

Jascha Krasniansky

Materiais para Proteção/Regeneração do Complexo Dentino-Pulpar: Revisão narrativa

Universidade Fernando Pessoa

Faculdade de Ciências de Saúde

Porto, 2022



Jascha Krasniansky

Materiais para Proteção/Regeneração do Complexo Dentino-Pulpar: Revisão narrativa

Universidade Fernando Pessoa

Faculdade de Ciências de Saúde

Porto, 2022

Jascha Krasniansky

Materiais para Proteção/Regeneração do Complexo Dentino-Pulpar: Revisão narrativa

Dissertação apresentada à Universidade Fernando Pessoa

como parte dos requisitos para obtenção do grau de

Mestre em Medicina Dentária.

---

Jascha Krasniansky

## RESUMO

A cárie dentária é uma doença multifatorial, que afeta grande parte da população. Dependendo de vários fatores, a lesão de cárie pode estender-se para o complexo dentino-pulpar, permitindo assim a infiltração bacteriana e gerando uma resposta inflamatória do mesmo.

Hoje em dia, a preservação da vitalidade pulpar é a principal preocupação do médico dentista. Assim, deve optar-se por uma abordagem mais conservadora através de técnicas de recobrimento pulpar, que protegem e promovem a regeneração do complexo dentino pulpar.

O objetivo desta revisão trabalho foi averiguar as soluções e técnicas disponíveis para a proteção e regeneração do complexo dentino-pulpar de modo a evitar o tratamento endodôntico e preservar a vitalidade pulpar. Foi realizada uma pesquisa bibliográfica nas bases de dados *PubMed*, *B-on*, *Elsevier*, *Science Direct*, e estabelecidos critérios de inclusão e exclusão para a seleção dos artigos.

**Palavras-chave:** “Recobrimento pulpar indireto”; “Recobrimento pulpar direto”, “MTA”, “BIODENTINE”; “Hidróxido de cálcio”

## **ABSTRACT**

Dental caries is a multifactorial disease that affects a large part of the population. Depending on several factors, the carious lesion in the enamel may extend to the pulp-dentin complex, allowing bacterial infiltration and generating an inflammatory response.

Nowadays, the preservation of pulp vitality is the main concern of the dentist. Thus, a more conservative approach should be chosen through pulp covering techniques, which protect and promote the regeneration of the pulp-dentin complex.

The objective of this narrative review was to find out what solutions and techniques are available for the protection and regeneration of the pulp-dentin complex in order to avoid root canal treatment and preserve pulp vitality. For its realization, a bibliographic search was carried out in the databases PubMed, B-on, Elsevier, Science Direct. Inclusion and exclusion criteria were established for the selection of articles.

**Keywords:** “Indirect pulp capping”, “direct pulp capping”, “MTA”, “BIODENTINE”, “calcium hydroxide”

## **AGRADECIMENTOS**

Antes de mais, gostaria de agradecer à minha Orientadora, Professora Susana Coelho, pela confiança que depositou em mim ao concordar em supervisionar este trabalho, pelos seus conselhos judiciosos e por todas as horas que dedicou à direção desta revisão narrativa.

Aos meus família , pelo seu constante apoio e encorajamento. Sempre me ensinaram a seguir os meus sonhos e a nunca desistir.

# ÍNDICE

RESUMO .....	v
ABSTRACT .....	vi
AGRADECIMENTOS .....	vii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	x
I. INTRODUÇÃO .....	1
1. Materiais e métodos .....	2
II. DESENVOLVIMENTO .....	2
1. O complexo dentino-pulpar .....	2
i. Fatores etiológicos da agressão ao complexo dentino-pulpar .....	3
ii. Mecanismo de defesa do complexo e vitalidade pulpar .....	4
2. Abordagem das lesões de cárie .....	4
i. Atraumatic restorative treatment .....	4
ii. Stepwise excavation .....	5
3. Materiais e protocolos de proteção/regeneração .....	6
i. Materiais de proteção/regeneração pulpar .....	6
a. Hidróxido de cálcio .....	6
b. Cimento de ionómero de vidro convencional e cimentos de ionómero de vidro modificado por resina .....	6
c. Mineral trioxide aggregate .....	7
d. Biodentine™ .....	8

ii. Técnicas de proteção/regeneração .....	9
a. Apexogénese.....	9
b. Apicoformação .....	9
c. Recobrimento pulpar .....	10
d. Pulpotomia parcial / pulpotomia Cvek.....	11
e. Pulpotomia total.....	12
III. DISCUSSÃO.....	13
IV. CONCLUSÃO .....	15
V. BIBLIOGRAFIA.....	16

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>AAE</b>	Associação Americana de Endodontistas
<b>AAO</b>	Associação Americana de Odontopediatria
<b>ART</b>	<i>Atraumatic restorative treatment</i>
<b>BD</b>	<i>Biodentine<sup>TM</sup></i>
<b>CDP</b>	Complexo dentino-pulpar
<b>CIV</b>	Cimento de ionómero de vidro convencional
<b>CIVMR</b>	Cimentos de ionómero de vidro modificado por resina
<b>FGF-2</b>	Fatores de crescimento
<b>GMTA</b>	<i>Gray mineral trioxide aggregate</i>
<b>HC</b>	Hidróxido de cálcio
<b>HEMA</b>	<i>2-hydroxyethyl methacrylate</i>
<b>IRM</b>	<i>Intermediate Restorative Material</i>
<b>MID</b>	<i>Minimal intervention dentistry</i>
<b>mm</b>	Milímetro
<b>MPa</b>	Megapascal
<b>MTA</b>	<i>Mineral trioxide aggregate</i>
<b>NaOCl</b>	Hipoclorito de sódio
<b>OZE</b>	Cimento de oxido de zinco e eugenol
<b>pH</b>	Potencial de hidrogénio

<b>RP</b>	Recobrimento pulpar
<b>RPD</b>	Recobrimento pulpar direto
<b>RPI</b>	Recobrimento pulpar indireto
<b>TE</b>	Tratamento endodôntico
<b>VTP</b>	Terapia vital pulpar
<b>WMTA</b>	<i>White mineral trioxide aggregate</i>

## I. INTRODUÇÃO

Na sua prática diária, o médico dentista é confrontado quase diariamente com a cárie dentária. No passado, o tratamento endodôntico (TE) era considerado como a única opção para salvar o dente durante a exposição pulpar, porque se pensava que, uma vez exposta, a polpa não teria a possibilidade de se regenerar (Matsuura *et al.*, 2021). Mas hoje em dia sabe-se que, os dentes desvitalizados apresentam uma resistência protetora às forças de mastigação menor do que os dentes vitais e requerem 2,5 vezes mais de força para registrar uma resposta proprioceptiva (Stanley, 1989). A taxa de sobrevivência também é menor em dente com tratamento endodôntico em comparação com dentes que possuem polpa saudável e vital (Ghoddusi, Forghani and Parisay, 2013). Sabe-se também que a polpa é naturalmente dotada de um potencial natural de regeneração pulpar que levará à formação de dentina (Komabayashi *et al.*, 2016; Paula *et al.*, 2018).

Em 1989, Stanley descobriu as capacidades regenerativas da polpa até então desconhecidas. Na verdade, ele sugeriu preservar o tecido pulpar do dente durante vários tratamentos, exceto quando havia sinais de pulpíte irreversível (Matsuura *et al.*, 2021). Então a preservação da vitalidade pulpar deve ser a maior preocupação do médico dentista nas situações em que o complexo dentinário pulpar (CDP) é afetado. Se o tecido pulpar estiver exposto, um recobrimento pulpar direto (RPD) é uma opção conservadora. O “Gold Standard” nessa situação é o hidróxido de cálcio (HC) (Komabayashi *et al.*, 2016). No entanto, foi necessário esperar até a metade do XX antes de ser considerado com material de eleição (Dammachke, 2008; Li *et al.*, 2015). Foram realizadas pesquisas sobre o hidróxido de cálcio, que também revelou ter limitações. Mas toda essa pesquisa avançou e evoluiu favoravelmente na direção certa (Cox *et al.*, 1996; Modena *et al.*, 2009). O desenvolvimento de novos materiais, como o MTA (*Mineral Trioxide Aggregate*) ou, a Biodentina, tem tido muito sucesso e permite dar respostas reais às novas exigências de saúde (Ford *et al.*, 1996). De acordo com a medicina dentária minimamente invasiva (Ghoddusi, Forghani and Parisay, 2013), a terapia vital pulpar (VTP) é definida como um tratamento que preserva e mantém um estado saudável do tecido pulpar, eliminando o tecido infetado e promovendo a formação de uma barreira mineralizada (Brizuela *et al.*, 2017). Com a presente revisão bibliográfica, e com base na literatura existente, pretende-se estudar as propriedades bioativas dos materiais de proteção e regeneração do complexo dentino-pulpar em caso de agressão, bem como as suas vantagens e desvantagens.

## **1. Materiais e métodos**

Realizou-se uma revisão narrativa da literatura apropriada à atualização do conhecimento nesta temática, evidenciando as perspectivas científicas mais recentes. Procedeu-se ao levantamento de artigos nas bases de dados *PubMed*, *Elsevier*, *Science Direct*, considerando os últimos 20 anos de publicação (2002 a 2022, com as seguintes palavras-chave: “Recobrimento pulpar direto”, “Recobrimento pulpar indireto”, “Biodentine”, “MTA” e “hidróxido de cálcio”. Foram também usados artigos mais antigos para enquadramento histórico. Os critérios utilizados para inclusão das publicações foram (a) presença dos descritores utilizados na busca no título ou resumo; (b) artigos publicados em língua portuguesa, francesa, ou inglesa, (c) artigos de acesso livre. Os critérios de exclusão foram (a) duplicidade de artigos; (b) artigos cujo conteúdo integral não atendiam ao tema proposto; (c) artigos com textos não disponibilizados. Para analisar a produção científica identificada, não se utilizaram técnicas qualitativas e quantitativas de tratamento de dados, tendo sido feita a análise de cada um dos textos individualmente. Assim sendo, dos 120 artigos encontrados, foram selecionados 92 artigos para a realização deste trabalho.

## **II. DESENVOLVIMENTO**

### **1. O complexo dentino-pulpar**

O dente é formado por diferentes tecidos mineralizados: esmalte, dentina e cimento, e um tecido conjuntivo não mineralizado: a polpa dentária (Hargreaves and Cohen, 2011). Diretamente abaixo do esmalte está a dentina. A dentina é composta por 70% de cristais de hidroxiapatita, 20% de matéria orgânica e 10% de água, e fatores de crescimento para a formação e regeneração da dentina. Ao contrário do esmalte, a dentina será produzida ao longo da vida e sua formação, em caso de ataque, é possível e representa um meio de defesa. A nível coronal, a dentina suporta o esmalte evitando que se fratura graças à sua composição orgânica e à presença de água que lhe confere uma certa elasticidade. (Berkovitz, Holland and Moxham, 2017; Elmsmari *et al.*, 2019).

A polpa dentária é um tecido conjuntivo, responsável pela vitalidade do dente. Sua função é produzir, nutrir e proteger a dentina. Possui células imunes (macrófagos, mastócitos, células dendríticas e linfócitos) e não imunes (odontoblastos, fibroblastos) envolvidas em todas as

funções pulpares (Simon, Machtou and Pertot, 2015). A polpa é inervada e vascularizada (Hargreaves and Cohen, 2011).

A dentina protege a polpa que irá garantir a vitalidade dental (Linde and Goldberg, 1993). A dentina e a polpa estão em conexão permanente sendo a sua relação próxima assegurada pelos odontoblastos porque estão sempre ligados aos canalículos dentários. Assim, a polpa e a dentina devem ser consideradas como uma unidade inseparável e formam um verdadeiro complexo: o complexo dentino-pulpar (CDP). (Hargreaves and Cohen, 2011).

### **i. Fatores etiológicos da agressão ao complexo dentino-pulpar**

Em caso de destruição do esmalte e da dentina, a polpa irá ser exposta a possíveis irritantes que podem ser de natureza biológica, química ou física. As bactérias e seus metabolitos são a causa principal da reação pulpar na forma de pulpíte que pode chegar até a necrose pulpar (Piette and Goldberg, 2001). As principais vias de contaminação bacteriana são:

1) Cárie dentária: é a patologia mais difundida no mundo, quase todos os indivíduos já experimentaram pelo menos uma vez na sua vida. Esta doença resulta numa desmineralização sucessiva dos tecidos duros do dente (Badet and Richard, 2004). A cárie dentária devido ao seu componente bacteriano é a causa mais frequente de agressão pulpar. (Piette and Goldberg, 2001).

2) Aberturas traumáticas da polpa: fissura e fratura com ou sem exposição pulpar (Piette and Goldberg, 2001). Segundo Hargreaves e Cohen (2011) os traumatismos mais comuns são: fratura da coroa, fratura coroa e raiz, fratura da raiz, luxação e avulsão.

3) Técnica de preparo cavitário: são os fatores que atuam durante o preparo cavitário, ou seja, instrumento inadequado, pressão excessiva, restaurações em que persiste dentina cariada (dentina infetada), preparações muito profundas, micro-exposição pulpar, instrumento com pouco refrigeração e jato de ar prolongado vai desidratar o dente. (Piette and Goldberg, 2001).

## **ii. Mecanismo de defesa do complexo e vitalidade pulpar**

A polpa como qualquer tecido vascularizado e graças à sua inervação, é capaz de reagir de forma inflamatória quando é afetada. A inflamação visa eliminar ou neutralizar fatores de *stress* e também ativar o início da formação de um reparo tecidual: a dentina terciária (Piette and Goldberg, 2001). Alguns autores distinguem 2 tipos de dentina terciária: reativa e reparadora (Berkovitz, Holland and Moxham, 2017). Uma agressão de baixa intensidade será resolvida por uma resposta rápida seguida de uma dentina terciária “reativa”. Durante agressões de grande intensidade, por exemplo cáries profundas ou traumas graves, levará à formação de dentina terciária “reparadora” (Simon, Machtou and Pertot, 2015).

## **2. Abordagem das lesões de cárie**

De acordo com a *MID*, a perda da mais pequena porção de dente humano devera ser considerada "lesão grave". De acordo com Fusayama, deve distinguir-se a dentina infetada da dentina afetada. A dentina infetada é desmineralizada, amolecida e contaminada por bactérias que não podem mais ser remineralizadas e cuja remoção é fácil com um escovador (Fusayama, 1979). A dentina afetada que também é dentina desmineralizada e amolecida, mas que não está contaminada por bactérias que podem ser remineralizadas. As ligações de colágeno são mantidas e a sua remoção é complicada. Assim sendo, deve remover-se apenas a dentina infetada, preservando o máximo possível de estrutura dentária sã (Frencken *et al.*, 2012).

### **i. Atraumatic restorative treatment (ART)**

Introduzido por Jo Frencken em 1985 na Tanzânia (Frencken *et al.*, 1996), este método baseia-se em dois pilares: a colocação de selantes para prevenir lesões de cárie dentária e as restaurações de lesões de cárie. É uma técnica de limpeza da cárie dentária que permite o acesso a cuidados em áreas desfavorecidas onde o acesso ao tratamento era extremamente limitado.

Esta técnica, que não requer água, eletricidade, instrumento rotatório, ou anestesia. É considerada uma abordagem conservadora, pois não permite a remoção de tecido saudável preservando assim ao máximo a estrutura do dente. Evita também a inflamação da polpa sendo descrita como indolor para o paciente. É um protocolo de fácil aplicação que requer apenas uma

sessão e que está estruturado da seguinte forma: 1º eliminação da dentina cariada infetada com escavador, 2º limpeza da cavidade com bola de algodão 3º selamento da cavidade dentária.

O tratamento é sempre aliado a um programa preventivo de cárie. ART (*Atraumatic Restorative Treatment*) permite o tratamento de crianças, mesmo muito jovens (menores de 3 anos), adolescentes, adultos, idosos, pacientes com necessidades especiais (deficientes físicos ou mentais) e pessoas institucionalizadas. Os princípios ART de remoção de cárie são consistentes com a filosofia MID (*Minimal Intervention Dentistry*) de preservar a estrutura dentária saudável e seguem as recomendações da *International Caries Consensus Collaboration*. Além disso, o método ART pode resultar em restaurações de boa qualidade que apresentam taxas de sobrevida aceitáveis a excelentes (Leal *et al.*, 2018).

## **ii. *Stepwise excavation***

Esta técnica é indicada quando o dente apresenta uma cavidade de cárie muito profunda com risco de exposição pulpar e comprometimento da sua vitalidade. Neste método, a cárie deve ser removida parcialmente para impedir a exposição pulpar. Em seguida, a cavidade deve ser restaurada com um material adequado para selar hermeticamente a cavidade. Sugere-se que após 2 a 24 meses, a cavidade seja reaberta, a cárie remanescente seja escavada e o dente seja restaurado permanentemente. O importante nesta técnica é uma boa seleção de casos e o selamento da cavidade. Casos com cárie profunda com dor insuportável, sono noturno perturbado que revela pulpíte irreversível, sensibilidade ao frio, calor e percussão que prolonga mais do que o dente normal saudável, não são bons candidatos para esta técnica. Diferentes materiais têm sido sugeridos como um forro para cobrir a cárie remanescente antes da aplicação do material restaurador. O hidróxido de cálcio (HC) é o material mais comum com atividade antibacteriana que ajuda a diminuir o número de bactérias na cavidade. Este material deve ser coberto por um restaurador. Estudos têm demonstrado que o tratamento dos dentes com esta técnica diminui o número de exposições pulpares e preserva a vitalidade do dente. Esta técnica é um tratamento conservador de base comunitária, que auxilia a saúde bucal pública com menor gasto, mantendo a vitalidade pulpar (Banava, 2011).

### **3. Materiais e protocolos de proteção/regeneração**

#### **i. Materiais de proteção/regeneração pulpar**

##### **a. Hidróxido de cálcio**

Introduzido na medicina dentária entre 1920 e 1930 sob a forma de pó, pasta ou cimento. É um *gold standard* em caso de: RPD (Morotomi, Washio and Kitamura, 2019), pulpotomia parcial (Mejare and Cvek, 1993) e para induzir a formação da raiz em dentes com ápice aberto com sucesso de 74 a 100% (Sheehy and Roberts, 1997). Vantagens do HC: tem pH de 12,5 e ação antimicrobiana e bactericida de amplo espectro (Cochet-Barril and Simon, 2003); é efetivo sobre a dissolução dos restos orgânicos, o poder inflamatório vai estimular a cicatrização pulpar (Siqueira and Lopes, 1999); é ativo em *Streptococcus Mutans* (Stuart *et al.*, 1991) e em bactérias anaeróbicas (Beer, Baumann and Kielbassa, 2008); promove a formação de uma ponte dentária na maioria dos casos de 50 a 87% (Mohammadi and Shalavi, 2019); é biocompatível e anti-hemorragico (Cochet-Barril and Simon, 2003). A ponte dentinária formada, apresenta uma verdadeira fragilidade (Tabarsi *et al.*, 2010) e irregularidades na maioria dos casos (89%) como inclusões celulares e defeitos em túneis (Cox *et al.*, 1996) que pode permitir uma infiltração bacteriana na polpa (Modena *et al.*, 2009). No entanto, algumas espécies como *Enterococcus faecalis* e *Candida Albicans* são resistentes (Stuart *et al.*, 2006) e ação antibacteriana do hidróxido de cálcio vai diminuir (Simon, Machtou and Pertot, 2015). No caso da apexificação, o HC é uma opção popular (Frank, 1966). Porém tem sido referido que o fechamento apical é eficaz somente após uma infinidade de sessões variando de 5 a 20 meses (Sheehy and Roberts, 1997) e dentes tratados com HC por um longo período de tempo têm um risco muito alto e não negligenciável de fratura (Cvek, 1992; Andreasen, Farik and Munksgaard, 2002).

##### **b. Cimento de ionómero de vidro convencional e cimentos de ionómero de vidro modificado por resina**

Os CIV (Cimento de Ionómero de Vidro convencional) são compostos por um pó e um líquido que misturados, endurecem através de uma reação ácido/base. O pó é composto de fluoro alumino silicato e o líquido é solução de ácido polialquênico. Os CIV têm as seguintes propriedades: resistência à compressão de 150 MPa após 24 horas (Prosser *et al.*, 1984); uma boa radiopacidade superior à dentina e esmalte (Mount, 1994); aderem bem às estruturas dentárias como esmalte e dentina (Roulet and Degrange, 2000); apresentam excelente vedação (Lasfargues, 1998); São biocompatíveis com tecidos periodontais (Mount, 1994); e libertam

iões de flúor durante e após a aplicação do material. A liberação de flúor apresenta um aumento constante por 24 horas, diminuindo depois entre 24 e 72 horas, estabiliza por cerca de dez dias e finalmente diminui lentamente ao longo do tempo (Karantakis *et al.*, 2000). Essa liberação vai remineralizar o tecido desmineralizado (Yamamoto, Ugai and Takahashi, 2005) e permitir uma ação cariostática que vai diminuir a taxa de cárie. É um possível reservatório de fluor pois quando exposto a uma solução de flúor o CIV, irá absorvê-lo (Ana *et al.*, 2003). As principais indicações clínicas são: RPI, restaurações cervicais e como material intermediário sob restaurações de resina composta como função isolante (Lasfargues, 1998). Os CIV em contato com a polpa causará inflamação que não cessará e não permite a formação da ponte dentinária. Esses resultados contraindicam o uso de CVI durante o RPD (Lopes Do Nascimento *et al.*, 2000). Além disso, a sua baixa resistência à compressão contraindica seu uso em grandes restaurações e principalmente em áreas oclusais (Lasfargues, 1998).

Para compensar as desvantagens do CIV, como fracas propriedades mecânicas e uma resistência significativamente reduzida quando exposto à saliva (Ana *et al.*, 2003), surgem os CIVMR (Cimentos de ionómero de vidro modificado por resina) (Attal, 2010). Um CIV foi modificado com uma resina solúvel em água (Cho, Kopel and White, 1995). A composição líquida de CIVMR é ácido policarboxílico, HEMA e água. A composição dos cimentos é basicamente a mesma dos CIV, como o vidro de fluoroaluminossilicato (Ana *et al.*, 2003). Tem as mesmas vantagens dos CIV, como adesão ao tecido, liberação de flúor, boa radiopacidade e selamento, mas com propriedades mecânicas melhoradas: melhor resistência à compressão, tração e flexão (Lasfargues, 1998). No entanto, devido à presença de HEMA, o RPD é contraindicado (Lopes Do Nascimento *et al.*, 2000). Apresentam as mesmas indicações do CIV (Lasfargues, 1998), mas garantem maior probabilidade de sucesso terapêutico (Hübel and Mejère, 2003).

### **c. Mineral Trioxide Aggregate (MTA)**

Foi comercializado pela primeira vez em 1998 sob o nome *ProRoot MTA*. É feito de 75% de cimento *Portland*, 20% de óxido de bismuto e 5% de gesso em peso (Von Arx, 2016). É o primeiro material desenvolvido com cimentos de silicato de cálcio. Inicialmente o MTA surgiu na forma de um pó cinza (GMTA) mas devido à sua composição pode surgir o risco de escurecimento dos dentes. Em 2002, para contornar este problema, foi desenvolvido o *White MTA*. As concentrações de óxido de alumina, óxido de magnésio, e óxido de ferro são mais baixas no WMTA do que no GMTA, portanto, acredita-se que essa composição seja

responsável por essa variação de cor (Asgary and Ehsani, 2012). Apresenta-se sob a forma de pó embalado em saquetas pré-doseadas. O MTA é misturado com água estéril numa placa de vidro com uma espátula de cimento. O seu tempo de trabalho é de cerca de 5 minutos e o tempo de fixação é de cerca 3 horas (Camilleri and Pitt Ford, 2006). O seu uso é recomendado sobre o HC em casos de RPD ou pulpectomia (Nair *et al.*, 2009). Também pode ser usado em caso de perfurações, apicoformação e apexogénese (Göhring, Lehnert and Zehnder, 2004).

As principais vantagens do MTA são: Ph de 12,5, que lhe confere um poder antibacteriano eficaz em anaeróbios facultativos e propriedades antifúngicas em *Candida Alicans* (Bhardwaj, Bhardwaj and Rao, 2014). De natureza higroscópica, a fixação do MTA é facilitada pela presença de água (Kang *et al.*, 2017). Possui boa radiopacidade (superior à dentina) devido principalmente à presença de óxido de bismuto na sua composição (Torabinejad *et al.*, 1995). De acordo com Torabinejad, o MTA é muito menos citotóxico que o IRM e é considerado biocompatível (Torabinejad *et al.*, 1995). Finalmente, comparado ao HC, o MTA induzirá uma ponte dentinária muito mais regular (túbulos dentinários uniformes), menos inflamação e necrose pulpar do que o HC (Brizuela *et al.*, 2017).

As principais desvantagens do MTA são: a sua baixa resistência à compressão (após 24 horas é de 40 MPa, o que é inferior à do IRM (52 MPa) mas após 21 dias é de 67 MPa) (Torabinejad *et al.*, 1995), o que o torna impossível a sua utilização como material de restauração oclusal (Göhring, Lehnert and Zehnder, 2004). Apresenta um preço alto, longo tempo de presa e envolve obrigatoriamente uma segunda sessão (Camilleri and Pitt Ford, 2006). Casos de manchas dentárias também foram observados após a aplicação de WMTA (Felman and Parashos, 2013; Berger, Baratz and Gutmann, 2014).

#### **d. *Biodentine*<sup>TM</sup>**

*Biodentine*<sup>TM</sup> é um material de preenchimento bioativo, apresentado em 2010 pelo laboratório *Septodont*. Assim como o MTA, faz parte da família de materiais à base de silicato de cálcio. Foi projetado para superar as limitações do MTA. *Biodentine*<sup>TM</sup> é constituído por um pó e um líquido. O Pó é composto por silicato tricálcico, carbonato de cálcio e óxido de zircónio. O líquido é composto de água, cloreto de cálcio e polímeros solúveis em água. É comercializado na forma de cápsula e um líquido para serem colocados juntos num vibrador, o cimento obtido pode ser aplicado diretamente na cavidade (Septodont, 2022).

As suas principais propriedades são: muito boa resistência à compressão após 24 horas é de 240 MPa para atingir 300 MPa após um mês que é idêntico à dentina (297 MPa) (Koubi *et al.*, 2013), boa radiopacidade (quase igual à dentina, mas significativamente inferior ao MTA (Tanalp *et al.*, 2013)); é biocompatível, não tóxico e extremamente bem tolerado pelos tecidos (Zhou *et al.*, 2013). Assim como o MTA, possui atividade antibacteriana e antifúngica graças a um pH alcalino de 12,5 (Koubi *et al.*, 2013). Não induz qualquer descoloração dentária ao contrário do MTA e induz uma ponte dentária mais mineralizada e em maior número do que com HC, ausência de dor pós-operatória (Brizuela *et al.*, 2017). Segundo o laboratório *Septodont*, o *Biodentine™* tem várias indicações clínicas como: recobrimento indireto e direto, pulpotomia parcial ou completa, apicoformação, apexogénese, reabsorção, perfuração, restauração dentária definitiva sob compósito *inlay/onlay*, e retro-obturação (Septodont, 2022).

As principais desvantagens são: baixa resistência à abrasão, defeitos na forma anatómica da adaptação marginal e a qualidade do ponto de contato proximal são observáveis após 6 meses de colocação (Bachoo, Seymour and Brunton, 2013).

## **ii. Técnicas de proteção/regeneração**

### **a. Apexogénese**

De acordo com a Associação Americana de Endodontistas a apexogénese é o desenvolvimento e a formação fisiológica da extremidade radicular após a exposição pulpar de um dente incompletamente formado no qual a polpa está viva. O objetivo é preservar a vitalidade pulpar e permitir que a polpa não infetada e não inflamada continue desenvolvendo a raiz. A apexogénese é um processo biológico e fisiológico responsável pela formação do ápice do dente (Eleazer, Glickman and McClanahan, 2020). A desvitalização de um dente com o ápice não totalmente formado e com exposição pulpar (mas com polpa viva e sem sinais de inflamação) resultará na cessação da formação radicular. Neste caso, um dente permanente imaturo com exposição pulpar, a terapia a ser implementada é a apexogénese (Shabahang, 2013).

### **b. Apicoformação**

De acordo com a AAE, a apicoformação é definido com um método de induzir uma barreira calcificada em uma raiz com um ápice aberto ou o desenvolvimento apical contínuo de uma raiz incompletamente formada em dentes com polpas necróticas (Eleazer, Glickman and

McClanahan, 2020). A polpa não se encontra com vitalidade. Quando um dente permanente imaturo está em um estágio de patologia pulpar como: pulpíte irreversível ou necrose pulpar, a apicoformação é a solução para permitir o fechamento apical na presença de patologias pulpares. O objetivo é fechar o terço apical do dente. Duas técnicas podem ser utilizadas: estimulando as células a formar uma barreira mineralizada com HC ou criando um fechamento apical com o MTA, segundo a AAO. A técnica do HC requer várias sessões, até que a formação do ápice radicular esteja completa, variando de 6 meses a 20 meses. Esta técnica tem algumas desvantagens: é longa e requer, uma colaboração perfeita e completa do paciente bem como uma boa motivação na sua higiene oral (Sheehy and Roberts, 1997). Um estudo mostrou que o dente é mais frágil, de facto, foi comprovado que a exposição prolongada da dentina ao hidróxido de cálcio tem o efeito de enfraquecer a dentina e induz o risco de fratura radicular antes do final do tratamento (Andreasen, Munksgaard and Bakland, 2006). Por causa de defeitos do HC, Schönenberg demonstra o interesse de usar MTA (invés de HC) para apicoformação: após 3 meses em contato com os tecidos, o MTA possibilitou demonstrar uma ponte dentinária mais mineralizada que HC e em número de sessões clínicas reduzidas (Göhring, Lehnert and Zehnder, 2004).

### **c. Recobrimento pulpar**

De acordo com a AAE, o RP é o tratamento da polpa vital exposta ou não, selando a ferida com um biomaterial dentário para facilitar a formação de dentina restauradora e a manutenção de uma polpa vital. Os objetivos finais de qualquer procedimento de recobrimento pulpar são: remover a agressão e inflamação pulpar, interromper qualquer progressão de cáries e bactérias residuais, estimular as células pulpares a formar nova dentina e fornecer um selo cavitário biocompatível e durável que protege o CDP de bactérias e agentes nocivos (Alex, 2018).

#### Recobrimento pulpar indireto

Considerado como a técnica menos invasiva em soluções de terapia pulpar, o RPI consiste em recobrir a dentina afetada com um material protetor a fim de promover a cicatrização do CDP quando a polpa é vital e sem exposição pulpar (Alex, 2018).

Duas técnicas são possíveis uma ou duas sessões. Técnica de 2 passos: 1ª sessão: remoção da cárie infetada deixando uma camada de dentina cariada profunda que será coberta com HC que será coberta com uma restauração temporária (CIV). Após vários meses e na ausência de dor e sintomas, o paciente retorna para a 2ª sessão: a cavidade provisória e as restantes são removidas

e uma restauração definitiva é feita. O tempo entre as 2 sessões é para estimular a remineralização da dentina e a ponte dentária. Técnica de 1 passo: remoção da dentina infetada deixando a dentina afetada que será coberta com um biomaterial para induzir uma ponte dentária seguida de uma restauração definitiva na mesma sessão (Alex, 2018). Vários estudos recomendam a realização de 2 sessões clínicas em vez de apenas uma (Pinto *et al.*, 2006; Fagundes *et al.*, 2009).

#### Recobrimento pulpar direto

É utilizado quando a polpa está visivelmente exposta. O procedimento consiste em parar a hemorragia e induzir a formação de uma ponte dentária e manter a vitalidade pulpar (Eleazer, Glickman and McClanahan, 2020). É indicado somente se o dente estiver vitalmente saudável e assintomático, ou seja, sem sinais de pulpite irreversível, durante exposição pulpar de pequena extensão (1 a 2 mm no máximo), recente (no intervalo de 24 horas no máximo após a exposição) e com controle hemorrágico (Espinoza *et al.*, 2017).

Protocolo segundo Brizuela: 1ª anestesia local. 2º diques de borracha. 3º localização de cárie com *Sable Seek*. 4º remoção da cárie com peça de mão seguida de escalador manual. 5º hemóstase obtida em 10 minutos com solução fisiológica estéril. 6º aplicação de um biomaterial (HC, MTA, *Biodentine<sup>TM</sup>*) recoberto com um CIV (*Vitrebond*) recoberto com uma restauração permanente em resina composta. O sucesso clínico é definido como um dente sem dor, testes de sensibilidade normais, sem sinais clínicos ou radiográficos, sem reabsorções, ligamento periodontal normal (Brizuela *et al.*, 2017). Brizuela não encontrou diferenças significativas entre os biomateriais, porém concluiu que o MTA e o *Biodentine<sup>TM</sup>* são possíveis e excelentes alternativas ao HC, o *Biodentine<sup>TM</sup>* mostrou 100% de sucesso no recobrimento direto, manipulação muito mais simples, tempo de presa de 12 minutos e sem escurecimento dentário em relação ao MTA (Brizuela *et al.*, 2017). Estudos recomenda MTA sobre HC no recobrimento direto (Sawicki *et al.*, 2008; Benoist *et al.*, 2012).

#### **d. Pulpotomia parcial / pulpotomia Cvek**

De acordo com a AAE, a pulpotomia parcial é a remoção de uma pequena porção de polpa coronária como meio de preservar o tecido coronário e radicular remanescente (Eleazer, Glickman and McClanahan, 2020). A pulpotomia parcial consiste na amputação de 2 a 3 mm de tecido pulpar seguido da colocação de um material de cobertura bioativo e biocompatível (Eggmann *et al.*, 2022). Ao contrário do RPD, remove o tecido pulpar infetado ou necrótico,

portanto, as suas hipóteses de cicatrização pulpar são maiores, se o tecido coronário estiver danificado irreversivelmente, uma pulpotomia total será realizada (Aguilar and Linsuwanont, 2011; Elmsmari *et al.*, 2019). Protocolo: 1° anestesia local. 2° eliminação não seletiva de tecidos. 3° as polpas expostas à cárie devem ser desinfetadas com clorexidina. 4° Despejo superficial da polpa 2 a 3 mm de profundidade. 5° Controle de sangramento por 1 a 5 minutos com NaOCI 1% se o controle for aplicação bem-sucedida de biomaterial (HC, MTA). Seguido de uma restauração final (Eggmann *et al.*, 2022). No caso de MTA (Tuba and Emine, 2011) ou *Biodentine*<sup>TM</sup> (Septodont) uma segunda sessão é necessária para colocar uma restauração definitiva, porém *Biodentine*<sup>TM</sup> não requer CIV como o MTA (Taha and Khazali, 2017). Indicado nas Classes I e II da Baume, exposição pulpar de origem cariiosa, e exposição pulpar contraindicada para RPD, nomeadamente exposição pulpar superior a 24 horas e superior a 2 mm (Torabinejad *et al.*, 2017). É totalmente contraindicado quando a hemóstase não for conseguida e em necrose ou pulpíte irreversível (Torabinejad *et al.*, 2017). Eggmann encontrou uma taxa de sucesso em 1 ano de 94%, após 2 anos de 94% após 6 anos de 86% (Eggmann *et al.*, 2022). Revisões da literatura relatam taxas de sucesso comparáveis para pulpíte irreversível e reversível e não recomendam nenhuma restrição ao tratamento de dentes sintomáticos por procedimentos de pulpotomia parcial (Taha *et al.*, 2020; Eggmann *et al.*, 2022).

#### **e. Pulpotomia total**

Segundo a AAE a pulpotomia total é a remoção da porção coronal de uma polpa vital como forma de preservar a vitalidade da porção radicular remanescente; pode ser realizado como procedimento de emergência para alívio temporário dos sintomas ou como medida terapêutica (Eleazer, Glickman and McClanahan, 2020). Tem as mesmas indicações que a pulpotomia parcial: inflamação pulpar mais extensa e durante o sangramento descontrolado encontrado em pulpotomia (Torabinejad *et al.*, 2017).

É contraindicado durante inflamação pulpar muito grande, classe III e IV de Baume, e na ausência de hemostasia ao nível dos orifícios radiculares indicando pulpíte irreversível. O protocolo de operação é o mesmo da pulpotomia parcial (Torabinejad *et al.*, 2017). Os mesmos biomateriais podem ser usados (HC, MTA *Biodentine*). Para Cushley e dentro das limitações de sua revisão, sugere que a pulpotomia total oferece uma grande chance de esperança como alternativa no TE em dentes com pulpíte irreversível. No entanto, estudos randomizados são necessários (Cushley *et al.*, 2019).

### III. DISCUSSÃO

Um dos maiores desafios para o médico dentista perante uma cárie extensa está na regeneração do CDP, de modo a evitar o TE. A pulpotomia total é considerada um tratamento conservador, pois preserva a polpa radicular, mas a pulpotomia nunca levará à regeneração do CDP que foi perdido na parte coronal (Morotomi, Washio and Kitamura, 2019). Dentro dos limites de seu artigo, Morotomi sugere uma nova estratégia para regeneração local de CDP após pulpotomia total: uma combinação de fatores de crescimento (FGF-2) podem induzir a regeneração local de CDP após uma pulpotomia. No entanto, a pulpotomia total continua sendo a melhor opção para a TE: a velocidade da pulpotomia em comparação com a TE, o alívio completo da dor após 2 dias e o baixo custo tornam a pulpotomia a melhor opção (Witherspoon, 2008). Witherspoon recomenda abandonar o HC e usar o MTA como biomaterial de referência (Witherspoon, 2008). Taha e Abdelkader mostraram excelentes resultados durante a pulpotomia completa em dentes permanentes com sinais de pulpíte irreversível realizada com BD após 1 ano com 100% de sucesso clínico (Taha and Abdelkader, 2018), seus resultados positivos também são encontrados na pulpotomia parcial realizada em crianças com sucesso de 92% para MTA e 90% para BD (sem diferença significativa), porém casos de descoloração dentária apareceram em ambos os casos 87% para MTA e 27% para BD (Uesrichai *et al.*, 2019). Porém Parinyaprom *et alii.* não encontraram descoloração nos RPD cobertos com BD ao contrário do MTA 55% no limite do artigo parece que as pulpites irreversíveis ou exposições pulpares até 2,5 mm não são e não devem ser consideradas uma contraindicação absoluta ao RDP, independentemente do material (MTA ou BD) (Parinyaprom *et al.*, 2018). O outro desafio para o dentista está no diagnóstico adequado da saúde pulpar, é cada vez mais aceite que a terminologia atual para descrever a pulpíte irreversível é uma suposição empírica baseada em sinais e sintomas clínicos que devem ser revistos e a presença de dor pré-operatória (pulpíte irreversível) não indica necessariamente que a polpa é incapaz de se regenerar (Taha and Abdelkader, 2018). Para Whiterpsoon, a melhor avaliação da vitalidade pulpar é controle do sangramento, que deve atingir o máximo em 10 minutos com NaOCI (Witherspoon, 2008).

A escolha do material também é decisiva. Dentro dos limites de seu ensaio clínico randomizado, Vural *et alii* concluíram que o MTA se revelou clinicamente mais eficaz que o HC aos 4 anos após RPI, porém o potencial de descoloração do MTA deve ser levado em consideração (Vural, Kiremitci and Gokalp, 2022). MTA e BD são materiais confiáveis recomendados para terapia pulpar. BD também aparece como uma alternativa positiva ao HC no RP (indireto e direto),

mas parece superar o MTA: manuseio mais fácil, menor custo e fixação mais rápida com resultados clínicos idênticos ao MTA ou superiores (Kunert and Lukomska-Szymanska, 2020), dentro dos limites de seu artigo Brizuela apresentou os mesmos resultados, sem diferença entre MTA ou *BD* substituindo HC em RPD, por outro lado, sem descoloração e manuseio mais simples e rápido com *BD*: (Brizuela *et al.*, 2017). No entanto, dentro dos limites de seu artigo, Nair não encontrou diferenças significativas entre os materiais (HC, MTA, *BD*) durante o RPI (Nair, 2019). Mais recentemente, Selvendran mostrou a superioridade do MTA e *BD* sobre HC em RP, ele até considera *BD* superior ao MTA (Selvendran *et al.*, 2022).

Dentro dos limites de seu artigo, Chen e Suh, referem como conclusões do seu estudo sobre o RP que:

1. Sistemas adesivos de resina, OZE e CIV/CIVMR demonstraram ter efeitos citotóxicos nas células pulpare. Usados para RPD, exibem inflamação crônica, cicatrização pulpar deficiente e falta de formação de ponte dentinária, e não devem ser usados para RPD.
2. Todos os produtos de HC exibem propriedades antibacterianas e a capacidade de estimular a formação de pontes dentinárias, mas o sistema de HC de 1 pasta é menos citotóxico que os sistemas de HC de 2 pastas.
3. Comparado ao HC, os materiais MTA/silicato de cálcio demonstraram ter menos citotoxicidade e melhores resultados clínicos para RPD (Chen and Suh, 2017).

Dentro dos limites de seu estudo, resultados ainda mais promissores do que com HC confirmaram que o uso do MTA para fechar o ápice dentário, permitiria uma economia de sessões e um tecido formado significativamente mais importante do que com HC (Göhring, Lehnert and Zehnder, 2004). Tolibah dentro dos limites de seu estudo randomizado provou que a *BD* e o MTA são excelentes opções para apexificação e não são inferiores entre si e permitem uma boa barreira calcificada apical (Tolibah *et al.*, 2022) e o potencial de fratura é consideravelmente reduzido (Ok *et al.*, 2016).

No entanto, mesmo que o MTA e o *BD* sejam excelentes substitutos para o HC, ainda existem algumas desvantagens: as desvantagens mais conhecidas do MTA é o seu potencial de descoloração dentária. Para combater isso, surgiu uma nova gama de MTA, o WMTA. No entanto, mesmo com esta fórmula, foram relatados casos de descoloração dentárias (Camilleri, 2015; Brizuela *et al.*, 2017). Porém recentemente, o *BD* também teria um poder descolorante

sobre os dentes, mas a origem não foi claramente estabelecida, poderia ser um possível contato sanguíneo com o material que causaria essas descolorações (Slaboseviciute *et al.*, 2021). Outras técnicas, como a engenharia de tecidos, que é o projeto e fabricação de novos tecidos para substituir tecidos danificados, são novas abordagens possíveis na regeneração de tecidos (Cao *et al.*, 2015).

#### IV. CONCLUSÃO

A preservação do tecido saudável e do complexo dentino-pulpar deve ser o objetivo primordial do médico dentista. Considerado durante muitos anos como o "gold standard", o HC é hoje criticado por sua falta de previsibilidade na formação da ponte dentinária, pela solubilidade em fluídos e baixa resistência mecânica. Assim, surgiram novos produtos para a regeneração do complexo dentino-pulpar como o MTA e mais recentemente *Biodentine<sup>TM</sup>* para combater os efeitos adversos do MTA.

Dentro dos limites dos estudos, o MTA e o *Biodentine<sup>TM</sup>* são considerados perfeitamente adequados para procedimentos conservadores em relação ao CDP, não se tendo verificado nenhuma diferença significativa entre eles. No entanto o *Biodentine<sup>TM</sup>* apresenta ligeiras vantagens em relação ao MTA como o seu custo unitário, sua facilidade de uso, seu tempo de presa, uma excelente resistência e sua ausência de descolorações.

Nenhum dos seguintes fatores influencia claramente as terapias pulpares: o tipo de materiais, a idade do paciente, o tipo de dente, a origem do ataque, a experiência do médico. No entanto, o controle ou não da hemorragia pulpar é um bom sinal para guiar o médico dentista nas suas intervenções pulpares. Isso sugere que não podem ser previstas contraindicações absolutas, além da impossibilidade de controle do sangramento, para terapias pulpares.

Os novos materiais, como o MTA e *Biodentine<sup>TM</sup>* têm demonstrado excelentes resultados na proteção e regeneração do complexo dentina pulpar. No entanto, são necessários mais estudos para averiguarem a eficácia a longo prazo destes materiais.

## V. BIBLIOGRAFIA

Aguilar, P. and Linsuwanont, P. (2011). Vital pulp therapy in vital permanent teeth with cariously exposed pulp: A systematic review. *Journal of Endodontics*, 37(5), pp. 581–587.

Alex, G. (2018). Direct and Indirect Pulp Capping: A Brief History, Material Innovations, and Clinical Case Report. *Compendium of Continuing Education in Dentistry*, 39(3), pp. 182–189.

Ana, I. D. *et al.* (2003). Effects of added bioactive glass on the setting and mechanical properties of resin-modified glass ionomer cement. *Biomaterials*, 24(18), pp. 3061–3067.

Andreasen, J. O., Farik, B. and Munksgaard, E. C. (2002). Long-term calcium hydroxide as a root canal dressing may increase risk of root fracture. *Dental Traumatology*, 18(3), pp. 134–137.

Andreasen, J. O., Munksgaard, E. C. and Bakland, L. K. (2006). Comparison of fracture resistance in root canals of immature sheep teeth after filling with calcium hydroxide or MTA. *Dental Traumatology*, 22(3), pp. 154–156.

Von Arx, T. (2016). Mineral Trioxide Aggregate ( MTA ) – eine Erfolgsgeschichte in der apikalen Chirurgie. *Praxis*, 126(6), pp. 573–584.

Asgary, S. and Ehsani, S. (2012). MTA resorption and periradicular healing in an open-apex incisor: A case report. *Saudi Dental Journal*, 24(1), pp. 55–59.

Attal, J. P. (2010). Les ciments verres ionomères ( CVI ). *Société Francophone de Biomateriaux Dentaires, Université Médicale Virtuelle Francophone*.

Bachoo, I. K., Seymour, D. and Brunton, P. (2013). Clinical case reports using a novel calcium-based cement. *British Dental Journal*, 214(2), pp. 61–64.

Badet, C. and Richard, B. (2004). Étude Clinique De La Carie. *EMC - Dentisterie*, 1(1), pp. 40–48.

Banava, S. (2011). Stepwise excavation: a conservative community-based dental treatment of deep caries to inhibit pulpal exposure. *Iranian Journal of Public Health*, 40(3), p. 140.

Beer, R., Baumann, M. A. and Kielbassa, A. M. (2008). *Atlas de poche d'endodontie*. Flammarion Médecine-Sciences.

Benoist, F. L. *et al.* (2012). Evaluation of mineral trioxide aggregate (MTA) versus calcium hydroxide cement (Dycal®) in the formation of a dentine bridge: a randomised controlled trial. *International Dental Journal*, 62(1), pp. 33–39.

Berger, T., Baratz, A. Z. and Gutmann, J. L. (2014). In vitro investigations into the etiology of mineral trioxide tooth staining. *Journal of Conservative Dentistry*, 17(6), pp. 526–530.

Berkovitz, B. K. B., Holland, G. R. and Moxham, B. J. (2017). *Oral anatomy, histology and embryology E-book*. Elsevier Health Sciences.

Bhardwaj, Archana, Bhardwaj, Abhishek and Rao, N. (2014). Evaluation of antifungal activity of white-colored mineral trioxide aggregate on different strains of *Candida albicans* in vitro. *Journal of Conservative Dentistry*, 17(3), pp. 276–279.

Brizuela, C. *et al.* (2017). Direct Pulp Capping with Calcium Hydroxide, Mineral Trioxide Aggregate, and Biodentine in Permanent Young Teeth with Caries: A Randomized Clinical Trial. *Journal of Endodontics*, 43(11), pp. 1776–1780.

Camilleri, J. (2015). Staining Potential of Neo MTA Plus, MTA Plus, and Biodentine Used for Pulpotomy Procedures. *Journal of Endodontics*, 41(7), pp. 1139–1145.

Camilleri, J. and Pitt Ford, T. R. (2006). Mineral trioxide aggregate: A review of the constituents and biological properties of the material. *International Endodontic Journal*, 39(10), pp. 747–754.

Cao, Y. *et al.* (2015). Pulp-dentin regeneration: current state and future prospects. *Journal of Dental Research*, 94(11), pp. 1544–1551.

Chen, L. and Suh, B. I. (2017). Cytotoxicity and biocompatibility of resin-free and resin-modified direct pulp capping materials: A state-of-the-art review. *Dental Materials Journal*, 36(1), pp. 1–7.

Cho, E., Kopel, H. and White, S. N. (1995). Moisture susceptibility of resin-modified glass-ionomer materials. *Quintessence International*, 26(5).

Cochet-Barril, I. and Simon, S. (2003). L'hydroxyde de calcium est-il toujours d'actualité. *Cahiers de l'ADF*, 6(16), pp. 17–25.

Cox, C. F. *et al.* (1996). Tunnel defects in dentin bridges: Their formation following direct pulp capping. *Operative Dentistry*, 21(1), pp. 4–11.

Cushley, S. *et al.* (2019). Pulpotomy for mature carious teeth with symptoms of irreversible pulpitis: A systematic review. *Journal of Dentistry*, 88, p. 103158.

Cvek, M. (1992). Prognosis of luxated non - vital maxillary incisors treated with calcium hydroxide and filled with gutta - percha. A retrospective clinical study. *Dental Traumatology*, 8(2), pp. 45–55.

Dammaschke, T. (2008). The history of direct pulp capping. *Journal of the history of dentistry*, 56(1), pp. 9–23.

Eggmann, F. *et al.* (2022). Partial pulpotomy without age restriction: a retrospective assessment of permanent teeth with carious pulp exposure. *Clinical Oral Investigations*, 26(1), pp. 365–373.

Eleazer, P., Glickman, G. and McClanahan, S. (2020). *AAE glossary of endodontic terms*. New York: American Association of Endodontists.

Elmsmari, F. *et al.* (2019). Outcome of Partial Pulpotomy in Cariously Exposed Posterior Permanent Teeth: A Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of Endodontics*, 45(11), pp. 1296-1306.e3.

Espinoza, C. A. V. *et al.* (2017). Preservation in Young Patients of Pulp Vitality and Anatomical-Functional Restoration of the Lost Structure. *Compendium of Continuing Education in Dentistry*, 38(3), pp. 144–150.

Fagundes, T. C. *et al.* (2009). Indirect pulp treatment in a permanent molar: Case report of 4-year follow-up. *Journal of Applied Oral Science*, 17(1), pp. 70–74.

Felman, D. and Parashos, P. (2013). Coronal tooth discoloration and white mineral trioxide aggregate. *Journal of Endodontics*, 39(4), pp. 484–487.

Ford, T. R. P. *et al.* (1996). Using mineral trioxide aggregate as a pulp-capping material. *The Journal of the American Dental Association*, 127(10), pp. 1491–1494.

Frank, A. L. (1966). Therapy for the divergent pulpless tooth by continued apical formation. *Journal of the American Dental Association*, 72(1), pp. 87–93.

Frencken, J. E. *et al.* (1996). Atraumatic Restorative Treatment (ART): Rationale, technique, and development. *Journal of Public Health Dentistry*, 56(3), pp. 135–140.

Frencken, J. E. *et al.* (2012). Minimal intervention dentistry for managing dental caries - A review: Report of a FDI task group. *International Dental Journal*, 62(5), pp. 223–243.

Fusayama, T. (1979). Two layers of carious dentin; diagnosis and treatment. *Operative dentistry*, 4(2), pp. 63–70.

Ghoddusi, J., Forghani, M. and Parisay, I. (2013). New approaches in vital pulp therapy in permanent teeth. *Iranian Endodontic Journal*, 9(1), pp. 15–22.

Göhrling, K. S., Lehnert, B. and Zehnder, M. (2004). [Indications for use of MTA, a review. Part 1: Chemical, physical and biological properties of MTA]. *Schweizer Monatsschrift für Zahnmedizin*, 114(2), pp. 143–53.

Hargreaves, K. and Cohen, S. (2011). *Pathways of the pulp*. 10th editi. Mosby Elsevier.

Hübel, S. and Mejàre, I. (2003). Conventional versus resin-modified glass-ionomer cement for Class II restorations in primary molars. A 3-year clinical study. *International Journal of Paediatric Dentistry*, 13(1), pp. 2–8.

Kang, C. M. *et al.* (2017). A randomized controlled trial of various MTA materials for partial pulpotomy in permanent teeth. *Journal of Dentistry*, 60, pp. 8–13.

Karantakis, P. *et al.* (2000). Fluoride release from three glass ionomers, a compomer, and a composite resin in water, artificial saliva, and lactic acid. *Operative dentistry*, 25(1), pp. 20–25.

Komabayashi, T. *et al.* (2016). Current status of direct pulp-capping materials for permanent teeth. *Dental Materials Journal*, 35(1), pp. 1–12.

Koubi, G. *et al.* (2013). Clinical evaluation of the performance and safety of a new dentine substitute, Biodentine, in the restoration of posterior teeth - a prospective study. *Clinical Oral Investigations*, 17(1), pp. 243–249.

Kunert, M. and Lukomska-Szymanska, M. (2020). Bio-Inductive Materials in Direct and Indirect Pulp Capping - A Review Article. *Materials*, 13(5), p. 1204.

Lasfargues, J. J. (1998). Évolution des concepts en odontologie conservatrice. Du modèle chirurgical invasif au modèle médical préventif. *Information Dentaire*, 80(40), pp. 3111–3123.

Leal, S. *et al.* (2018). Atraumatic Restorative Treatment: Restorative Component. in *Monographs in Oral Science*. Karger Publishers, pp. 92–102.

Li, Z. *et al.* (2015). Direct Pulp Capping with Calcium Hydroxide or Mineral Trioxide Aggregate: A Meta-analysis. *Journal of Endodontics*, 41(9), pp. 1412–1417.

Linde, A. and Goldberg, M. (1993). Dentinogenesis. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*, 4(5), pp. 679–728.

Lopes Do Nascimento, A. B. *et al.* (2000). Biocompatibility of a resin-modified glass-ionomer cement applied as pulp capping in human teeth. *American Journal of Dentistry*, 13(1), pp. 28–34.

Matsuura, T. *et al.* (2021). Long-term clinical and radiographic evaluation of the effectiveness of direct pulp capping materials: A meta-analysis. *Dental Materials Journal*, 40(1), pp. 1–7.

Mejare, I. and Cvek, M. (1993). Partial pulpotomy in young permanent teeth with deep carious lesions. *Dental Traumatology*, 9(6), pp. 238–242.

Modena, K. C. da S. *et al.* (2009). Cytotoxicity and biocompatibility of direct and indirect pulp capping materials. *Journal of Applied Oral Science*, 17(6), pp. 544–554.

Mohammadi, Z. and Shalavi, S. (2019). Properties and applications of Emdogain in endodontics and dental traumatology: An update. *International Journal of Clinical Dentistry*, 12(3), pp. 245–252.

Morotomi, T., Washio, A. and Kitamura, C. (2019). Current and future options for dental pulp therapy. *Japanese Dental Science Review*, 55(1), pp. 5–11.

Mount, G. J. (1994). Glass ionomer cements and future research. *American Journal of Dentistry*, 7(5), pp. 286–292.

Nair, M. (2019). Clinical and Radiographic Outcomes of Calcium Hydroxide vs Other Agents in Indirect Pulp Capping of Primary Teeth: A Systematic Review. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 12(5), pp. 437–444.

Nair, P. N. R. *et al.* (2009). Histological, ultrastructural and quantitative investigations on the response of healthy human pulps to experimental capping with mineral trioxide aggregate: A randomized controlled trial. *International Endodontic Journal*, 42(5), pp. 422–444.

Ok, E. *et al.* (2016). Fracture resistance of simulated immature teeth after apexification with calcium silicate-based materials. *European Journal of Dentistry*, 10(2), pp. 188–192.

Parinyaprom, N. *et al.* (2018). Outcomes of Direct Pulp Capping by Using Either ProRoot Mineral Trioxide Aggregate or Biodentine in Permanent Teeth with Carious Pulp Exposure in 6- to 18-Year-Old Patients: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Endodontics*, 44(3), pp. 341–348.

Paula, A. B. *et al.* (2018). Direct Pulp Capping: What is the Most Effective Therapy?—Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Evidence-Based Dental Practice*, 18(4), pp. 298–314.

Piette, E. and Goldberg, M. (2001). *La dent normale et pathologique*. De Boeck Supérieur.

Pinto, A. S. *et al.* (2006). Clinical and microbiological effect of calcium hydroxide protection in indirect pulp capping in primary teeth. *American Journal of Dentistry*, 19(6), pp. 382–386.

Prosser, H. J. *et al.* (1984). Characterization of glass-ionomer cements 7. The physical properties of current materials. *Journal of Dentistry*, 12(3), pp. 231–240.

Roulet, J.-F. and Degrange, M. (2000). *Collage et adhésion: la révolution silencieuse*. Quintessence international.

Sawicki, L. *et al.* (2008). Histological evaluation of mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide in direct pulp capping of human immature permanent teeth. *American Journal of Dentistry*, 21(4), pp. 262–266.

Selvendran, K. *et al.* (2022). Comparison of three different materials used for indirect pulp capping in permanent molars: An in vivo study. *Journal of Conservative Dentistry*, 25(1), p. 68.

Septodont. (2022). *Biodentine™ Active Biosilicate Technology™*. Septodont R&D Department.

Shabahang, S. (2013). Treatment options: Apexogenesis and apexification. *Pediatric Dentistry*, 35(2), pp. 125–128.

Sheehy, E. C. and Roberts, G. J. (1997). Use of calcium hydroxide for apical barrier formation and healing in non-vital immature permanent teeth: A review. *British Dental Journal*, 183(7), pp. 241–246.

Simon, S., Machtou, P. and Pertot, W. (2015). *Endodontie*. Editions CdP - Initiatives Sante.

Siqueira, J. F. and Lopes, H. P. (1999). Mechanisms of antimicrobial activity of calcium hydroxide: A critical review. *International Endodontic Journal*, 32(5), pp. 361–369.

Slaboseviciute, M. *et al.* (2021). Discoloration potential of biodentine: A systematic review. *Materials*, 14(22), p. 6861.

Stanley, H. R. (1989). Pulp capping: Conserving the dental pulp-Can it be done? Is it worth it? *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 68(5), pp. 628–639.

Stuart, C. H. *et al.* (2006). Enterococcus faecalis: Its role in root canal treatment failure and current concepts in retreatment. *Journal of Endodontics*, 32(2), pp. 93–98.

Stuart, K. G. *et al.* (1991). The comparative antimicrobial effect of calcium hydroxide. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 72(1), pp. 101–104.

Tabarsi, B. *et al.* (2010). A comparative study of dental pulp response to several pulpotomy agents. *International Endodontic Journal*, 43(7), pp. 565–571.

Taha, N. A. *et al.* (2020). Conservative Management of Mature Permanent Teeth with Carious Pulp Exposure. *Journal of Endodontics*, 46(9), pp. S33–S41.

Taha, N. A. and Abdelkader, S. Z. (2018). Outcome of full pulpotomy using Biodentine in adult patients with symptoms indicative of irreversible pulpitis. *International Endodontic Journal*, 51(8), pp. 819–828.

- Taha, N. A. and Khazali, M. A. (2017). Partial Pulpotomy in Mature Permanent Teeth with Clinical Signs Indicative of Irreversible Pulpitis: A Randomized Clinical Trial. *Journal of Endodontics*, 43(9), pp. 1417–1421.
- Tanalp, J. *et al.* (2013). Comparison of the radiopacities of different root-end filling and repair materials. *The Scientific World Journal*, 2013.
- Tolibah, Y. A. *et al.* (2022). Evaluation of a Novel Tool for Apical Plug Formation during Apexification of Immature Teeth. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. MDPI, 19(9), p. 5304.
- Torabinejad, M. *et al.* (1995). Investigation of mineral trioxide aggregate for root-end filling in dogs. *Journal of Endodontics*, 21(12), pp. 603–608.
- Torabinejad, M. *et al.* (2017). Regenerative Endodontic Treatment or Mineral Trioxide Aggregate Apical Plug in Teeth with Necrotic Pulps and Open Apices: A Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of Endodontics*, 43(11), pp. 1806–1820.
- Tuba, U. and Emine, S. (2011). White mineral trioxide aggregate pulpotomies: Two case reports with long-term follow-up. *Contemporary Clinical Dentistry*, 2(4), p. 381.
- Uesrichai, N. *et al.* (2019). Partial pulpotomy with two bioactive cements in permanent teeth of 6- to 18-year-old patients with signs and symptoms indicative of irreversible pulpitis: a noninferiority randomized controlled trial. *International Endodontic Journal*, 52(6), pp. 749–759.
- Vural, U. K., Kiremitci, A. and Gokalp, S. (2022). Which is the most effective biomaterial in indirect pulp capping? 4-year comparative randomized clinical trial. *European Oral Research*, 56(1), pp. 35–41.
- Witherspoon, D. E. (2008). Vital pulp therapy with new materials: New directions and treatment perspectives-permanent teeth. *Pediatric Dentistry*, 30(3), pp. 220–224.
- Yamamoto, Y., Ugai, K. and Takahashi, Y. (2005). Efficiency of Hand Drying for Removing Bacteria From Washed Hands Comparison of Paper Towel Drying With Warm Air Drying. *Infection Control & Hospital Epidemiology*, 26(3), pp. 316–320.

Zhou, H. M. *et al.* (2013). In vitro cytotoxicity evaluation of a novel root repair material. *Journal of Endodontics*, 39(4), pp. 478–483.