Estrategias Biomiméticas para la Longevidad Restauradora sobre Biodentine.

REVISIÓN DE TEMA.

AUTOR

Juan Pablo Hernández Padilla

OD, residente Posgrado de Rehabilitación oral CES

ASESOR

Alejandro Peláez Echavarría

OD, Rehabilitador Oral, Docente Titular Facultad de odontología CES

Medellín

Universidad CES

Facultad Odontología

Posgrado rehabilitación oral

2025

Resumen (Abstract)

La preservación pulpar vital (PPV) ha experimentado una cambio significativo con la introducción de los cementos de silicato de calcio (CSC) como Biodentine™ (1). Este material, un sustituto de dentina bioactivo, es esencial para inducir la remineralización de la dentina y la formación de una barrera mineralizada interfacial, creando un sustrato biológicamente superior para la adhesión (2,3). La eficacia clínica de Biodentine es notable, mostrando una tasa de éxito superior al hidróxido de calcio en el recubrimiento pulpar directo (DPC) (4,5) al promover la diferenciación odontoblástica de las células madre de la pulpa dental (DPSCs) (6), y en el recubrimiento pulpar indirecto (IPC) al generar la remineralización dentinaria (2,7,8). Sin embargo, el éxito a largo plazo requiere un sellado coronal hermético que resista la carga masticatoria y la microfiltración (9). Esta revisión integra los principios de la Odontología Biomimética para analizar los desafíos de la interfaz y las estrategias de optimización adhesiva. La evidencia demuestra que la **Resistencia de unión al cizallamiento o shear bond** Strength (SBS) mejora significativamente con un **Tiempo de Maduración del Substrato** (≥24–72 horas), un paso crítico para permitir el desarrollo de la resistencia cohesiva del cemento y resolver la interferencia acuosa de su matriz fresca, la cual es además susceptible al "washout" o lavado (10–13). La durabilidad de la interfaz se sustenta en la adhesión química del monómero funcional **10-MDP** a los iones de calcio (Ca2+) liberados por el cemento de silicato de calcio (CSC) (14–17), formando una **nanocapa de sales 10-MDP-Ca** autoensamblada, estable e hidrolíticamente resistente (17,18). Finalmente, se subraya la necesidad de controlar el factor de configuración cavitario (**Factor C)** y mitigar la deflexión cuspídea (19) mediante la estratificación incremental (20) y el uso

indispensable de capas amortiguadoras, como las resinas compuestas reforzadas con fibra corta (SFRC). Las SFRC no solo disipan el estrés de polimerización, sino que también logra una resistencia adhesiva superior al umbral crítico de 20 MPa (21), proponiendo un protocolo clínico secuencial que combina la bioactividad, la química y la biomecánica para la longevidad restauradora.

Palabras Clave

Biodentine, terapia pulpar vital, adhesión dental, 10-mdp, resina compuesta reforzada con fibra corta, odontología biocinética, resistencia de unión al cizallamiento (SBS), cementos de silicato de calcio, selle periférico, lavado, remineralizacion.

---

1. *Introducción:*

La Odontología Restauradora contemporánea ha adoptado un enfoque biomimético que prioriza la conservación de la estructura dental y la preservación de la vitalidad pulpar (1). Este cambio fue impulsado por las limitaciones históricas del hidróxido de calcio ($Ca(OH)_2$), cuya alta solubilidad, inconsistente formación de puentes de dentina porosos y nula adhesión lo hicieron inadecuado para la longevidad restauradora (2,5).

La introducción de los cementos hidráulicos de silicato de calcio (CSC) transformó la terapia pulpar vital (TPV) (1). Estos materiales se definen por su capacidad de fraguar en presencia de agua a través de una reacción llamada hidratación (22). Entre ellos, Biodentine™, clasificado como un cemento de silicato de calcio (CSC) Tipo 4 (base de tricalcium silicato, acuoso y con modificadores de reacción), se ha consolidado como un sustituto de dentina bioactivo (22). Su composición, basada en silicato tricálcico puro, le

confiere propiedades físico-químicas mejoradas, un fraguado más rápido y una capacidad de sellado superior en comparación con cementos de primera generación como el MTA (23,24).

No obstante, la integración de este material hidráulico en el protocolo restaurador adhesivo final requiere una comprensión profunda de las interacciones fisicoquímicas y biomecánicas en la interfaz diente - Biodentine™ (18,25). El objetivo de esta revisión es establecer un protocolo clínico basado en la evidencia que concilie la bioactividad de Biodentine con la biomecánica y la química adhesiva avanzada, pilares fundamentales para alcanzar la longevidad restauradora.

2. Eficiencia Clínica y Mecanismos Bioactivos de Biodentine en la terapia pulpar vital

Biodentine ha demostrado una eficacia clínica superior en terapia pulpar vital, con un rendimiento biológico que va más allá de una simple barrera física (4,5,26).

2.1. Recubrimiento Pulpar Directo (DPC)

El éxito del cubrimiento pulpar directo DPC depende de la capacidad del material para estimular la formación de dentina reparadora de alta calidad (4). La reacción de hidratación del silicato tricálcico (C3S) en Biodentine se genera principalmente un gel de Silicato de Calcio Hidratado (C-S-H) e hidróxido de calcio ($Ca(OH)_2$) como subproducto (7,27). Este último se disocia, induciendo una liberación constante y elevada de iones de Calcio (Ca2+) e iones Hidroxilo (OH^-) (23,27).

- **Potencial Alcalino (pH ≈ 12.5):** La liberación de OH^- crea una alcalinidad que no

solo ejerce un efecto antibacteriano, sino que, fundamentalmente, modula la liberación de factores de crecimiento bioactivos (como el factor de crecimiento transformante TGF-β1) secuestrados en la matriz de dentina, los cuales son esenciales para iniciar la cascada de reparación (1).

- **Mecanismo de Diferenciación Celular:** La alta concentración de y el pH alcalino dirigen la diferenciación odontoblástica de las células madre de la pulpa dental DPSCs hacia un fenotipo odontoblástico (6). El calcio actúa como un mensajero secundario que facilita la expresión de genes marcadores como la fosfatasa alcalina (ALP) y el colágeno tipo I (COL1) (6). A través de esta liberación iónica sostenida, Biodentine asegura el requisito biofísico para la diferenciación celular y la formación de un puente de dentina denso y tubular (1,6).

2.2. Recubrimiento Pulpar Indirecto (IPC) y la Interfaz con la Dentina

En el Recubrimiento Pulpar Indirecto (IPC), Biodentine actúa como un agente de remineralización activa. Los iones liberados se difunden y precipitan al encontrar fosfatos en el fluido dentinario, formando depósitos de hidroxiapatita que sellan los túbulos (1,2). Crucialmente, se forma una "zona de infiltración mineral" en la interfaz dentina-material por una "grabado alcalino" que altera la estructura del colágeno y facilita la infiltración de iones de calcio y silicio del cemento en la dentina, creando una capa de intercambio iónico (1). Adicionalmente, el material penetra en los túbulos dentinarios formando "tags" cristalinos que contribuyen a una retención micromecánica (1).

2.3. Desafíos Físico-Químicos: Sellado, Fraguado y Resistencia al Lavado

A pesar de su bioactividad, la cinética de fraguado de Biodentine presenta desafíos. El cemento fresco es vulnerable al washout "lavado", es decir, a la desintegración por fluidos (sangre, irrigantes) durante sus primeras horas, lo que exige un sellado coronal oportuno (13). Una vez fraguado, sin embargo, Biodentine ofrece una capacidad de sellado superior al MTA, factor vital para la prevención de la microfiltración bacteriana (9,28). Sin embargo en cavidades oclusales donde la Biodentine está rodeada de cuatro paredes dentales es viable obturar toda la cavidad usando Biodentine como material de obturación temporal hasta que complete su maduración a las 2 semanas (24).

3. El Protocolo Adhesivo Biomimético: Maduración, Química y Estabilidad

La integración exitosa de Biodentine con la restauración final depende críticamente del manejo del tiempo, la elección del adhesivo y el reconocimiento de las propiedades del sustrato.

3.1. Gestión del Tiempo: Maduración del Substrato

La adhesión inmediata a Biodentine (12-14 minutos post-mezcla) a este sustrato hidráulico resulta en valores de **r**esistencia de unión al cizallamiento o shear bond Strength (SBS) bajos y clínicamente inaceptables, frecuentemente por debajo de 10 MPa (10,11).

- **Resistencia de unión al cizallamiento o shear bond** Strength **(SBS):** Múltiples estudios demuestran un aumento significativo y exponencial de la SBS cuando se permite un tiempo de maduración de al menos 24 a 72 horas, llegando a su máximo a las 2 semanas (10–12,29).
- **Justificación:** Este retraso es indispensable porque permite que la reacción de hidratación avance, el agua libre se evapore y el sustrato gane la resistencia cohesiva necesaria (la resistencia a la compresión aumenta de ~45 MPa a las 24h a ~67 MPa a los 28 días) para soportar las fuerzas de contracción de polimerización del composite (18,23,25,30). La aplicación de adhesivos sobre el material fresco, especialmente los de grabado total, puede alterar su microestructura y comprometer su integridad física (28,31).
- **Recomendación Biomimética:** El protocolo requiere un **Tiempo de Espera Mínimo de 24 a 72 horas** para garantizar la maduración y estabilidad del sustrato (10–12,18,29).

3.2. Adhesión:

La durabilidad de la unión a un sustrato de silicato de calcio depende de una adhesión química resistente a la hidrólisis (17). El monómero funcional **10-Metacriloiloxidecil Dihidrógeno Fosfato (10-MDP)** es el agente de acoplamiento clave (14).

- **El Concepto "Adhesión-Decalcificación":** Teóricamente se cree que el proceso de adhesión a Biodentine funciona es similar al de adhesión a dentina, donde el 10-MDP sigue la "ruta de adhesión". Su grupo funcional dihidrógeno fosfato reacciona

iónicamente con los iones Ca^{2+} liberados por el Biodentine madurado para formar sales de 10-MDP-Ca estables y con muy baja solubilidad en agua (15,16,17).

- **Nano capa entrelazada :** Esta reacción de precipitación forma una **nanocapa entrlazada** en la interfaz. Esta capa, densa e hidrofóbica, es el mecanismo por el cual se logra una unión química resistente a la degradación hidrolítica, un factor esencial para la durabilidad a largo plazo (17,18,32).

3.3. Implicaciones de los Adhesivos y Estrategia de Grabado

La elección del sistema adhesivo es crítica (25).

- **Adhesivos de Autograbado (Self-Etch):** Los sistemas que contienen 10-MDP, ya sean de autograbado o universales en modo autograbado, son los preferidos. Estos sistemas maximizan la unión química del 10-MDP sin alterar significativamente la superficie del Biodentine maduro (11,12,25,29).
- **Evitar el Grabado Total (Total-Etch):** La aplicación de ácido fosfórico sobre Biodentine, especialmente en sus fases tempranas, compromete su integridad estructural al disolver la fase de y aumentar la porosidad superficial, debilitando el sustrato (28,31,33).

3.4. Perspectiva Crítica: Durabilidad y Desafíos de la Interfaz

A pesar de los protocolos optimizados, la durabilidad de la unión sigue siendo un desafío. Estudios que emplean envejecimiento dinámico (termo ciclado) han reportado una alta

tasa de fallos prematuros en la interfaz con Biodentine, incluso con adhesivos de autograbado, donde las muestras se desprendieron durante el protocolo (31). Esto subraya que la interfaz puede ser frágil. La mayoría de los fallos ocurren de forma cohesiva dentro del propio Biodentine, lo que indica que su resistencia interna, especialmente en fases tempranas, es a menudo el eslabón más débil (10,11,31).

3.5. Análisis de los Valores Adhesivos Obtenidos en Estudios de Shear Bond Strength, resistencia de unión al cizallamiento (SBS)

La literatura científica presenta una notable variabilidad en los valores de resistencia de unión al cizallamiento (SBS) obtenidos, lo cual depende en gran medida del tiempo de maduración del sustrato, el sistema adhesivo empleado y su modo de aplicación.

- **Adhesión Inmediata (12-14 minutos):** La adhesión sobre Biodentine recién completada su fase de hidratación inicial e inmadura, es consistentemente baja y poco predecible. Estudios con adhesivos de grabado total como **Prime & Bond NT** (Dentsply) y **Optibond FL** (Kerr) reportan valores tan bajos como 9.12 MPa y 2.79 MPa, respectivamente (10,29). Los sistemas de autograbado en este período temprano muestran un rendimiento ligeramente superior pero aún insuficiente, con **Clearfil SE Bond** (Kuraray) alcanzando 5.72 MPa y **Clearfil S³ Bond** (Kuraray) 11.05 MPa (11,29). Una excepción notable fue reportada por Nekoofar et al., donde **All-Bond Universal** (Bisco) en modo autograbado alcanzó un valor sorprendentemente alto de **62.49 ± 16.39 MPa** a los 12 minutos, un hallazgo que los autores atribuyen a una posible interacción micromecánica con el cemento poroso

inmaduro, aunque este valor disminuyó drásticamente con la maduración del sustrato (11).

- **Adhesión Tras Maduración (≥24 horas):** El tiempo de maduración es el factor más crítico para mejorar la adhesión. A las 24 horas, Odabaş et al. demostraron que **Clearfil SE Bond** (2-pasos, autograbado) alcanzó **19.559 ± 7.582 MPa**, superando el umbral crítico de 17-20 MPa necesario para un sellado periférico efectivo (9,29). De manera similar, los adhesivos universales como **Scotchbond Universal** (3M ESPE) y **All-Bond Universal** mostraron valores de 19.16 MPa y 31.29 MPa respectivamente, tras un período de maduración (11,12). Aksoy y Ünal corroboraron que, independientemente del modo de aplicación (autograbado o grabado total), los adhesivos universales como **Single Bond Universal** (3M ESPE), **All-Bond Universal** y **G-aenial Universal Bond** (GC) alcanzan valores estables y clínicamente aceptables (12-15 MPa) después de 24 horas, sin diferencias significativas entre los modos de grabado (12).

Esta evidencia cuantitativa refuerza la recomendación de esperar al menos 24 horas antes de la adhesión y de seleccionar preferentemente un adhesivo con 10-MDP para optimizar la unión química.

4. Estrategias restaurativas: Control del Estrés para la Longevidad Restauradora

La longevidad depende tanto de la fuerza de adhesión como de la gestión de las tensiones internas que actúan sobre la interfaz.

4.1. El Factor C y el Umbral Crítico de Adhesión

El factor de configuración cavitaria (**Factor C)** cuantifica la tensión generada por la contracción de polimerización de la resina compuesta a partir del número de paredes adheridas en una restauración dental (20). Para asegurar la integridad marginal, la resistencia adhesiva debe superar un **umbral crítico de 17-20 MPa** (9). Como se detalló en la sección 3.5, muchos protocolos adhesivos convencionales logran valores que se sitúan peligrosamente cerca o por debajo de este umbral, lo que hace indispensable el uso de estrategias de reducción de estrés (10–12,29,33).

4.2. Reducción de Estrés en las restauraciones con resina compuesta.

Para proteger la interfaz y reducir la deflexión cuspídea (19), se aplican estrategias de disipación de estrés:

- **Capa Amortiguadora (Stress-Breaking Layer):** La inclusión de una capa basal de una **resina compuesta reforzada con fibra corta (SFRC)** es un componente clave. Las SFRC, con su bajo Módulo de Elasticidad, actúa como un amortiguador, absorbiendo y disipando el estrés de contracción (19,21).
- **Adhesión Superior con resina compuesta Reforzada con Fibra Corta (SFRC):** Más allá de su rol como amortiguador, se ha demostrado que los SFRC (como **everX Flow**, GC) pueden alcanzar una micro resistencia adhesiva (μSBS) al Biodentine madurado (48h) de **29.18 ± 2.86 MPa** (21). Este valor, muy por encima del umbral crítico, transforma la capa de las SFRC en un componente que mejora activamente

la robustez de toda la interfaz.

- **Estratificación por Reducción de Estrés:** El uso de la técnica incremental (capas de <2 mm) es obligatorio para reducir el Factor C efectivo de cada capa, limitando la tensión total transmitida al fondo de la cavidad (20).

5. Discusión: Protocolo Clínico Secuencial Óptimo sobre Biodentine

La evidencia integrada establece un protocolo biomimético secuencial para maximizar el éxito de la restauración sobre Biodentine.

Protocolo clínico.

1. **Aplicación y Sellado Provisional:** Aplicar Biodentine sobre la pulpa o la dentina profunda. El material se prepara añadiendo cinco gotas del líquido al polvo contenido en la cápsula y mezclando en un amalgamador a 4500 rpm durante 30 segundos (1). Sellar provisionalmente la cavidad con resina o ionómero de vidrio; También se puede usar únicamente Biodentine por no más de 2 semanas como material de selle temporal. Todo los procedimientos deben ser realizados bajo aislamiento absoluto con dique de goma (1,24,17), el ionómero de vidrio no se adhiere a la Biodentine y puede interferir en su proceso de hidratación, pero esta reportado como un material de restauración con ciertas limitaciones encima de Biodentine (31).
2. **Tiempo de Maduración (Mínimo 24–72 horas):** Citar al paciente para la restauración definitiva permitiendo un tiempo de maduración del sustrato. Este período es crucial para el desarrollo de la resistencia cohesiva del Biodentine y para

crear una superficie químicamente receptiva (10–12,18,29).

3. **Adhesión Química:** Tras la remoción de la restauración provisional, se deben conservar 3-4 mm de Biodentine entre la pulpa y la restauración final, aplicar un de Autograbado o **adhesivo universal o con 10-MDP en modo de autograbado** para establecer la nano capa de sales de MDP-Ca (14–17).
4. **Capa Amortiguadora y de Alta Adhesión:** Colocar una capa fina (1-1.5 mm) de resina compuesta reforzada con fibra corta (SFRC) sobre el Biodentine adherido y polimerizar. Esta capa cumple la doble función de disipar el estrés y proporcionar una unión al sustrato bioactivo (19,21).
5. **Restauración Final Biomimética:** Finalizar la restauración con resina compuesta utilizando una **técnica de estratificación incremental** (capas horizontales de <2 mm) para minimizar el Factor C y controlar el estrés de polimerización (20).

Este enfoque secuencial, que respeta la biología, la química y la biomecánica, es fundamental para asegurar la longevidad de las restauraciones sobre un sustrato bioactivo como Biodentine.

6. .Evidencia Clínica del Éxito de los Cementos de Silicato de Calcio

La superioridad de los cementos de silicato de calcio (CSC), incluyendo Biodentine y MTA, sobre el hidróxido de calcio ($Ca(OH)_2$) en terapia pulpar vital está bien documentada. Un metaanálisis reciente de Matsuura et al. que evaluó estudios a largo plazo encontró que los CSC tienen una tasa de éxito significativamente mayor que el $Ca(OH)_2$ en DPC (Risk Ratio = 1.25, $p = 0.0001$) (4). Específicamente, al comparar

Biodentine con MTA, el mismo metaanálisis no encontró diferencias estadísticamente significativas en sus tasas de éxito (4). Esto es corroborado por múltiples ensayos clínicos aleatorizados (ECAs). Por ejemplo, Suhag et al. reportaron una tasa de éxito a 12 meses del 93% para MTA frente al 69% para $Ca(OH)_2$, una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) (5). En estudios comparativos directos, Katge y Patil encontraron tasas de éxito del 100% tanto para Biodentine como para MTA en DPC de molares permanentes jóvenes a los 12 meses (1). De manera similar, Brizuela et al. reportaron un 100% de éxito para Biodentine, en comparación con un 86.4% para MTA y $Ca(OH)_2$ en una población pediátrica (1). Para el recubrimiento pulpar indirecto, Hashem et al. encontraron que Biodentine tenía una tasa de éxito clínico del 77.8% a los 24 meses, superior al 66.7% del ionómero de vidrio, aunque la diferencia no fue estadísticamente significativa en su estudio (1). En conjunto, esta evidencia cuantitativa demuestra que Biodentine es al menos tan eficaz como el MTA y ambos son superiores al hidróxido de calcio, validando su uso como material de elección en protocolos de preservación pulpar vital.

7. Perspectivas Futuras

La investigación en CSCs continúa evolucionando. El futuro podría traer nuevas formulaciones de Biodentine o materiales análogos con tiempos de fraguado y maduración acelerados que permitan protocolos adhesivos fiables en una sola cita, sin comprometer sus propiedades bioactivas y mecánicas. La incorporación de nuevas tecnologías, como partículas bioactivas mejoradas o aceleradores de hidratación más

eficientes, es un área de investigación activa (26). Para exposiciones pulpares accidentales en un campo estéril, el protocolo descrito anteriormente es el de elección, ya que el pronóstico es aún más favorable que en exposiciones por caries debido a la ausencia de contaminación bacteriana previa (1). La adhesión de la ciencia de materiales y la biología pulpar seguirá refinando estos protocolos para hacer la terapia pulpar vital un procedimiento cada vez más predecible.

Este articulo se redacto con la ayuda de inteligencia artificial Gemini by Google .

Bibliografía

1. About I, editor. Biodentine™: Properties and Clinical Applications. Springer Nature Switzerland AG; 2022.
2. Arandi NZ, Thabet M. Minimal Intervention in Dentistry: A Literature Review on Biodentine as a Bioactive Pulp Capping Material. BioMed Research International. 2021;2021:5569313.
3. Rajasekharan S, Martens LC, Cauwels RGE, Anthonappa RP. Biodentine™ material characteristics and clinical applications: a 3 year literature review and update. European Archives of Paediatric Dentistry. 2018;19:1-22.
4. Matsuura T, Ziauddin SM, Kawata-Matsuura VKS, Sugimoto K, Yamada S, Yoshimura A. Long-term clinical and radiographic evaluation of the effectiveness of direct pulp capping materials: A meta-analysis. Dent Mater J. 2021;40(1):1–7.
5. Suhag K, Duhan J, Tewari S, Sangwan P. Success of Direct Pulp Capping Using Mineral Trioxide Aggregate and Calcium Hydroxide in Mature Permanent Molars with Pulps Exposed during Carious Tissue Removal: 1-year Follo[1]w-up. J Endod. 2019;45(7):840-847.
6. Lee JK, Lee SY, Lee YJ, Kim H. Osteogenic differentiation of human dental pulp stem cells by calcium silicate-based cements: the role of calcium ions and alkaline pH. J Endod. 2015;41(7):1064-1068.
7. Camilleri J, Laurent P, About I. Hydration of Biodentine, Theracal LC, and a Prototype Tricalcium Silicate-based Dentin Replacement Material after Pulp Capping in Entire Tooth Cultures. J Endod. 2014;40(11):1846-1854.
8. Camilleri J. Hydration characteristics of Biodentine and Theracal used as pulp

capping materials. Dent Mater. 2014;30(6):709-715.

9. Samuel A, Asokan S, Priya PRG, Thomas S. Evaluation of sealing ability of Biodentine and mineral trioxide aggregate in primary molars using scanning electron microscope: A randomized controlled in vitro trial. Int J Clin Pediatr Dent. 2015;8(1):47-51.
10. Ha HT. The effect of the maturation time of calcium silicate-based cement (Biodentine) on resin bonding: an in vitro study. Appl Adhes Sci. 2019;7(1):1.
11. Nekoofar MH, Motevasselian F, Mirzaei M, Yassini E, Pouyanfar H, Dummer PMH. The Micro-Shear Bond Strength of Various Resinous Restorative Materials to Aged Biodentine. Iran Endod J. 2018;13(3):356-361.
12. Aksoy S, Ünal M. Shear bond strength of universal adhesive systems to a bioactive dentin substitute (Biodentine®) at different time intervals. Stomatological Dis Sci. 2017;1:116-22.
13. Falkowska-Ostrowska J, Dura W. The Washout Resistance of Bioactive Root-End Filling Materials—A Systematic Review. J Clin Med. 2025;14:2446.
14. Van Landuyt KL, Snauwaert J, De Munck J, Peumans M, Yoshida Y, Poitevin A, et al. Systematic review of the chemical composition of contemporary dental adhesives. Biomaterials. 2007;28(26):3757-3785.
15. Yoshihara K, Hayakawa S, Nagaoka N, Okihara T, Yoshida Y, Van Meerbeek B. Etching Efficacy of Self-Etching Functional Monomers. J Dent Res. 2018;97(7):772-777.
16. Yoshihara K, Nagaoka N, Hayakawa S, Okihara T, Yoshida Y, Van Meerbeek B. Chemical interaction of glycero-phosphate dimethacrylate (GPDM) with

hydroxyapatite and dentin. Dent Mater. 2018;34(7):1072-1081.

17. Van Meerbeek B, Yoshihara K, Yoshida Y, Mine A, De Munck J, Van Landuyt KL. State of the art of self-etch adhesives. Dent Mater. 2011;27(1):17-28.
18. Hashem DF, Foxton R, Manoharan A, Watson TF, Banerjee A. The physical characteristics of resin composite-calcium silicate interface as part of a layered/laminate adhesive restoration. Dent Mater. 2014;30(3):343-349.
19. Kose B, Arslan S. Evaluation of cuspal deflection and fracture resistance of endodontically treated teeth restored with different restorative material combinations. Clin Oral Investig. 2025;29:380.
20. Deliperi S, Bardwell DN. An alternative method to reduce polymerization shrinkage in direct posterior composite restorations. J Am Dent Assoc. 2002;133(10):1387-98.
21. Topbaş C, Kul AK. Can flowable short-fiber-reinforced resins achieve a strong adhesion to bioceramics? Microsc Res Tech. 2024;87(12):2964-2973.
22. Camilleri J. Classification of Hydraulic Cements Used in Dentistry. Front Dent Med. 2020;1:9.
23. Al-Sherbiny IM, Farid MH, Abu-Seida AM, Motawea IT, Bastawy HA. Chemico-physical and mechanical evaluation of three calcium silicate-based pulp capping materials. Saudi Dental Journal. 2021;33:207-214.
24. Koubi G, Colon P, Franquin JC, Hartmann A, Richard G, Faure MO, Lambert G. Clinical evaluation of the performance and safety of a new dentine substitute, Biodentine, in the restoration of posterior teeth a prospective study. Clin Oral Investig. 2013;17(1):243-9.
25. Pradelle-Plasse N, Mocquot C, Semennikova K, Colon P, Grosgogeat B. Adhesive

interface of resin composite over Biodentine: A literature review. Restor Dent Endod. 2021;46(1):e3.

26. Abdalla MM, Lung CKY, Neelakantan P, Matinlinna JP. A novel, doped calcium silicate bioceramic synthesized by sol-gel method: Investigation of setting time and biological properties. J Biomed Mater Res B Appl Biomater. 2019;107(8):2576-2584.
27. Camilleri J. Hydration characteristics of Biodentine and Theracal used as pulp capping materials. Dent Mater. 2014;30(6):709-715.
28. Agrafioti A, Tzimpoulas N, Chatzitheodoridis E, Kontakiotis EG. Comparative evaluation of sealing ability and microstructure of MTA and Biodentine after exposure to different environments. Clin Oral Investig. 2016;20(7):1535-40.
29. Odabaş ME, Bani M, Tirali RE. Shear Bond Strengths of Different Adhesive Systems to Biodentine. The Scientific World Journal. 2013;2013:626103.
30. Alqahtani AS, Sulimany AM, Alayad AS, Alqahtani AS, Bawazir OA. Evaluation of the Shear Bond Strength of Four Bioceramic Materials with Different Restorative Materials and Timings. Materials. 2022;15(13):4668.
31. Meraji N, Camilleri J. Bonding over Dentin Replacement Materials. J Endod. 2017;43(8):1343-1349.
32. Cantekin K, Avci S. Evaluation of shear bond strength of two resin-based composites and glass ionomer cement to pure tricalcium silicate-based cement (Biodentine®). J Appl Oral Sci. 2014;22(4):302-6.
33. Krawczyk-Stuss M, Nowak J, Bołtacz-Rzepkowska E. Bond strength of Biodentine to a resin-based composite at various acid etching times and with different adhesive strategies. Dent Med Probl. 2019;56(1):39-44.