Avances en la regeneración tisular periodontal: mecanismos biológicos y biomateriales.

Muñoz Vargas Camila Daniela, González Flores Paulina Saribeth

Resumen

La regeneración tisular periodontal busca restaurar la estructura y función de los tejidos de soporte dental perdidos por la periodontitis. En las últimas décadas, los avances en biología celular, mediadores moleculares y desarrollo de biomateriales han permitido mejorar las estrategias terapéuticas. El principal propósito de esta revisión narrativa es describir los mecanismos biológicos implicados en la regeneración periodontal y analizar el papel de los biomateriales utilizados. Muchos de los biomateriales actuales han demostrado resultados clínicos favorables en la ganancia de inserción y reducción de defectos óseos; sin embargo, la predictibilidad terapéutica aun presenta variabilidad. Se realizó una revisión de la literatura científica disponible en la base de datos que incluyen revisiones y ensayos clínicos relacionadas con regeneración tisular, proteínas de la matriz del esmalte y sustitutos óseos. La evidencia indica que la regeneración periodontal depende de la interacción coordinada entre células progenitoras y biomateriales capaces de favorecer la formación de nuevo cemento, ligamento periodontal y hueso alveolar. Conclusión; la regeneración tisular periodontal representa un campo constante de evolución que integra principios biológicos y tecnológicos, requiriendo mayor evidencia clínica a largo plazo para optimizar los protocolos de tratamiento.

Palabras clave: Regeneración periodontal, biomateriales, regeneración tisular, periodontitis.

Abstract

Periodontal tissue regeneration aims to restore the structure and function of the dental support tissues lost due to periodontitis. In recent decades, advances in cell biology, molecular mediators, and biomaterial development have led to improved therapeutic strategies. The main purpose of this narrative review is to describe the biological mechanisms involved in periodontal regeneration and analyze the role of the biomaterials used. Many current biomaterials have demonstrated favorable clinical results in attachment gain and reduction of bone defects; however, therapeutic predictability still exhibits variability. A review of the scientific literature available in the database was conducted, including reviews and clinical trials related to tissue regeneration, enamel matrix proteins, and bone substitutes. The evidence indicates that periodontal regeneration depends on the coordinated interaction between progenitor cells and biomaterials capable of promoting the formation of new cementum, periodontal ligament, and alveolar bone. Conclusion; Periodontal tissue regeneration represents a constantly evolving field that integrates biological and technological principles, requiring more long-term clinical evidence to optimize treatment protocols.

Keywords: Periodontal regeneration, biomaterials, tissue regeneration, periodontitis.

* Universidad de Guadalajara, Centro universitario de ciencias de la Salud.
Correo de correspondencia: camila.munoz@alumnos.udg.mx

Introducción

La enfermedad periodontal es una de las principales causas de perdida dental a nivel mundial, caracterizada por la destrucción progresiva no solo del ligamento periodontal sino del cemento radicular y el hueso alveolar.[1] Adultos y personas de edad avanzada pueden presentar enfermedades que afectan la integridad del periodonto y ocasionan la pérdida de dientes. La ausencia de varias piezas dentales puede generar dificultades para masticar o hablar. Asimismo, la pérdida del hueso que rodea los dientes puede reducir las posibilidades de realizar ciertos procedimientos quirúrgicos.[2]

A pesar de que el tratamiento convencional ha tenido grandes avances solo se logra reparar el tejido periodontal dejando de lado el hueso alveolar y el cemento, lo que imposibilita una función original del periodonto.[3] En las últimas décadas, el desarrollo de la medicina regenerativa ha transformado por completo el enfoque terapéutico en periodoncia. Ahora la comprensión de los mecanismos biológicos implicados en la cicatrización, la señalización celular y la interacción entre células y matriz extracelular han permitido diseñar estrategias orientadas a la regeneración tisular verdadera.[4] En dicho desarrollo, se comprende también el avance de los biomateriales y sistemas de liberación controlada de factores de crecimiento que han ampliado aún más las posibilidades clínicas. Este proceso se caracteriza por la dificultad que implica la limitada capacidad de regeneración natural del periodonto y por la necesidad de reconstruir varios tejidos específicos junto con sus complejas estructuras.[5]

Procesos de cicatrización vs regeneración

El periodonto constituye el conjunto de tejidos que rodean y sostienen a los órganos dentarios dentro

del hueso alveolar, desempeñando además un papel fundamental como barrera biológica frente a la invasión de microorganismos, principalmente bacterias. De esta manera, contribuye a la protección de estructuras como los vasos sanguíneos, las células del tejido conectivo y los propios órganos dentales.[6]

Anatómicamente, el periodonto está conformado por tejidos blandos y tejidos duros. Entre los tejidos blandos se incluyen la encía, la mucosa alveolar y el ligamento periodontal, mientras que los tejidos duros están representados por el hueso alveolar y el cemento radicular.[7] La encía cumple una función protectora al cubrir y resguardar las estructuras periodontales subyacentes, actuando como una primera línea de defensa frente a estímulos externos y agentes patógenos que pueden desencadenar procesos inflamatorios del periodonto y, en ausencia de tratamiento oportuno, evolucionar hacia periodontitis. A manera microscópica suele dejar cicatrices que, aunque de manera macroscópica podría verse una enfermedad periodontal resuelta, no lo está.[8]

Los tejidos cutáneos y los tejidos periodontales presentan un patrón de cicatrización similar, comprendiendo una serie de fases biológicas bien definidas que incluyen la hemostasia, la inflamación, la proliferación celular y la remodelación tisular. No obstante, el proceso de cicatrización de las heridas periodontales presenta características particulares en comparación con la cicatrización cutánea.[9] En los tejidos periodontales, la reparación tiende a desarrollarse con una formación mínima de tejido cicatricial, lo que favorece la preservación de la arquitectura y funcionalidad de las estructuras periodontales.[10] La regeneración tisular, tiene como objetivo regresar a su forma original al periodonto, y para que se lleve a cabo de manera adecuada esta debe seguir una línea organizada de cicatrización. Para proveer una completa regeneración se han utilizado diferentes métodos que buscan el mismo fin de regresar la estética y la función completa del periodonto. Estos métodos se enfocan en biomateriales e injertos para así compensar la pérdida ósea.[8]

Angiogenesis en tejidos periodontales

La respuesta inflamatoria se agrava en presencia de infección periodontal debido a un incremento en la hipoxia tisular, causando alteraciones en la microvasculatura de los vasos sanguíneos. Estas modificaciones favorecen la progresión de la enfermedad periodontal.[11] Como consecuencia de este deterioro estructural la fenestración, la pérdida de inserción ósea y la dehiscencia son hallazgos clínicos que pueden presentarse con frecuencia durante la progresión de la periodontitis, reflejando el deterioro de los tejidos de soporte.[12] La angiogénesis consiste en la formación de nuevos vasos sanguíneos a partir de la vasculatura preexistente; caracterizado por la separación de células madre de microvasos capilares con un diámetro inferior a 100 µm así como por la descomposición de la matriz extracelular. Los vasos sanguíneos neoformados pueden contribuir a que la cicatrización progrese gracias al oxígeno, los nutrientes, las células inmunológicas y otros elementos de crecimiento. Respecto a la odontología, la angiogénesis tiene un rol importante en la curación de heridas y está constantemente involucrada en el uso de implantes dentales, injertos óseos y membranas de barrera.[13]

El proceso angiogénico es la base de la odontología regenerativa. Con el objetivo de optimizar la regeneración de tejidos óseos y blandos, se han identificado distintas células madre en la cavidad bucal a lo largo de los años.[13] La vascularización de los ligamentos periodontales y el microambiente inflamatorio de la periodontitis facilitó la estimulación de la angiogénesis de las células del ligamento periodontal.[14]

Células madre del ligamento periodontal

Las células madre que se obtiene de la cavidad bucal son especialmente interesantes. Se sabe que el desarrollo dental se produce mediante la señalización inductiva recíproca entre el ectomesénquima y el epitelio oral. Las células que se originan de la cresta neural migratoria son una población celular multipotente que proviene de las crestas laterales de la placa neural durante el desarrollo del cráneo y la cara. Las células de la cresta neural, que tienen propiedades de multipotencia y pluripotencia, juegan un papel estratégico en el desarrollo del órgano dental y ayudan a crear el hueso craneofacial. En realidad, pueden ser vistas hoy en día como la cuarta capa germinal.[15]

Hoy en día se han descrito seis tipos de células madre dentales humanas: Células madre del folículo dental, Células madre gingivales, Células madre de dientes deciduos exfoliados, Células madre de pulpa dental, Células madre del ligamento periodontal, Células madre de papila apical. Se ha demostrado que el ligamento periodontal alberga células madre capaces de participar en la restauración del tejido periodontal afectado, regenerando así, el cemento radicular, el ligamento periodontal y los tejidos de soporte.[13]

Las células madre del ligamento periodontal (PDLSC) tienen capacidad de autorrenovación, multipotencialidad y propiedades inmunomoduladoras, representan una opción muy prometedora para el tratamiento del periodonto afectado.[15] Asimismo, células con las características células madre mesenquimales se han encontrado en la regeneración de tejidos periodontales, lo que refuerza su participación en la regeneración periodontal. Estas mismas propiedades también se han observado en células derivadas de otros tejidos dentales, incluyendo la pulpa de dientes humanos deciduos.[16,17]

Los injertos óseos constituyen una alternativa terapéutica ampliamente utilizada para el manejo de defectos óseos en periodoncia. Estos biomateriales pueden adquirirse del mismo ser humano (autoinjertos), de un individuo distinto pero de la misma especie (xenoinjertos) o de una especie diferente (aloinjertos). Los dos tipos de injertos más utilizados en la rama de la odontología son los autoinjertos y los xenoinjertos.[18]

Los autoinjertos representan el material ideal para injerto óseo, ya que reúnen las tres propiedades esenciales para una reparación adecuada: células osteogénicas viables, factores de crecimiento inductivo, y andamiaje de matriz calcificada. Generalmente se obtienen de sitios extraorales como la cresta ilíaca, la tibia y la calota craneal.[19]

Es el tipo de injerto que más se utiliza alrededor de todo el mundo, sin embargo, existe un riesgo de transmisión de infecciones, además de poder desarrollar una respuesta inmunitaria a las proteínas residuales del injerto. La mayor parte de estos injertos se obtienen de hueso bovino, a pesar de ser una gran alterativa de injerto óseo, puede existir desafíos biológicos debido a la probabilidad de un rechazo inmunitario.[19]

A comparación con los procedimientos de desbridamiento con colgajo abierto, los injertos óseos favorecen el aumento del nivel óseo, disminuyen la pérdida de hueso crestal y aumentan el nivel de inserción clínica y reducen la profundidad de sondaje.[20] Los autoinjertos han demostrado una mayor tasa de reabsorción de hasta 30 % durante el primer año, seguido de los aloinjertos que presentan menor pérdida ósea inicial y adecuada integración tisular. Por su parte los xenoinjertos ofrecen mayor estabilidad dimensional con reabsorción lenta. A pesar de ello, los autoinjertos continúan siendo el estándar de oro por sus propiedades biológicas. No obstante, la selección de estos biomateriales debe basarse en la idoneidad de las necesidades viológicas del paciente; ya sea autólogo o xenoinjerto puede dejarse al criterio y discreción del clínico.[21]

Sustitutos óseos sintéticos

Los sustitutos óseos sintéticos o también conocidos como aloplásticos son biomateriales compuestos por elementos químicos presentes de manera natural en el tejido óseo, principalmente calcio y fosfato. Se ha demostrado que estos fomentan la regeneración ósea, aunque no necesariamente su estructura original exacta. Uno de los tantos beneficios de este tipo de sustitutos es la poca existencia de riesgo de enfermedades infecciosas lo que los convierte en una alternativa segura dentro de la odontología regenerativa.[22]

Entre los sustitutos sintéticos más estudiados destacan los fosfatos de calcio, como lo es la hidroxiapatita, el β-fosfato tricálcico y los fosfatos bifásicos, ya que estos son los materiales más utilizados para la regeneración ósea debido a su gran similitud con la composición de un hueso natural, esto favorece la adhesión celular y acelera la formación de nuevo tejido óseo. [23]

La hidroxiapatita es considerada un material bioactivo por sus propiedades osteoconductoras, las cuales facilitan la aposición, adhesión y migración de osteoblastos sobre la superficie del biomaterial. Estudios sobre injertos óseos de hidroxiapatita ya

Biomaterial	Tipo	Mecanismo de acción	Propiedades	Resultado esperado
Autoinjerto	Injerto óseo	Osteogénesis, osteoconducción, osteoinducción	Contiene células viables y factores de crecimiento	Formación directa de hueso nuevo
Aloinjerto	Injerto óseo	Principalmente osteoconducción y parcialmente osteoinducción	Matriz ósea procesada con proteínas residuales	Andamiaje para regeneración ósea
Xenoinjerto	Injerto óseo	Osteoconducción	Estructura mineral similar al hueso humano	Mantenimiento del volumen óseo
Hidroxiapatita	Sustituto sintético	Osteoconducción	Alta biocompatibilidad, bioactividad	Adhesión y proliferación de osteoblastos
β-fosfato tricálcico	Sustituto sintético	Osteoconducción y reabsorción controlada	Biodegradable, soporte estructural temporal.	Sustitución progresiva por hueso nuevo
Vidrio bioactivo	Sustituto sintético	Liberación iónica y formación de capa de apatita	Estimula osteointegración y angiogénesis	Unión directa con tejido óseo
Matriz ósea desmineralizada	Matriz biológica	Osteoinducción	Contiene proteínas óseas	Estimulación de formación ósea
Membranas de colágeno	Barrera	Exclusión celular selectiva y soporte de cicatrización	Hemostáticas semipermeables	Regeneración guiada de tejidos
Membranas no reabsorbibles	Barrera	Mantenimiento del espacio y exclusión celular	Alta rigidez estructural	Regeneración en grandes defectos
Membranas de hidrogel (quitina)	Biomaterial avanzado	Activación antimicrobiana y soporte celular	Biocompatibles, citocompatibles	Favorecer la osteogénesis y cicatrización
Células madre del ligamento periodontal	Terapia celular	Diferenciación de tejidos periodontales	Autorrenovación, multipotencialidad	Regeneración completa del periodonto

sean solos o combinados con otros sustitutos óseos han demostrado que ha habido una ganancia ósea en la regeneración del hueso alveolar de soporte.[24]

El β-fosfato tricálcico es un material altamente biocompatible, reabsorbible y osteoconductor que ha sido utilizado ampliamente para la reparación de defectos óseos, que por sus características físico-químicas permite mantener con precisión el espacio del defecto, favoreciendo el soporte mecánico inicial y la posterior neoformación ósea.

Otro biomaterial altamente utilizado es el vidrio bioactivo. Tras su implantación interactúa de manera eficaz con los fluidos corporales, formando una capa superficial que se transforma en apatita, lo cual permite una correcta unión con el hueso y favorece la osteointegración. Su elevada biocompatibilidad y porosidad facilitan la reabsorción progresiva, la entrada de células y vasos sanguíneos, promoviendo de esta manera la regeneración.[25]

Matrices biológicas complementarias

La matriz ósea desmineralizada es un material de uso frecuente que se utiliza como sustituto óseo. Aunque este es de origen humano y se obtiene mediante un proceso ácido que conserva proteínas mismas del hueso, así como factores de crecimiento que tienen capacidad osteogénica, además de minerales y restos celulares. Cuando se coloca en defectos óseos, actúa como una matriz reabsorbible que libera componentes biológicos, favoreciendo la formación de nuevo hueso y acelerando su cicatrización.[26]

Membranas para regeneración tisular guiada

La regeneración ósea guiada (ROG) y la regeneración tisular guiada (RTG) emplean membranas que actúan como una barrera para impedir la infiltración de células no deseadas y así, poder favorecer la regeneración. La eficacia de ambas dependerá de la presencia de células osteogénicas y de materiales bioactivos. Estas membranas deben exhibir una excelente biocompatibilidad y una estabilidad funcional prolongada. También se espera que garanticen la estabilidad espacial y biomecánica del sitio de la lesión al filtrar las células y los tejidos dañinos y proteger el tejido emergente.[27] De acuerdo con su composición, las membranas se clasifican en reabsorbibles y no reabsorbibles.[28]

Aunque no existe un biomaterial que sea capaz de regenerar por completo los tejidos periodontales, sobre todo cuando los defectos son grandes, por esta razón se han desarrollado diversos tipos de membranas con distintas propiedades para mejorar los resultados.[27]

Entre los biomateriales más innovadores destacan las membranas de hidrogel de quitina, un polisacárido natural que presenta propiedades antibacteriales y repelente en la superficie externa, mientras que en su superficie interna facilita la formación ósea por su biodegradabilidad, citocompatibilidad, adhesión a la mucosa y propiedades antiinflamatorias.[29] Estudios in vitro demuestran la alta compatibilidad y la capacidad osteogénica que contiene.[30]

El colágeno constituye otro de los materiales más utilizados en membranas reabsorbibles participando en procesos celulares como el crecimiento, la migración y la proliferación, estrechamente vinculados a mecanismos fisiológicos de adaptación y regeneración tisular.[31] Además su condición semipermeable favorece el paso de nutrientes, mientras que sus propiedades hemostáticas por su capacidad de agregar plaquetas posibilitan con esto la estabilización de un coagulo, un elemento indispensable para el éxito regenerativo.[2]

Los resultados clínicos y preclínicos en procedimientos regenerativos que utilizan membranas, como el aumento óseo horizontal y vertical, el levantamiento de seno maxilar y la colocación inmediata de implantes, han mostrado una fuerte evidencia positiva.[3] Las membranas no reabsorbibles son altamente utilizadas en defectos periodontales extensos y cuyo tiempo de reparación aún más largo, ya que estas mantienen su integridad estructural y, por tanto, su función de barrera durante el lapso del tratamiento. Su principal desventaja es que se debe realizar una segunda cirugía para retirarlas, lo que podría dañar los tejidos recién restaurados.[32]

La complicación más frecuente de las membranas no reabsorbibles es la exposición, que afecta negativamente al resultado final con ambos tipos

de membranas. Para los procedimientos de aumento óseo vertical, las membranas no reabsorbibles son las más adecuadas. En el caso de defectos combinados, ambos tipos ofrecen un resultado satisfactorio.[33]

Referencias

1. Villoria GEM, Fischer RG, Tinoco EMB, Meyle J, Loos BG. Periodontal disease: A systemic condition. Periodontol 2000. 2024 Oct 4;96(1):7–19. doi:10.1111/prd.12616
2. Medisur. 2003.
3. Daghrery A, Bottino MC. Advanced biomaterials for periodontal tissue regeneration. genesis. 2022 Sep 16;60(8–9). doi:10.1002/dvg.23501
4. Ramseier CA, Abramson ZR, Jin Q, Giannobile W V. Gene therapeutics for periodontal regenerative medicine. Dent Clin North Am. 2006 Apr;50(2):245–63, ix. doi:10.1016/j.cden.2005.12.001 PubMed PMID: 16530061.
5. FISCHER RG, GOMES FILHO IS, CRUZ SS da, OLIVEIRA VB, LIRA-JUNIOR R, SCANNAPIECO FA, et al. What is the future of Periodontal Medicine? Braz Oral Res. 2021;35(suppl 2). doi:10.1590/1807-3107bor-2021.vol35.0102
6. Chen FM, Jin Y. Periodontal Tissue Engineering and Regeneration: Current Approaches and Expanding Opportunities. Tissue Eng Part B Rev. 2010 Apr;16(2):219–55. doi:10.1089/ten.teb.2009.0562
7. Santos MS, Silva JC, Carvalho MS. Hierarchical Biomaterial Scaffolds for Periodontal Tissue Engineering: Recent Progress and Current Challenges. Int J Mol Sci. 2024 Aug 6;25(16). doi:10.3390/ijms25168562 PubMed PMID: 39201249.
8. Takata T. Oral wound healing concepts in periodontology. Curr Opin Periodontol. 1994;119–27. PubMed PMID: 8032452.
9. Current opinion in periodontology. 1993.
10. Cho YD, Kim KH, Lee YM, Ku Y, Seol YJ. Periodontal Wound Healing and Tissue Regeneration: A Narrative Review. Pharmaceuticals. 2021 May 12;14(5):456. doi:10.3390/ph14050456
11. Celik D, Kantarci A. Vascular Changes and Hypoxia in Periodontal Disease as a Link to Systemic Complications. Pathogens. 2021 Oct 5;10(10):1280. doi:10.3390/pathogens10101280
12. Liu J, He J, Zhang Z, Liu L, Cao Y, Zhang X, et al. Single-cell transcriptomics identifies PDGFRA+ progenitors orchestrating angiogenesis and periodontal tissue regeneration. Int J Oral Sci. 2025 Jul 24;17(1):56. doi:10.1038/s41368-025-00384-6
13. Baru O, Nutu A, Braicu C, Cismaru CA, Berindan-Neagoe I, Buduru S, et al. Angiogenesis in Regenerative Dentistry: Are We Far Enough for Therapy? Int J Mol Sci. 2021 Jan 19;22(2):929. doi:10.3390/ijms22020929
14. Zhang Z, Shuai Y, Zhou F, Yin J, Hu J, Guo S, et al. PDLSCs Regulate Angiogenesis of Periodontal Ligaments via VEGF Transferred by Exosomes in Periodontitis. Int J Med Sci. 2020;17(5):558–67. doi:10.7150/ijms.40918
15. Trubiani O, Pizzicannella J, Caputi S, Marchisio M, Mazzon E, Paganelli R, et al. Periodontal Ligament Stem Cells: Current Knowledge and Future Perspectives. Stem Cells Dev. 2019 Aug;28(15):995–1003. doi:10.1089/scd.2019.0025
16. Solís Suárez DL, Pérez Martínez IO, García Hernández AL. Mecanismos inflamatorios en la destrucción periodontal. Revista Odontológica Mexicana Órgano Oficial de la Facultad de Odontología UNAM. 2020 Apr 21;23(3). doi:10.22201/fo.1870199xp.2019.23.3.75626
17. Cui Y, Li X, He X, Zhou X, Wang X, Lin K, et al. Schwann cell-derived exosomes accelerate periodontal bone regeneration with osteogenesis, angiogenesis, and neurogenesis. J Mater Chem B. 2025;13(12):4020–9. doi:10.1039/D4TB02601B
18. AlGhamdi AS, Shibly O, Ciancio SG. Osseous grafting part I: autografts and allografts for periodontal regeneration--a literature review. J Int Acad Periodontol. 2010 Apr;12(2):34–8. PubMed PMID: 20465029.
19. Haugen HJ, Sanz J, Perale G, Saiz AM, Romandini M, Rahmati M. Bone Grafts: Everything You Need to Know. J Periodontal Res. 2026 Feb 19. doi:10.1111/jre.70087
20. Reynolds MA, Aichelmann-Reidy ME, Branch-Mays GL, Gunsolley JC. The Efficacy of Bone Replacement Grafts in the Treatment of Periodontal Osseous Defects. A Systematic Review. Ann Periodontol. 2003 Dec;8(1):227–65. doi:10.1902/annals.2003.8.1.227
21. Menicanin D, Hynes K, Han J, Gronthos S, Bartold PM. Cementum and Periodontal Ligament Regeneration. In. 2015. p. 207–36. doi:10.1007/978-3-319-22345-2_12
22. Fukuba S, Okada M, Nohara K, Iwata T. Alloplastic Bone Substitutes for Periodontal and Bone Regeneration in Dentistry: Current Status and Prospects. Materials. 2021 Feb 26;14(5):1096. doi:10.3390/ma14051096
23. Cheah CW, Al-Namnam NM, Lau MN, Lim GS, Raman R, Fairbairn P, et al. Synthetic Material for Bone, Periodontal, and Dental Tissue Regeneration: Where Are We Now, and Where Are We Heading Next? Materials. 2021 Oct 15;14(20):6123. doi:10.3390/ma14206123
24. Varghese J, Rajagopal A, Shanmugasundaram S. Role of Biomaterials Used for Periodontal Tissue Regeneration—A Concise Evidence-Based Review. Polymers (Basel). 2022 Jul 27;14(15):3038. doi:10.3390/polym14153038
25. Wang H, Kang J. Bone grafts and synthetic substitutes in dental applications: a comprehensive review of molecular mechanisms, materials evolution, and clinical perspective. Front Bioeng Biotechnol. 2026 Jan 12;13. doi:10.3389/fbioe.2025.1759864
26. Gruskin E, Doll BA, Futrell FW, Schmitz JP, Hollinger JO. Demineralized bone matrix in bone repair: History and use. Adv Drug Deliv Rev. 2012 Sep;64(12):1063–77. doi:10.1016/j.addr.2012.06.008
27. Bottino MC, Thomas V. Membranes for Periodontal Regeneration - A Materials Perspective. In. 2015. p. 90–100. doi:10.1159/000381699
28. Alqahtani A, Moorehead R, Asencio IO. Guided Tissue and Bone Regeneration Membranes: A Review of Biomaterials and Techniques for Periodontal Treatments. Polymers (Basel). 2023 Aug 10;15(16):3355. doi:10.3390/polym15163355
29. Yürük G, Demir YD, Vural Ş, Kehr NS. Polymeric biomaterials for periodontal tissue engineering and periodontitis. RSC Applied Polymers. 2024;2(4):534–56. doi:10.1039/D4LP00001C