130. Clarkson RM, Podlich HM, Moule AJ. Influence of ethylenediaminetetraacetic acid on the active chlorine content of sodium hypochlorite solutions when mixed in various proportions. J Endod 2011;37:538-543
131. Cullen JKT, Wealleans JA, Kirkpatrick TC, Yaccino JM. The effect of 8.25% sodium hypochlorite on dental pulp dissolution and dentin flexural strength and modulus. Journal of Endodontics. 2015;41(6):920-924.
132. Dąbrowska K, Palatyńska-Ulatowska A, Klimek L. How Does Ethylenediaminetetraacetic Acid Irrigation Affect Biodentine? A Multimethod Ex Vivo Study. Materials (Basel). 2024 Mar 7;17(6):1230
133. Drews, D.-J.; Nguyen, A.D.; Diederich, A.; Gernhardt, C.R. The Interaction of Two Widely Used Endodontic Irrigants, Chlorhexidine and Sodium Hypochlorite, and Its Impact on the Disinfection Protocol during Root Canal Treatment. Antibiotics 2023, 12, 589
134. Gašić J. Z., Popović J Z., Barac R. G., Garić N. S., Nikolić M. M., Milenković T. M. Korekcije u protokolu irigacije kanala korena zuba- primum non nocere .Acta Stomatologica Naissi 2013; vol. 29(68): 1289 – 1297.
135. Guo, H. J., Yue, L. & Gao, Y. [Status of bacterial colonization in infected rootcanal]. Beijing Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban 43, 26–28 (2011)
136. Haapasalo M, Orstavik D. In vitro infection and disinfection of dentinal tubules. J Dent Res. 1987 Aug;66(8):1375-9.
137. Herrera DR, Santos ZT, Tay LY, Silva EJ, Loguercio AD, Gomes BP. Efficacy of different final irrigant activation protocols on smear layer removal by EDTA and citric acid. Microsc Res Tech. 2013;76(4):364–369.
138. Mello I, Kammerer BA, Yoshimoto D, Macedo MC, Antoniazzi JH. Influence of final rinse technique on ability of ethylenediaminetetraacetic acid of removing smear layer. J Endod. 2010;36:512–4.
139. Mohammadi Z, Jafarzadeh H, Shalavi S, Palazzi F. Recent Advances in Root Canal Disinfection: A Review. Iran Endod J. 2017;12(4):402–406.
140. Mohammadi Z, Jafarzadeh H, Shalavi S. Antimicrobial efficacy of chlorhexidine as a root canal irrigant: a literature review. J Oral Sci. 2014 Jun;56(2):99-103.
141. Mohammadi Z, Shalavi S.,Jafarzadeh H. Ethylenediaminetetraacetic acid in endodontics.Eur J Dent. 2013 Sep; 7(Suppl 1): S135–S142.
142. Monika A, Maranantan HA, Premadhika Y, Ratih DN, Widyastuti A, Hadriyanto W, Mulyawati E. Evaluation of the Cleanliness and Sealer Penetration of the Root Canal System Following Final Irrigation Using Chelating Agents. Eur Endod J. 2025 Jul;10(4):307-311.
143. Parchami K., Dastorani M., Barati M. What is the impact of Endodontic Irrigant Solutions on the Viability of Stem Cells from Apical Papilla in an in-vitro setting: A Systematic ReviewSaudi Dent J. 2024 Sep; 36(9): 1170–1178.

144. Plazza FA, Dal-Fabbro R, Cosme-Silva L, Duarte PCT, Loureiro C, Custódio VZ, Cintra LTA, Duarte MAH, Gomes-Filho JE. Effectiveness of Passive Ultrasonic Irrigation Protocols in Simulated Complex Root Canal Cavities. Oral. 2023; 3(1):1-10.
145. Rasimick BJ, Nekich M, Hladek MM, Musikant BL, Deutsch AS. Interaction between chlorhexidine digluconate and EDTA. J Endod. 2007 Aug;33(12):1521-3.
146. Ribeiro DA, Scolastici C, De Lima PL, Marques ME, Salvadori DM. Genotoxicity of antimicrobial endodontic compounds by single cell gel (comet) assay in Chinese hamster ovary (CHO) cells. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2005;99:637–640.
147. Tartari T, Bachmann L, Zancan RF, Vivan RR, Duarte MAH, Bramante CM. Analysis of the effects of several decalcifying agents alone and in combination with sodium hypochlorite on the chemical composition of dentine. Int Endod J. 2018 Jan;51 Suppl 1:e42-e54
148. Tartari T, Oda DF, Zancan RF, da Silva TL, de Moraes IG, Duarte MA, Bramante CM. Mixture of alkaline tetrasodium EDTA with sodium hypochlorite promotes in vitro smear layer removal and organic matter dissolution during biomechanical preparation. Int Endod J. 2017 Jan;50(1):106-114.
149. Trevino EG, Patwardhan AN, Henry MA, Perry G, Dybdal-Hargreaves N, Hargreaves KM, Diogenes A. Effect of irrigants on the survival of human stem cells of the apical papilla in a platelet-rich plasma scaffold in human root tips. J Endod. 2011;37(8):1109–1115.
150. Valsan, S., & Antony, S. D. P. (2022). Interaction of endodontic irrigants: Areview. International Journal of Health Sciences, 6(S2), 4282–4294.
151. Villegas JC, Yoshioka T, Kobayashi C, Suda H. Obturation of accessory canals after four different final irrigation regimes. J Endod. 2002 Jul;28(7):534-6.
152. Violich DR, Chandler NP. The smear layer in endodontics – a review. J Endod. 2010;36(3):417–424.
153. Wright P.P., Kahler B., Walsh L.J. Alkaline Sodium Hypochlorite Irrigant and Its Chemical Interactions. Materials. 2017;10:1147.
154. Wu L, Mu Y, Deng X, Zhang S, Zhou D. Comparison of the effect of four decalcifying agents combined with 60°C 3% sodium hypochlorite on smear layer removal. J Endod. 2012 Mar;38(3):381-4
155. Yan H, De Deus G, Kristoffersen IM, Wiig E, Reseland JE, Johnsen GF, Silva EJNL, Haugen HJ. Regenerative Endodontics by Cell Homing: A Review of Recent Clinical trials. J Endod. 2023 Jan;49(1):4-17.
156. Zeng Q, Nguyen S, Zhang H, Chebrolu HP, Alzebdeh D, Badi MA, Kim JR, Ling J, Yang M. Release of Growth Factors into Root Canal by Irrigations in Regenerative Endodontics. J Endod. 2016;42(12):1760–1766.
157. Çalt S, Serper A. Time-dependent effects of EDTA on dentin structures. J Endod. 2002;28(1):17-19.
158. Baumgartner JC, Mader CL. A scanning electron microscopic evaluation of four root canal irrigation regimens. J Endod. 1987;13(4):147-157.
159. Magro MG, Kuga MC, Aranda-Garcia AJ, Victorino KR, Chávez-Andrade GM, Faria G, Keine KC, Só MV. Effectiveness of several solutions to prevent the formation

of precipitate due to the interaction between sodium hypochlorite and chlorhexidine and its effect on bond strength of an epoxy-based sealer. Int Endod J. 2015;48(5):478-483.