

Katsausartikkeli

(Reunapalkin otsikko / pääotsikko :) Kruunupulpotomia lopullisena hoitomuotona pysyvissä hampaissa

(Juokseva otsikko:) Pulpotomia pysyvissä hampaissa

Hyväksytty julkaistavaksi 28.6.2023

Kirjoittajat:

Edita Koronen, erikoistuva HLL¹ (kariologia ja endodontia)

edita.koronen@gmail.com

Leo Tjäderhane, dosentti, EHL (kariologia ja endodontia), professori, tutkimusjohtaja^{1, 2, 3}

¹Helsingin yliopisto

²Suu- ja leukasairauksien osasto, Helsingin yliopisto ja Helsingin yliopistollinen sairaala

³Suun terveyden tutkimusyksikkö, Oulun yliopisto ja Medical Research Center, Oulun yliopistosairaala ja Oulun yliopisto. Helsingin yliopisto, HUS; Oulun yliopisto

Artikkeli perustuu HLL Edita Korosen erikoishammaslääkärikoulutukseen liittyvään tutkielmaan.

Kirjoittajien ilmoittamat sidonnaisuudet: Edita Koronen: sivutoimet (erikoistuva hammaslääkäri Harjun terveys Oy). Leo Tjäderhane: luottamustoimet (Apollonian hallituksen puheenjohtaja).

Pulpotomy in permanent teeth as a definitive treatment modality

Over the last decade, pulp vital treatments have received widespread attention from researchers and clinicians. This review summarizes current research data about pulpotomy in permanent teeth as a definitive treatment modality. Traditionally, pulpotomies were recommended for the treatment of deep caries in immature or deciduous teeth. However, the introduction of new biologically active calcium silicate-based materials has also led to a good clinical outcome of pulpotomy in adult permanent teeth with closed apices.

The European Society of Endodontology (ESE) (2019) and the American Association of Endodontists (AAE) (2021) have recently published recommendations for the treatment of deep caries, where pulpotomy is one of the treatment methods for irreversible pulpitis. The correct procedure technique and asepsis, high quality tooth restoration and adequate follow-ups are the cornerstones of pulpotomy success. This review, based on current research data, will hopefully help clinicians to evaluate the correct indications and contraindications for pulpotomy, and to understand the importance of correct diagnostics, procedure performance and other factors affecting success.

Tiivistelmä

Pulpan vitaalihoidot, kuten vaiheittainen kariotuneen kudoksen poisto, välitön pulpan kattaminen ja osittainen tai kruunupulpotomia, ovat saaneet viime vuosikymmenellä laajalti tutkijoiden ja kliinikoiden huomiota. Tässä katsauksessa kootaan yhteen tutkimustieto pysyvien hampaiden pulpotomiasta lopullisena hoitomuotona. Uusien biokeraamisten materiaalien ansiosta pulpotomia ei enää ole vain avojuuristen ja maitohampaiden hoitomenetelmä, vaan pulpotomian onnistumisprosentti on erittäin korkea myös aikuisten pysyvissä hampaissa. The European Society of Endodontology (ESE) (2019) ja American Association of Endodontists (AAE) (2021) ovat julkaisseet syvän kariuksen hoidon suositukset, joissa pulpotomia on yksi palautumattoman pulpiitin hoitomenetelmistä. Oikea toimenpidetekniikka ja aseptiikka, tiivis restauraatio ja riittävä seuranta

ovat pulpotomian onnistumisen kulmakiviä. Tässä artikkelissa esitetty tutkimustieto toivottavasti auttaa klinikoita arvioimaan pulpotomian oikeita indikaatioita ja kontraindikaatioita, ja ymmärtämään oikean diagnostiikan, toimenpiteen suorittamisen ja muiden onnistumiseen vaikuttavien tekijöiden merkitystä.

Johdanto

Vitaalipulpan hoidot ovat joukko menetelmiä, joiden tavoite on ylläpitää tervettä pulpaa kokonaan tai osittain (1). Niihin kuuluvat osittainen tai vaiheittainen kariksen poisto, pulpan välitön kattaminen, osittainen pulpotomia ja kruunupulpotomia (1). Viimeisen kymmenen vuoden aikana vitaalipulpan hoitotutkimusten määrä on kasvanut räjähdysmäisesti (2). Kansainvälisten ja kansallisten Käypä hoito -suositusten (1, 3, 4) myötä vitaalihoidot elävät uutta renessanssia. Pysyvien hampaiden kruunupulpotomian onnistuminen jopa irreversiibelin pulpiitin tapauksissa (5–7) on mullistanut kliinikoiden ajatuksia pulpan korjausprosessien mahdollisuuksista. Parempi ymmärrys pulpiitin patogeneesistä (8,9) (Taulukko) auttaa täsmentämään pulpiitin diagnostiikkaa (10) ja inspiroi tietyissä indikaatioissa harkitsemaan kruunupulpotomiaa hyvänä vaihtoehtona juurihoidolle.

Pulpiitin patogeneesi ja eteneminen

Taulukko 1. Kariesen aiheuttamat dentiini-pulpan kompleksissa tapahtuvat muutokset:

Ei kariesta	<ul style="list-style-type: none"> • Terve kruunun ja juurten pulpa.
Kiillekaries uloimmassa kolmanneksessa (ei kavitaatiota)	<ul style="list-style-type: none"> • Primaariodontoblastien koon pieneneminen (sytoplaskan suhde tumaan pienenee) (9,11,12). • Subodontoblastinen solurikas kerros muuttuu epäselväksi. • Dentiinissä ei vielä havaittavissa mineralisaation muutoksia (8,11).
Kiillekaries sisäisessä kolmanneksessa (ei kavitaatiota)	<ul style="list-style-type: none"> • Dentiinin hypermineralisaatio. • Muutokset odontoblasti- ja subodontoblastikerroksissa lisääntyvät. • Ei vielä mikrobeja dentiinissä (8,13).
Karies ulottuu kiille-dentiini-rajaa asti (ei kavitaatiota)	<ul style="list-style-type: none"> • Aikaisemmin hypermineralisoituneen dentiinin demineralisaatio. • Reaktiivisen tertiaaridentiinin muodostus alkaa. • Pulpassa ei vielä merkittäviä merkkejä tulehduksesta (8).
Dentiinikaries (kavitaatio) (palautuva pulpiitti)	<ul style="list-style-type: none"> • Demineralisoitunut dentiini paljastuu suun ympäristöön ja infektoituu. Syvemmissä demineralisoituneen dentiinin kerroksessa ei ole mikrobeja, ellei demineralisaatio ulotu pulpaan asti (8). • Pulpan immuunijärjestelmät aktivoituvat: lymfosyyttien, plasmalokujen ja makrofagien lisääntyminen (9). • Lievä tai kohtalainen tulehdussolujen kerääntyminen, runsas hermojen ja laajentuneiden verisuonien määrä ja tertiaaridentiinin muodostus (14).
Syvä karies (palautuva pulpiitti)	<ul style="list-style-type: none"> • Runsaasti kroonisen tulehduksen soluja (makrofaageja, polymorfonukleaarisia neutrofiileja (PMN), B-lymfosyytejä) (8). • Mikrobi-invaasio rajoittuu vielä dentiiniin (15). • Kruunun ja mahdollisesti juurten pulpan verisuonten laajeneminen, alkuperäisten odontoblastien määrän pieneneminen tai niiden häviäminen paikoittain kruunun ja juurten pulpassa (14). • Tertiaaridentiinin muodostus; aktiivisessa syvässä kariesvauriossa ei välttämättä ehdi muodostua, ja mikrobit voivat päästä pulpaan, vaikka röntgenkuvassa karies ei vielä ulotu pulpakavumin alueelle. • Proksimaalisissa syvässä kariesvaurioissa yleensä voimakkaampi tulehdusreaktio purupinnan syvään vaurioon verrattuna (9).
Erittäin syvä karies (useimmiten palautumaton pulpiitti kruunupulpassa ja mahdollisesti juuripulpassa)	<ul style="list-style-type: none"> • Mikrobeja pulpassa. • Runsas tertiaaridentiinimuodostus (9,15). • Runsas tulehdussolujen ja fibroblastien kertyminen. • Paikallinen pulpan nekroosi, mikroabsessien muodostuminen. • Juuripulpa voi olla vielä terve (9,15).

Karies aiheuttaa jo kiillekariesvaiheessa histologisia muutoksia pulpassa, jotka ilmenevät odontoblastien koon ja lukumäärän muutoksina ja dentiinin hypermineralisaationa (9,13). Mikrobit saavuttavat pulpan vasta, kun kariesvaurio on edennyt erittäin syväälle ja läpäisee koko dentiinin

(1,4,14,15). Palautuvassa pulpiitissa pulpassa ei vielä ole mikrobeja (14,15). Palautumattomassa pulpiitissa mikrobit ovat jo voineet edetä pulpaan ja tulehdusreaktio on voimakas, jolloin kruunupulpassa alkaa ilmaantua paikallista nekroosia ja mikroabsesseja (8,11,14). Röntgenkuvassa voidaan jo havaita varhaisia periapikaalimuutoksia, vaikka nekroottinen alue on vielä pieni ja suurin osa kruunupulpaa olisi vain kohtalaisesti tulehtunut (14). Pulpanekroosissa kruunu- ja juuripulpa ovat suurelta osin tai kokonaan nekrotisoituneet, pulpakavumissa ja kanavissa on mikrobikertymiä ja biofilmimuodostusta, ja röntgenkuvassa voidaan havaita selviä apikaalisen parodontiitin merkkejä. Juuren keskikolmanneksessa tai apikaalisesti voi kuitenkin vielä olla elävää pulpakudosta (14).

Pulpotomian hyödyt

Pulpalla on erittäin tärkeä rooli hampaan kehityksessä ja kestävydessä koko elämän ajan. Vitaali hammas on juurihoidettuihin hampaisiin verrattuna vastustuskykyisempi bakteerien dentiinitubuluspenetraatiota vastaan (16). Elävän hampaan ulospäin suuntautuva dentiininesteen virtaus hidastaa mikrobien ja haitallisten ärsykkeiden pääsyä pulpaan ja laimentaa mikrobitoksiineja, ja peritubulaaridentiinin muodostus luo fyysisen esteen mikrobeille (17,18). Odontoblastit ja niiden kaltaisiksi erilaistuneet solut muodostavat tertiaaridentiiniä, joka pienentää dentiinin läpäisevyyttä, lisää jäännösdentiinin paksuutta ja eristää näin pulpaa ärsykkeiltä (18). Odontoblastien ja fibroblastien kalvoreseptorit yhdessä hermojen tuottamien neuropeptidien kanssa laukaisevat tulehdus- ja immuunivasteen, joka on edellytys kudosten korjaamiseen (18). Pulpan verenkierron kautta rekrytoituilla immuunisoluilla on tärkeä rooli mikrobien eliminoinnissa (18).

Tulehtunut pulpa reagoi kivun tunteena monenlaisiin ärsykkeisiin, kuten kylmään, kuumaan, kevyisiin mekaanisiin voimiin, hienovaraisiin lämpö-, osmoottisiin tai

kemiallisiin muutoksiin (18). Kipu on tärkeä varoitussignaali isännälle. Se kuitenkin puuttuu juurihoidetuista hampaista, joiden pienentynyt herkkyys purentavoimille voi johtaa hampaan ylikuormitukseen lisäten myös fraktuurariskiä (19).

Pulpan diagnoosi

Pulpatulehduksen luokittelu perustuu 2013 laadittuun juurihoidon termistöön, jossa pulpiitti luokitellaan palautuvaan ja palautumattomaan pulpiittiin (20). Potilaan subjektiivisten oireiden ja kliinisen tutkimuksen (palpaatio, kylmätestaus, elektroninen pulpan herkkyytestaus (EPT), koputusarkuus, röntgentutkimus) perusteella määritellään pulpan diagnoosi (4). Kuumatestausta ei enää suositella rutiinimaiseen käyttöön (4). Valitettavasti pulpiitin kliiniset oireet ja diagnostiset tutkimukset eivät ole täysin luotettavia, ja palautumattoman pulpiitin kliininen diagnoosi vastaa histologista pulpan tilaa vain 84 % tapauksia, kun palautuvassa pulpiitissa luku on 97 % (21). Palautumattoman pulpiitin määritelmää onkin viime vuosina mietitty uudelleen, sillä ei ole riittävästi näyttöä siitä, että tietyt oireet, niiden luonne ja kesto aina antaisivat luotettavaa tietoa pulpa tulehduksen asteesta (22). Sen vuoksi hoitosuunnitelmaa on oltava valmis muuttamaan hoidon aikana, jos pulpakudoksen tila onkin olennaisesti erilainen kuin oli arvioitu.

Lisäksi palautumattoman pulpiitin diagnoosi ei kerro tulehtuneen pulpan paranemispotentiaalista, ja on enneminkin toimenpide- kuin biologiapohjainen (1). Wolters ym. (10) esittivätkin pulpiitin luokittelua alkavaan, lievään, kohtalaiseen ja voimakkaaseen pulpiittiin, tavoitteenaan ohjata säästävempien hoitolinjojen valintaan (esim. kohtalaisessa pulpiitissa pulpotomia juurihoidon sijaan). Luokittelu ei kuitenkaan huomioi kliinisesti oireettomia pulpiitteja

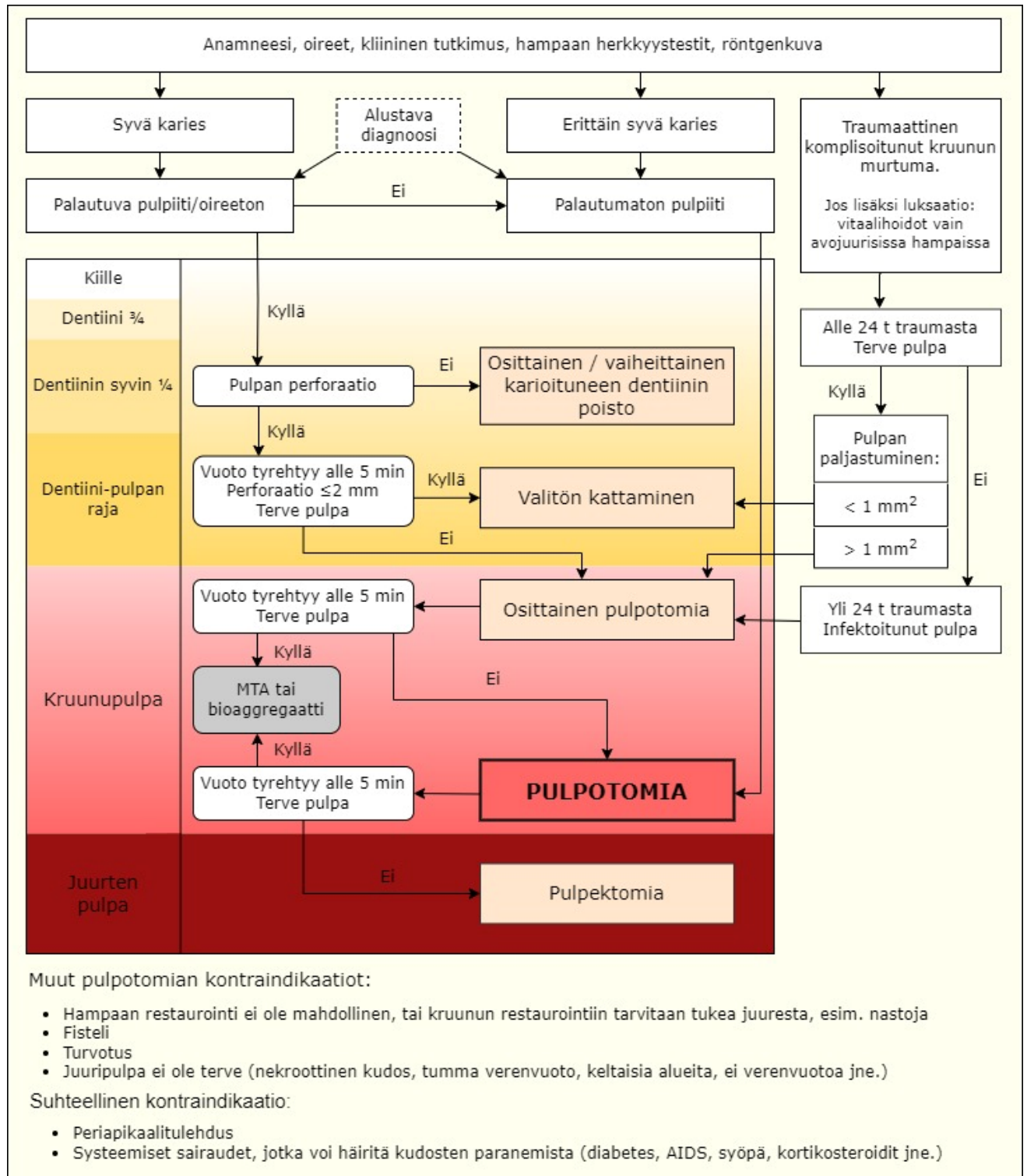
(perinteiset pulpiittiin liittyvät kivun oireet puuttuvat), joita voi olla jopa 40% - 60% palautumattomista pulpiiteista (23, 24).

Kariesvaurion ekskavoinnin yhteydessä paljastuneen pulpakudoksen suora tarkastelu ja tulehdusasteen arviointi korostuvat pulpan vitaalihoidoissa, kun luotettavat diagnoosimenetelmät puuttuvat (1,3). Kliinikon ei pitäisikään päättää toimenpiteestä pelkästään kliinisten oireiden luonteen perusteella.

Pulpotomian indikaatiot / kontraindikaatiot

Pulpotomian indikaatiot ja kontraindikaatiot liittyvät muihin pulpan vitaalihoitoihin, ja pulpotomiaa voi harkita tilanteissa, joissa pulpa on elävä, mutta esimerkiksi kattamisen indikaatiot eivät täyty (Kuva 1).

Kuva 1. Pulpotomian indikaatiot ja kontraindikaatiot.



Useissa tutkimuksissa periapikaalinen tulehdus on ollut pulpotomian kontraindikaatio (25–31).

Kuitenkin osassa tutkimuksia röntgenkuville oli vähäisiä ja joskus jopa merkittäviä

periapikaalialueiden muutoksia, jotka hävisivät pulpotomian jälkeen, eikä muutosten esiintyminen

vaikuttanut tilastollisesti pulpotomian onnistumiseen (5, 6, 32–35). Tulehtunut elävä pulpa (syvien tai erittäin syvien kariesvaurioiden tapauksissa) voi aiheuttaa alustavaa immunologista vastetta periapikaalikudoksissa (6, 36), joten röntgenkuvassa näkyvä periapikaalitulehdus ei välttämättä tarkoita pulpan totaalinekroosia. Näissä tapauksissa pulpan vitaalihoitoa voidaan ensisijaisesti harkita lapsille ja nuorille (34), joiden laajakanavaisten hampaiden juurihoito voi olla teknisesti haastavaa (37, 38), etenkin ko-operaation ollessa puutteellista (39). Bostonin yliopiston retrospektiivisessä kohorttitutkimuksessa selvisi, että jopa 54 % 6–11-vuotiaiden lasten juurihoidetuista hampaista vaati viiden vuoden sisällä lisähoitotoimenpiteitä, kuten poiston, uusintajuurihoidon tai resektion (40). Toisaalta hampaissa, joissa todetaan periapikaalimuutoksia ennen pulpotomiaa, tulee varmistaa että kaikissa kanavissa on tervettä pulpakudosta ja että verenvuoto on hallittavissa.

Pulpotomia toimenpiteenä

Pulpotomia on toimenpide, jossa kruunupulpa poistetaan kokonaan ja korvataan juurihoitomateriaalilla, yleensä hydraulisella kalsiumsilikaatilla (esimerkiksi mineraaltrioksididiaggregatti [MTA] tai muu bioaktiivinen sementti), joka edistää juuripulpan paranemista amputaation rajapinnassa. On tärkeää huolehtia aseptiikasta koko toimenpiteen ajan, jo ennen kariesvaurion poiston aloitusta. Hammas eristetään mielellään kofferdamilla ja desinfioidaan esimerkiksi natriumhypokloriitilla (NaOCl), 70-prosenttisella alkoholilla tai klooriheksidiinillä (1, 41).

Ennen varsinaista pulpotomiaa kariesvaurio poistetaan kokonaan, mikä estää mikrobien pääsyn pulpaan toimenpiteen aikana (1, 3). Kariuksen poiston jälkeen pulpan poiston voi tehdä steriilillä terävällä ekskavaattorilla ja terävällä ruusuporalla (4, 25, 27) tai steriilillä timanttioralla (28, 32, 42,

43) keittosuola- tai vesijähdytyksessä kanavien suulle asti. Tärkeää on, että pulpotomiaan käytettävä pora (erityisesti ruusupora) on hyvin terävä ja jättää siistin haavapinnan, eikä revikudoksia ja vahingossa nosta pulpaa juurikanavista.

Pulpakavumin desinfiointi on yksi tärkeimmistä työvaiheista, sillä infektio on palautumattoman pulpiitin yleisin syy, ja mikrobien pääsyä pulpakavumiin on mahdotonta arvioida kliinisesti (7). Pulpakavum huuhdellaan NaOCl:lla irtonaisen kudoksen ja dentiinisirujen poistamiseksi ja kavumin desinfiointiseksi (1). Verenvuodon tyrehtytys ja pulpan desinfiointi tehdään ensisijaiseksi 0,5 – 5-prosenttiseen natriumhypokloriittiin tai 0,2 – 2-prosenttiseen klorheksidiiniin kosteutetulla steriilillä vanupallolla kevyesti painamalla (1). Natriumhypokloriitti on hyvin tehokas sekä desinfektanttina (4) että hemostaattina, joka ei vaikuta negatiivisesti pulpasolujen rekrytointiin, solujen erilaistumiseen tai kovakudoksen muodostumiseen (3). Joissakin tutkimuksessa myös keittosuolaliuosta on käytetty vanupallon kosteutukseen (27, 28, 42), mutta sillä ei ole desinfektiovaikutusta (1). Rautasulfaattia (FeSO_4) sen sijaan ei kannata käyttää, koska sen voimakas hemostaasivaikutus peittää juuripulpan todellista tulehdusastetta (41).

Pulpotomian onnistumisen edellytys on verenvuodon hallinta (41). Verenvuodon tyrehtyttämiseen käytetty aika vaihtelee eri tutkimuksessa yleensä 2–10 minuuttiin, jopa 25 minuuttiin asti (44). Verenvuodon keston ei ole osoitettu vaikuttavan pulpotomian onnistumiseen (30, 31, 33, 35). Vuotoaikojen vaihtelua voi osittain selittää se, että puudutusaineissa oleva adrenaliini voi vaikuttaa pulpan verenvuotoon, ja näin häiritä pulpan tilan oikeaa arviointia (44). ESE:n (1) ja tuoreen Käypä Hoito -suosituksen (4) mukaan verenvuodon tyrehtymisen aikaraja on 5 minuuttia. Jos verenvuotoa ei saada hallintaan tässä ajassa, tehdään juurihoito (1).

Pulpan kattamiseen suositellaan käytettäväksi kalsiumsilikaatteja (MTA tai muu bioaktiivinen juurihoitosementti) (1, 3, 4). Materiaalin paksuuden tulisi olla noin 3 millimetriä (5, 27–30, 32, 33,

35, 42, 43, 45) ja se kondensoidaan kevyellä voimalla pulpaa vasten. Suuressa osassa tutkimuksia sementti on samalla käynnillä peitetty resiinivahvisteisella lasi-ionomeerilla ja lopullisella restauraatiolla (29, 30, 34, 42, 43, 45, 46). Resiinivahvisteisen lasi-ionomeerin laittamisen ajankohta (15 minuuttia, 2 päivää) ei vaikuta kalsiumsilikaatin kovettumiseen, eikä kalsiumsilikaatin kosteus näytä vaikuttavan lasi-ionomeerin kovettumiseen (47). Kosteaa vanupallo pulpotomian jälkeen onkin tarpeeton, koska MTA saa tarvittavan kosteuden terveestä pulpasta. Pulpotomia on usein päivystystoimenpide, ja lopullista restauraatiota ei välttämättä ehditä tehdä samalla hoitokerralla. Tällöin väliaikaiseksi paikkamateriaaliksi suositellaan kemiallisesti kovettuvaa lasi-ionomeeria (4). Lopullinen restauraatio tulisi tehdä mahdollisimman pian (4).

Pulpotomian materiaalit

Eri tutkimuksissa käytetty pulpakavumin materiaali vaihtelee, mutta eniten on tutkittu MTA:ta. Useissa systemaattisissa katsauksissa ja meta-analyyseissa MTA:n käytön onnistumisprosentti on selkeästi parempi kuin kalsiumhydroksidilla (41, 44, 48–50), vaikka avojuurisissa hampaissa niiden välinen ero on pienempi (51). Sekä MTA:sta että kalsiumhydroksidista vapautuu kalsium- ja hydroksyyli-ioneja ja paikallinen pH:n nousu edistää paranemista, mutta kalsiumhydroksidin ongelmana on sen liukoisuus ja tertiaaridentiinin huokoisuus.

Muita pulpotomiaan sopivia bioaktiivisia sementtejä ovat muun muassa Biodentine® (Septodont, Saint-Maur-des-Fosses Cedex, Ranska), CEM Cement® (kalsiumilla rikastettu sementtiseos: BioniqueDent, Teheran, Iran) ja TotalFill® BC RRM (FKG Dentaire, Le Crêt-du-Loche, Sveitsi) (45, 52). Ainakaan näiden materiaalien välillä ei näyttäisi olevan tilastollisesti merkitsevää eroa onnistumisessa (41, 45, 48, 51, 53). Vaikka tuoreessa satunnaistetussa kontrolloidussa tutkimuksessa havaittiin MTA:n aiheuttamaa värjäytymistä vain noin 6 prosentissa hampaista (45),

etuhampaiden pulpotomiassa suositellaan välttämään perinteisen harmaan MTA:n käyttöä sen vähäisemmän värjäystaipumuksen vuoksi (42). Biodentineä on jossain tutkimuksessa pidetty värjäämistaipumuksen takia turvallisempuna vaihtoehtona etuhampaissa (42, 54), mutta myös se voi veren kanssa kontaktiin joutuessaan aiheuttaa hampaiden värjäytymistä ajan myötä (55). MTA:n ongelmana on myös materiaalin pitkä kovettumisaika. Toisaalta, Biodentinella ei ole niin hyvä röntgenkontrasti kuin MTA:lla, minkä vuoksi sitä voi olla haasteellista havaita röntgenkuvassa (56).

Hampaan restaurointi

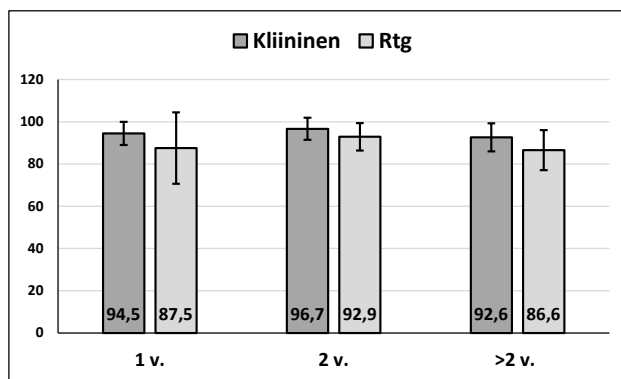
Juurihoidetun hampaan tiiviin, kestävän restauraation merkitys on hyvin dokumentoitu kirjallisuudessa (57), ja hampaan restauraatioiden valinnan suositukset on esitetty sekä ESE:n (58) että Käypä hoito -suosituksissa (4). Vaikka vahvaa näyttöä korjaavan hoidon materiaalien vaikutuksesta pulpotomiahampaiden ennusteeseen ei ole (59), restauraatio yhdistelmämuovilla voi merkitsevästi heikentää ennustetta (60). Lopullinen restaurointi kruunulla tai keraamisella onlay-täytteellä (30, 41, 60) on suositeltu tehtäväksi mahdollisimman pian (41), viimeistään 3–6 kuukaudessa (30).

Pulpotomian ennuste

Pulpotomian onnistuminen irreversiibelissä pulpiitissa vaihtelee eri tutkimuksissa. Onnistuminen on 78–100 %:n välillä tilanteissa, joissa periapikaalialueella ei havaita radiologisia muutoksia ja 66–100 %:n välillä, jos ennen hoitoa otetussa röntgenkuvassa oli todettu muutoksia periapikaalialueella (61). Kliinisesti pulpotomia saattaa onnistua paremmin kuin radiologisesti (kuva

2), mutta ero ei ole iso. Hoitotulos säilyy hyvänä ainakin 3–4 vuoden ajan, ja yleinen onnistumisprosentti on 78–90 % (46, 52).

Kuva 2. Pulpotomian onnistumisprosentti palautumattomissa oireilevissa pulpiitissa täysin kehittyneissä hampaissa 1, 2 ja yli 2 vuoden seurannoissa (44).



Pulpotomia on erityisen toimiva nuorilla aikuisilla tai lapsilla (34, 51, 62) (kuva 3), eikä avojuuristen hampaiden paranemisessa ole havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa pulpakavumin eri täyttömateriaalien (MTA, kalsiumhydroksidi, kalsiumilla rikastettu seos (CEM), verihiutalerikas fibrini (PRF) välillä (63). Pulpotomia on myös tehokas keino saada juuren kehitys jatkumaan ja juuren kärki sulkeutumaan karioituneissa ja traumahampaissa (34, 42, 64, 65). Avojuuristen hampaiden juurten kehityksen jatkumista on havaittu 70–80 %:ssa tapauksista (66).

Tutkimukset pulpotomiaa edeltävän kivun merkityksestä toimenpiteen onnistumiseen ovat ristiriitaisia. Kahdessa 4–5 vuoden seurantatutkimuksessa (30, 67) preoperatiivinen kipu ennusti pulpotomian epäonnistumista, mutta useissa muissa tutkimuksissa preoperatiivinen kipu ei merkittävästi vaikuttanut tähän (35, 50, 68, 69).

Pulpotomian jälkeen muodostunut dentiinisilta on tärkeä merkki onnistumisesta (60). Dentiinisillan muodostumisen arviointia röntgenkuvissa hankaloittaa kuitenkin sen alhaisempi mineralisaatioaste, tai pulpotomiamateriaali voi osittain peittää sitä eri projektioidissa (70).

Useissa tutkimuksissa (5, 25, 31–35) on erikseen arvioitu juurikanavien ahtautumista, sillä ahtautuminen voi huomattavasti hankaloittaa teknisesti juurihoitoa myöhemmin. Ahtautuminen on kuitenkin harvinaista (0–5 %) (5, 25, 31, 32, 35). Yksi tutkimus raportoi 17 %:ssa hampaita osittaista ahtautumista (32). Vain yhdessä retrospektiivisessä tutkimuksessa (33), jossa oli käytetty MTA:ta, kanavien ahtautuminen oli yleisempää (30,1 %). Näihin tuloksiin tulisi suhtautua varovaisesti, koska toistaiseksi tutkimusten seuranta-ajat ovat lyhyitä, vain 1–5 vuotta.

Kariesvaurion sijainti (okklusaalinen vai approksimaalinen) ennen pulpotomiaa ei näytä vaikuttavan ennusteeseen (29, 30). Myöskään kariesvaurion syvyydellä (29, 30, 45), käyntien määrällä (yksi tai kaksi) (60), iällä (30, 45, 59, 60) (kuva 3), sukupuolella (59, 60), tupakoinnilla (60), pulpan verenvuodon kestolla (29–31, 33, 35, 60) ei ole havaittu tilastollisesti merkitsevää vaikutusta toimenpiteen onnistumiseen. Yleissairauksien ja parodontiitin vaikutusta pulpotomian tuloksiin ei toistaiseksi ole tutkittu (59). Eri hampaan tyyppin vaikutusta lopputulokseen on tutkittu rajallisesti (59). Pulpotomian oikeaa syvyyttä saattaa juurikanavamorfologian vuoksi olla vaikeampaa määrittää etuhampaissa kuin molaareissa (59).

Seuranta

ESE:n ja Käypä hoito -suositusten mukaan (1, 4) pulpan vitaalihoitoja tulisi seurata 6:n ja 12:n kuukauden kuluttua, jolloin on otettava myös apikaaliröntgenkuva. Jos pulpotomian tulos on epäselvä tai hammas ei ole täysin oireeton, seuranta on jatkettava säännöllisin väliajoin (vuosittain), tarvittaessa jopa 4 vuotta (1). Pulpotomian kontrolloissa tulee rekisteröidä potilaan subjektiiviset oireet, hampaan väri ja vitaliteetti, parodontologinen tilanne (ientaskut, liikkuvuus, koputusarkuus) sekä restauraation kunto. Onnistuneen pulpotomian jälkeen hampaan ja tukikudosten tulisi olla kliinisesti ja radiologisesti terveitä ja oireettomia (1). Endodonttiset komplikaatiot esiintyvät yleensä kahden vuoden aikana (30), usein 3–6 kuukaudessa (30, 70).

Pitemmän aikavälin komplikaatiot liittyvät yleisemmin restaurointiin (fraktuurat, sekundaarikaries), joten tutkijat suosittelivat koko hampaan peittävää restaurointiota 3–6 kuukauden kuluessa pulpotomiasta, etenkin jos hammaskudosta on menetetty paljon (30, 31).

Pulpotomian seurannassa, kuten kaikissa pulpan vitaalihoidoissa, kannattaa mitata vitaliteetti (1), vaikka sitä ei pidetäkään absoluuttisen luotettavana pulpotomiahampaissa (70), sillä juurikanavien pulpakudos on kaukana ja välissä paksu eristävä pulpotomia ja restoratiivinen materiaalikerros. Tuoreessa retrospektiivisessä tutkimuksessa (71) jopa 95 % pulpotomiahampaista reagoi sähköiseen herkkyyttestiin positiivisesti, kun taas kylmätestaukseen reagoi vain 13 % hampaista. Tätä voi selittää se, että pulpotomian jälkeen kruunupulpan sensorinen vaste dentiininesteen liikkeeseen puuttuu.

Pohdinta

Aikuispotilailla pulpotomia lopullisena hoitomuotona on saavuttanut uudelleen suosiota, kun uusia hydraulisia kalsiumsilikaattimateriaaleja ja luuppeja tai mikroskooppeja on otettu käyttöön. Vuonna 2016 tehdyn kyselyn mukaan vain 1–3 % suomalaisista hammaslääkäreistä käyttäisi pulpotomiaa hoitomuotona palautumattomassa pulpiitissa (72). Vähäinen käyttö saattaa johtua tiedon puutteesta. Onkin toivottavaa, että tuoreiden kansainvälisten ja kansallisen hoitosuosituksen myötä pulpotomian käyttö pulpiitin hoitomuotona lisääntyy Suomessakin.

Pulpotomiaa on tutkittu eniten molaarihampaissa, joiden laadukas juurihoito on edelleen haastava toimenpide (73). Palautumattomassa pulpiitissa pulpotomia voisi olla hyvä vaihtoehto juurihoidolle, sillä sen onnistumisprosentti on samaa luokkaa kuin juurihoidolla (44, 50, 74). Pulpotomia on toimenpiteenä huomattavasti nopeampi ja yksinkertaisempi kuin juurihoito, vaikkakaan todisteita sen kustannustehokkuudesta ei vielä ole (48).

Pulpotomiassa biokeraamisella materiaalilla voidaan saavuttaa yhtä hyvä (75) tai jopa parempi (76) akuutin kivun lievitys kuin juurihoidolla. Toimenpide sopii siis erinomaisesti myös akuutin kivun hoitoon päivystystapauksissa, vaikka kova preoperatiivinen särky voikin olla yksi pulpotomian epäonnistumisriskiä lisäävä tekijä (30).

ESE:n syvän kariuksen hoidon suosituksessa (1) korostetaan hampaan eristystä kofferdamilla ja mahdollisimman aseptisia toimenpiteitä. Hampaan eristyksen tärkeyttä korostaa myöskin tuore tutkimus (77), jossa pulpotomia tehtiin avojuurisiin ensimmäisiin molaareihin (6–8 vuotiaat lapset). Pulpotomiat yleisanestesiassa onnistuivat paremmin kuin paikallispuudutuksessa tehdyt. Tutkijat arvioivat, että lopputulokseen vaikuttivat yleisanestesian paremmin kontrolloidut aseptiset olosuhteet, kun taas paikallispuudutuksessa kofferdamia ei aina voitu käyttää lasten kanssa puutteellisen ko-operaation vuoksi.

Pulpotomian pitkäaikaisvaikutuksista, kuten kanavien obliteraatiosta ja ylipäättään toimenpiteen pitkäaikaisesta ennusteesta, on toistaiseksi vähän tietoa. Seuranta on tehty korkeintaan 4–5 vuoteen asti (30, 48, 50), kun taas juurihoidon tutkimusten seuranta-ajat ovat parhaimmillaan huomattavasti pitempiä. Aikaisemmin pulpotomian komplikaationa pidettyä kanavien obliteraatiota ei yleisesti havaittu (5, 25, 30, 31, 35), eikä sitä enää koeta komplikaationa suurenoksen käytön ja kehittyneiden preparointitekniikoiden helpottaessa ahtaiden kanavien paikallistamista ja preparointia. Pidemmissä pulpotomiaseurannoissa hampaan restaurointi on osoittautunut tärkeäksi (49, 60). Hyväkään pulpotomia ei pelasta tilannetta, jos mikrobeja pääsee pulpatilaan esimerkiksi kariesvaurion tai heikkolaatuisen täytteen vuoksi.

Tulehtuneen pulpan tarkka diagnostiikka on edelleen haaste. Diagnostiikassa kannattaa hyödyntää objektiivisia parametrejä, kuten kariesvaurion syvyyttä (15) ja pulpan väriä (11, 78). Hampaan herkkyytestit ovat informatiivisia, mutta kuvastavat kuitenkin vain potilaan subjektiivisia

tuntemuksia ja mittaavat vain pulpahermojen toimintaa. Kylmätestin herkkyys tunnistaa nekroottinen pulpa on parempi kuin sähköisen herkkyytestauksen (vitalometri), joka taas paremmin tunnistaa elävän pulpan (79). Sähköisestä herkkyytestauksesta ei ole paljon hyötyä palautuvan ja palautumattoman pulpiitin erotusdiagnostiikassa, koska molemmissa tapauksissa pulpa on vielä elävä (80), eikä arvojen perusteella voi luotettavasti arvioida pulpan tulehdusvaihetta (81). Pulpan vitaliteetin ja tulehdusasteen arvioimisessa sekä AAE:n ja ESE:n suositukset että tuore juurihoidon Käypä hoito -suositus korostavat sekä kylmätestin että vitalometrin käyttöä (1, 3), mutta nämäkin ovat vain apukeinoja pulpan tilan arvioinnissa. Pulssioksimetrilla ja Laser Doppler -tekniikoilla on mahdollista saada objektiivista tietoa pulpan verenkierrosta. Valitettavasti molemmissa on vielä useita käytännön rajoitteita ja ongelmia (82–84), eivätkä ne ainakaan toistaiseksi ole laajasti kliinisessä käytössä. Tulevaisuudessa voidaan ehkä hyödyntää myös pulpanäytteiden biomarkkereita kuvaamaan kudoksen tulehdusastetta (85).

Kuvapaneeli. A-C) 15-vuotias tyttö. **A)** D.16 hampaassa oli syvän sekundaarikarieksen vuoksi tehty karieskudoksen vaiheittainen poisto, jonka jälkeen hammas oli alkanut vihloa kylmälle, lisäksi lievää puruarkuutta, ei yösärkyä. **B)** 2 kk kuluttua eskavoinnista röntgenkuvassa periodontaalirako oli laajentunut. Hampaaseen tehtiin pulpotomia kofferdamsuojassa MTA:lla ja samalla käynnillä muovipaikka. **C)** 12 kk seurannassa hammas oireeton, ei koputusarkuutta, reagoi vitalometrille, muttei kylmätestille. Röntgenkuvassa periapikaalisesti terve.

D-F) 15-vuotias tyttö. **D)** D.46 hampaassa on todettu erittäin syvä kariesvaurio. Preoperatiivisesti ajoittaista kylmäarkuutta, ei puruarkuutta. **E)** Voimakkaan hammashoitopelon takia suun kokonaishoito on toteutettu yleisanestesiassa. 1 kk kuluttua ensi käynnistä yleisanestesiassa otettu periapikaalikuva. D.46 tehty pulpotomia MTA:lla, lasi-ionomeerisementtikerros ja pysyvä muovipaikka. **F)** 1,5 v seurannassa hammas täysin oireeton, reagoi vitaliteettitutkimuksiin (kylmään, vitalometrille), ei periapikaalimuutoksia. **G-H)** 16-vuotias poika. **G)** d.17 todettu erittäin syvä karies ja periapikaalialueella mesiaalisen juuren kohdalla radiolusentti muutos. Prooperatiivisesti joskus vihlintaa, ei puruarkuutta. Hoitona pulpotomia MTA:lla kofferdamsuojassa. **H)** 4 kk ja 1 v **(I)** seurannassa hammas on täysin oireeton ja reagoi vitaliteettitutkimuksiin (kylmään, vitalometrille), ei koputusarkuutta. **J-K)** 60-vuotias mies. **J)** D.27 todettu erittäin syvä kariesvaurio. Preoperatiivisesti vihlinta kylmälle, ei puruarkuutta. Hoitona pulpotomia MTA:lla kofferdamsuojassa ja viikon kuluttua pysyvä muovipaikka. **K)** 18 kk seurannan jälkeen oireeton, ei puruarkuutta, ei periapikaalimuutoksia. Ei reagoi kylmätestiin tai vitalometrille, minkä syynä voi olla kanavaobliteraation ja pulpotomian yhteisvaikutus.

Kirjallisuus

1. European Society of Endodontology (ESE) developed by: Duncan HF, Galler KM, Tomson PL, Simon S, El-Karim I. ym. European Society of Endodontology position statement: management of deep caries and the exposed pulp. *Int Endod J* 2019; 52(7): 923–34.
2. Kodonas K, Fardi A, Gogos C, Economides N. Scientometric analysis of vital pulp therapy studies. *Int Endod J* 2021; 54(2): 220–30.
3. Craig S, George B, Johnah CG, Ronald RL, Ove AP, Nikita BR. ym. AAE position statement on vital pulp therapy. *J Endod* 2021; 47(9): 1340–4.
4. Hampaan juurihoito. Käypä hoito -suositus. Suomalaisen Lääkäriseuran Duodecimin ja Suomen Hammaslääkäriseura Apollonia ry:n asettama työryhmä. Helsinki: Suomalainen Lääkäriseura Duodecim; 2022. [www.kaypahoito.fi]. Viitattu 17.12.2022.
5. Asgary S, Eghbal MJ. Treatment outcomes of pulpotomy in permanent molars with irreversible pulpitis using biomaterials: a multi-center randomized controlled trial. *Acta Odontol Scand* 2013; 71(1): 130–6.
6. Tran XV, Ngo LTQ, Boukpepsi T. Biodentine™ full pulpotomy in mature permanent teeth with irreversible pulpitis and apical periodontitis. *Healthcare* 2021; 9(6): 720.
7. Lin LM, Ricucci D, Saoud TM, Sigurdsson A, Kahler B. Vital pulp therapy of mature permanent teeth with irreversible pulpitis from the perspective of pulp biology. *Aust Endod J* 2020; 46(1): 154–66.
8. Bjørndal L. Caries pathology and management in deep stages of lesion formation. Kirjassa: Bjørndal L, Kirkevang LL, Whitworth J (toim.). *Textbook of Endodontology*. 3. painos. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell; 2018. s. 61-78.
9. Bjørndal L, Ricucci D. Pulp Inflammation: from the reversible pulpitis to pulp necrosis during caries progression. Kirjassa: Goldberg M (toim.). *The dental pulp: biology, pathology, and regenerative therapies*. 1. painos. Berlin, Heidelberg: Springer; 2014. s. 125–39.
10. Wolters WJ, Duncan HF, Tomson PL, Karim IE, McKenna G, Dorri M. ym. Minimally invasive endodontics: a new diagnostic system for assessing pulpitis and subsequent treatment needs. *Int Endod J* 2017; 50(9): 825–9.
11. Ricucci D, Siqueira JF, Li Y, Tay FR. Vital pulp therapy: histopathology and histobacteriology-based guidelines to treat teeth with deep caries and pulp exposure. *J Dent* 2019; 86:41–52.
12. Couve E, Osorio R, Schmachtenberg O. The amazing odontoblast: activity, autophagy, and aging. *J Dent Res* 2013; 92(9): 765–72.
13. Bjørndal L. The caries process and its effect on the pulp: the science is changing and so is our understanding. *Pediatr Dent* 2008; 30(3): 192–6.
14. Ricucci D, Siqueira JF, Loghin S, Lin LM. Pulp and apical tissue response to deep caries in immature teeth: a histologic and histobacteriologic study. *J Dent* 2017; 56: 19–32.
15. Demant S, Dabelsteen S, Bjørndal L. A macroscopic and histological analysis of radiographically well-defined deep and extremely deep carious lesions: carious lesion characteristics as indicators of the level of bacterial penetration and pulp response. *Int Endod J* 2021; 54(3): 319–30.

16. Nagaoka S, Miyazaki Y, Liu HJ, Iwamoto Y, Kitano M, Kawagoe M. Bacterial invasion into dentinal tubules of human vital and nonvital teeth. *J Endod* 1995; 21(2): 70–3.
17. Galler KM, Weber M, Korkmaz Y, Widbiller M, Feuerer M. Inflammatory response mechanisms of the dentine–pulp complex and the periapical tissues. *Int J Mol Sci* 2021; 22(3): 1480.
18. Yu C, Abbott PV. An overview of the dental pulp: its functions and responses to injury. *Aust Dent J* 2007; 52(s1): S4-S6.
19. Awawdeh L, Hemaizat K, Al-Omari W. Higher maximal occlusal bite force in endodontically treated teeth versus vital contralateral counterparts. *J Endod* 2017; 43(6): 871–5.
20. American Association of Endodontists. Glossary of Endodontic Terms. 2012. [<https://www.aae.org/specialty/clinical-resources/glossary-endodontic-terms/>]. Päivitetty 2020, viitattu 6.11.2021.
21. Ricucci D, Loghin S, Siqueira JF. Correlation between clinical and histologic pulp diagnoses. *J Endod* 2014; 40(12): 1932–9.
22. Zanini M, Meyer E, Simon S. Pulp inflammation diagnosis from clinical to inflammatory mediators: a systematic review. *J Endod* 2017; 43(7): 1033–51.
23. Michaelson PL, Holland GR. Is pulpitis painful?. *Int Endod J* 2002; 35(10): 829–32.
24. Bender IB. Pulpal pain diagnosis--a review. *J Endod* 2000; 26(3):175-9.
25. Awawdeh L, Al-Qudah A, Hamouri H, Chakra RJ. Outcomes of vital pulp therapy using mineral trioxide aggregate or biodentine: a prospective randomized clinical trial. *J Endod* 2018; 44(11): 1603–9.
26. Alqaderi HE, Al-Mutawa SA, Qudeimat MA. MTA pulpotomy as an alternative to root canal treatment in children’s permanent teeth in a dental public health setting. *J Dent* 2014; 42(11): 1390–5.
27. Keswani D, Pandey RK, Ansari A, Gupta S. Comparative evaluation of platelet-rich fibrin and mineral trioxide aggregate as pulpotomy agents in permanent teeth with incomplete root development: a randomized controlled trial. *J Endod* 2014; 40(5): 599–605.
28. Nosrat A, Seifi A, Asgary S. Pulpotomy in caries-exposed immature permanent molars using calcium-enriched mixture cement or mineral trioxide aggregate: a randomized clinical trial. *Int J Paediatr Dent* 2013; 23(1): 56–63.
29. Rechithra R, Aravind A, Kumar V, Sharma S, Chawla A, Logani A. Influence of occlusal and proximal caries on the outcome of full pulpotomy in permanent mandibular molar teeth with partial irreversible pulpitis: a prospective study. *Int Endod J* 2021; 54(10): 1699–707.
30. Taha NA, Al-Khatib H. 4-Year follow-up of full pulpotomy in symptomatic mature permanent teeth with carious pulp exposure using a stainproof calcium silicate-based material. *J Endod* 2021; 48(1): 87-95.
31. Tan SY, Yu VSH, Lim KC, Tan BCK, Neo CLJ, Shen L. ym. Long-term pulpal and restorative outcomes of pulpotomy in mature permanent teeth. *J Endod* 2020; 46(3): 383–90.
32. Taha NA, Ahmad MB, Ghanim A. Assessment of mineral trioxide aggregate pulpotomy in mature permanent teeth with carious exposures. *Int Endod J* 2017; 50(2): 117–25.
33. Linsuwanont P, Wimonsutthikul K, Pothimoke U, Santiwong B. Treatment outcomes of mineral trioxide aggregate pulpotomy in vital permanent teeth with carious pulp exposure: the retrospective study. *J Endod* 2017; 43(2): 225–30.

34. Taha NA, Abdulkhader SZ. Full pulpotomy with Biodentine in symptomatic young permanent teeth with carious exposure. *J Endod* 2018; 44(6): 932–7.
35. Taha NA, Abdelkhader SZ. Outcome of full pulpotomy using Biodentine in adult patients with symptoms indicative of irreversible pulpitis. *Int Endod J* 2018; 51(8): 819–28.
36. Byers MR, Taylor PE, Khayat BG, Kimberly CL. Effects of injury and inflammation on pulpal and periapical nerves. *J Endod* 1990; 16(2): 78–84.
37. Ridell K, Petersson A, Matsson L, Mejàre I. Periapical status and technical quality of root-filled teeth in Swedish adolescents and young adults. A retrospective study. *Acta Odontol Scand* 2006; 64(2): 104–10.
38. Ballikaya E, Koc N, Avcu N, Cehreli ZC. The quality of root canal treatment and periapical status of permanent teeth in Turkish children and teens: a retrospective CBCT study. *Oral Radiol* 2022; 38(3): 405–15.
39. Clarke P, Jones ADC, Jarad F, Albadri S. Technical outcome of root canal treatment on permanent teeth in children: a retrospective study. *Eur Arch Paediatr Dent* 2015; 16(5): 409–15.
40. Bufersen S, Jones J, Shanmugham J, Hsu TY, Rich S, Ziyab AH. ym. Survival of endodontically treated permanent teeth among children: a retrospective cohort study. *BMC Oral Health* 2021; 21(1): 589.
41. Zanini M, Hennequin M, Cousson PY. Which procedures and materials could be applied for full pulpotomy in permanent mature teeth? A systematic review. *Acta Odontol Scand* 2019; 77(7): 541–51.
42. Abuelniel GM, Duggal MS, Kabel N. A comparison of MTA and Biodentine as medicaments for pulpotomy in traumatized anterior immature permanent teeth: A randomized clinical trial. *Dent Traumatol* 2020; 36(4): 400–10.
43. Rao Q, Kuang J, Mao C, Dai J, Hu L, Lei Z. ym. Comparison of iRoot BP Plus and calcium hydroxide as pulpotomy materials in permanent incisors with complicated crown fractures: a retrospective study. *J Endod* 2020; 46(3): 352–7.
44. Santos JM, Pereira JF, Marques A, Sequeira DB, Friedman S. Vital pulp therapy in permanent mature posterior teeth with symptomatic irreversible pulpitis: a systematic review of treatment outcomes. *Medicina* 2021; 57(6): 573.
45. Taha NA, Al-Rawash MH, Imran ZA. Outcome of full pulpotomy in mature permanent molars using 3 calcium silicate-based materials: A parallel, double blind, randomized controlled trial. *Int Endod J* 2022; 55(5): 416–29.
46. Taha NA, Abdulkhader SZ. Full pulpotomy with biodentine in symptomatic young permanent teeth with carious exposure. *J Endod* 2018; 44(6): 932–7.
47. Fristad I, Berggreen E. Structure and functions of the dentin-pulp complex. Kirjassa: Hargreaves KM, Cohen S (toim.). *Cohen’s pathways of the pulp*. 12. painos. St. Louis, Missouri: Elsevier; 2021. s. 511-56.
48. Li Y, Sui B, Dahl C, Bergeron B, Shipman P, Niu L. ym. Pulpotomy for carious pulp exposures in permanent teeth: A systematic review and meta-analysis. *J Dent* 2019; 84: 1–8.
49. Alqaderi H, Lee CT, Borzangy S, Pagonis TC. Coronal pulpotomy for cariously exposed permanent posterior teeth with closed apices: a systematic review and meta-analysis. *J Dent* 2016; 44: 1–7.
50. Cushley S, Duncan HF, Lappin MJ, Tomson PL, Lundy FT, Cooper P. ym. Pulpotomy for mature carious teeth with symptoms of irreversible pulpitis: a systematic review. *J Dent* 2019; 88: 103158.

51. Chen Y, Chen X, Zhang Y, Zhou F, Deng J, Zou J. ym. Materials for pulpotomy in immature permanent teeth: a systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health* 2019; 19(1): 227.
52. Pairokh M, Torabinejad M, Dummer PMH. Mineral trioxide aggregate and other bioactive endodontic cements: an updated overview - part I: vital pulp therapy. *Int Endod J* 2018; 51(2): 177–205.
53. Noor Mohamed R, Basha S, Al-Thomali Y. Efficacy of platelet concentrates in pulpotomy - a systematic review. *Platelets* 2018; 29(5): 440–5.
54. Taha NA, Hamdan AM, Al-Hiyasat AS. Coronal discoloration induced by calcium silicate-based cements used in full pulpotomy in mature permanent molars: a randomized clinical trial. *Clin Oral Invest* 2023; 27(4): 1723–30.
55. Slaboseviciute M, Vasiliauskaite N, Drukteinis S, Martens L, Rajasekharan S. Discoloration Potential of Biodentine: A Systematic Review. *Materials* 2021; 14(22): 6861.
56. Rajasekharan S, Martens LC, Cauwels RGE, Anthonappa RP. Biodentine™ material characteristics and clinical applications: a 3 year literature review and update. *Eur Arch Paediatr Dent* 2018; 19(1): 1–22.
57. Gillen BM, Looney SW, Gu LS, Loushine BA, Weller RN, Loushine RJ. ym. Impact of the quality of coronal restoration versus the quality of root canal fillings on success of root canal treatment: a systematic review and meta-analysis. *J Endod* 2011; 37(7): 895–902.
58. Mannocci F, Bhuvu B, Roig M, Zarow M, Bitter K. European Society of Endodontology position statement: The restoration of root filled teeth. *Int Endod J* 2021; 54(11): 1974–81.
59. Duncan HF, El-Karim I, Dummer PMH, Whitworth J, Nagendrababu V. Factors that influence the outcome of pulpotomy in permanent teeth. *Int Endod J* 2022; 00: 1– 20.
60. Kunert GG, Kunert IR, da Costa Filho LC, de Figueiredo JAP. Permanent teeth pulpotomy survival analysis: retrospective follow-up. *J Dent* 2015; 43(9): 1125–31.
61. Yong D, Cathro P. Conservative pulp therapy in the management of reversible and irreversible pulpitis. *Aust Dent J* 2021; 66 (S1): S4–S14.
62. Taylor GD, Vernazza CR, Abdulmohsen B. Success of endodontic management of compromised first permanent molars in children: a systematic review. *Int J Paediatr Dent* 2020; 30(3): 370–80.
63. Chen Y, Chen X, Zhang Y, Zhou F, Deng J, Zou J. ym. Materials for pulpotomy in immature permanent teeth: a systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health* 2019; 19(1): 227.
64. Nosrat A, Seifi A, Asgary S. Pulpotomy in caries-exposed immature permanent molars using calcium-enriched mixture cement or mineral trioxide aggregate: a randomized clinical trial. *Int J Paediatr Dent* 2013; 23(1): 56–63.
65. Haikal L, Ferraz Dos Santos B, Vu DD, Braniste M, Dabbagh B. biodentine pulpotomies on permanent traumatized teeth with complicated crown fractures. *J Endod* 2020; 46(9): 1204–9.
66. Sabeti M, Huang Y, Chung YJ, Azarpazhooh A. Prognosis of vital pulp therapy on permanent dentition: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *J Endod* 2021; 47(11): 1683–95.
67. Linas N, Decerle N, Munoz-Sanchez ML, Faulks D, Collado V, Nicolas E. ym. Long-term outcomes of full pulpotomy in permanent molars for patients treated in a single, short session under special conditions. *J Endod* 2020; 46(11) 1597-1604.

68. Sadaf D. Success of coronal pulpotomy in permanent teeth with irreversible pulpitis: an evidence-based review. *Cureus* 2020; 12(1): e6747.
69. Asgary S, Eghbal MJ, Fazlyab M, Baghban AA, Ghoddusi J. Five-year results of vital pulp therapy in permanent molars with irreversible pulpitis: a non-inferiority multicenter randomized clinical trial. *Clin Oral Investig* 2015; 19(2): 335–41.
70. Zanini M, Hennequin M, Cousson PY. A review of criteria for the evaluation of pulpotomy outcomes in mature permanent teeth. *J Endod* 2016; 42(8): 1167–74.
71. Aravind A, R R, Sharma R, Rana A, Sharma S, Kumar V. ym. Response to pulp sensibility tests after full pulpotomy in permanent mandibular teeth with symptomatic irreversible pulpitis: a retrospective data analysis. *J Endod* 2021; 48(1): 80–86.
72. Croft K, Kervanto-Seppälä S, Stangvaltaite L, Kerosuo E. Management of deep carious lesions and pulps exposed during carious tissue removal in adults: a questionnaire study among dentists in Finland. *Clin Oral Investig* 2019; 23(3): 1271–80.
73. Laukkanen E, Vehkalahti MM, Kotiranta AK. Radiographic outcome of root canal treatment in general dental practice: tooth type and quality of root filling as prognostic factors. *Acta Odontol Scand* 2021; 79(1): 37–42.
74. Asgary S, Eghbal MJ, Shahravan A, Saberi E, Baghban AA, Parhizkar A. Outcomes of root canal therapy or full pulpotomy using two endodontic biomaterials in mature permanent teeth: a randomized controlled trial. *Clin Oral Investig* 2021; 26, 3287–97.
75. Eghbal MJ, Haeri A, Shahravan A, Kazemi A, Moazami F, Mozayeni MA. ym. Postendodontic pain after pulpotomy or root canal treatment in mature teeth with carious pulp exposure: a multicenter randomized controlled trial. *Pain Res Manag* 2020; 2020: 5853412.
76. Galani M, Tewari S, Sangwan P, Mittal S, Kumar V, Duhan J. Comparative evaluation of postoperative pain and success rate after pulpotomy and root canal treatment in cariously exposed mature permanent molars: a randomized controlled trial. *J Endod* 2017; 43(12): 1953–62.
77. Vafaei A, Nikookhesal M, Erfanparast L, Løvschall H, Ranjkesh B. Vital pulp therapy following pulpotomy in immature first permanent molars with deep caries using novel fast-setting calcium silicate cement: A retrospective clinical study. *Dent J* 2022; 116:103890.
78. Aminabadi NA, Parto M, Emamverdizadeh P, Jamali Z, Shirazi S. Pulp bleeding color is an indicator of clinical and histohematologic status of primary teeth. *Clin Oral Investig* 2017; 21(5): 1831–41.
79. Mainkar A, Kim SG. Diagnostic accuracy of 5 dental pulp tests: a systematic review and meta-analysis. *J Endod* 2018; 44(5): 694–702.
80. Jafarzadeh H, Abbott PV. Review of pulp sensibility tests. Part I: general information and thermal tests. *Int Endod J* 2010; 43(9): 738–62.
81. Sui H, Lv Y, Xiao M, Zhou L, Qiao F, Zheng J. ym. Relationship between the difference in electric pulp test values and the diagnostic type of pulpitis. *BMC Oral Health*. 2021; 21(1): 339.
82. Mejåre IA, Axelsson S, Davidson T, Frisk F, Hakeberg M, Kvist T. ym. Diagnosis of the condition of the dental pulp: a systematic review. *Int Endod J* 2012; 45(7): 597–613.
83. Jafarzadeh H. Laser Doppler flowmetry in endodontics: a review. *Int Endod J* 2009; 42(6): 476–90.

84. Setzer FC, Kataoka SHH, Natrielli F, Gondim-Junior E, Caldeira CL. Clinical diagnosis of pulp inflammation based on pulp oxygenation rates measured by pulse oximetry. *J Endod* 2012; 38(7): 880–3.
85. Brizuela C, Meza G, Mercadé M, Inostroza C, Chaparro A, Bravo I. ym. Inflammatory biomarkers in dentinal fluid as an approach to molecular diagnostics in pulpitis. *Int Endod J* 2020; 53(9): 1181–91.