

Materiales Reabsorbibles en el Tratamiento de Fracturas Maxilofaciales Pediátricas

Pimentel-Mendoza AB¹, Rico-Pérez L², Villarreal-Gómez LJ¹

¹Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Tijuana, Baja California, México, alex.pimentel@uabc.edu.mx, luis.villarreal@uabc.edu.mx

²Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, larico@uacj.mx

Resumen. - *Las fracturas maxilofaciales en pacientes pediátricos tienen diferencias con los pacientes adultos debido a la etapa de desarrollo tanto física como psicológica en la que se encuentran, por ello es importante tratar los traumatismos con materiales y sistemas cuyo efecto negativo sea mínimo. El propósito de esta investigación es realizar una revisión del conocimiento sobre los materiales biodegradables y su aplicación como sistemas de fijación para la estabilización de fracturas óseas en el área maxilofacial de pacientes pediátricos.*

Palabras clave: Reabsorbible; Fijación; Fractura; Pediátrico; Sistema Placa-Tornillo.

Abstract. - *Maxillofacial fractures in pediatric patients have differences with adult patients due to the physical and psychological developmental stage in which they are found, so it is important to treat injuries with materials and systems whose negative effect is minimal. The purpose of this research is to perform a review of the knowledge about biodegradable materials and their application as fixation systems for the stabilization of bone fractures in the maxillofacial area of pediatric patients.*

Key words: Resorbable; Fixation; Fracture; Pediatric; Screw-Plate System.

Autor de Correspondencia: Luis Jesús Villarreal Gómez, Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Blvd. Universitario 1000. Unidad Valle de las Palmas, Tijuana, Baja California. C.P. 21500. Correo electrónico: luis.villarreal@uabc.edu.mx. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4666-1408>.

1. Introducción

Tanto los cambios en los hábitos de las personas, que incluyen una disminución importante de la actividad física, como la edad son factores que influyen en la calidad de los huesos así como la fuerza muscular del individuo, estos cambios incrementan la posibilidad de fracturas. Al ocurrir la fractura de uno o varios huesos, éstas deben ser tratadas por medio de algún sistema de fijación, que tiene por objetivo estabilizar la lesión y permitir una rápida recuperación para devolver las funciones y, en su caso, movilidad a la parte afectada [1, 2].

Estudios señalan que las causas más frecuentes de traumatismos maxilofaciales son accidentes de tránsito, agresiones y la práctica de algún deporte. Dentro de los tipos de fracturas más frecuentes se encuentran las del piso de la órbita, paredes del seno maxilar, fracturas nasales y las fracturas mandibulares [3, 4].

Por otro lado, un estudio llevado a cabo por Conti, Amadori, & Civili en [6] muestra que una causa común de fracturas maxilofaciales en menores de edad (entre los 0 y 17 años) se deben a actividades deportivas, caídas, accidentes en carretera y el uso de bicicletas. La zona más comúnmente afectada en el grupo de 1,122 menores fue la mandíbula.



2. Metodología

Se realizó la revisión de literatura utilizando las palabras clave reabsorbible, sistema placa tornillo, fijación, fractura maxilofacial, pediátrica. Además de los artículos encontrados, se consideraron algunas referencias de las publicaciones consultadas.

2.1 Sistemas de fijación para fracturas

Los sistemas para fijación de fracturas pueden dividirse en externas e internas, además de poder recurrir a tratamientos conservadores o cerrados [7].

En los dispositivos internos para fijación, los sistemas de tornillos y placas son ampliamente usados [11–13] y se les puede encontrar de diversos materiales. El uso de tornillos autoroscantes disminuyen el tiempo en cirugía al evitar el taladrado y roscado, además de disminuir los daños por

cuestiones térmicas y escombros aunque provocan un micro daño mayor en el hueso cortical [14].

Migliatori et al. en 2012 [15] encontraron que existe una fuerte correlación entre el paso de la cuerda del tornillo y la fuerza de arranque con la fuerza de inserción, lo que indica que la geometría del tornillo y la técnica intraoperatoria influyen en el desempeño del implante. Gutwald, Büscher, Schramm, y Schmelzeisen, en 1999 [16] presentaron un mini sistema de bloqueo que proporcionaba una estabilidad 3 veces mayor que las mini placas convencionales.

La elección del sistema de fijación de fracturas depende del número de fracturas, su forma y las condiciones del paciente [17]. Los sistemas de fijación mencionados anteriormente se pueden aplicar al macizo facial [18] que puede dividirse de forma general en tercios o, visto anatómicamente, en cinco regiones. En la Figura 1 se puede observar la división del área maxilofacial [19, 20].

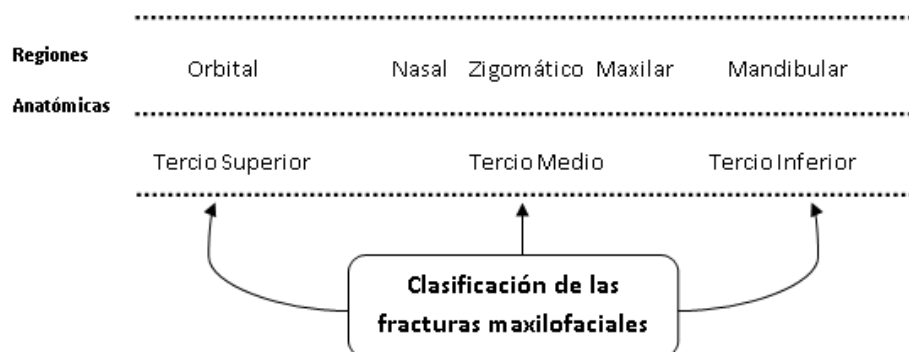


Figura 1. División del macizo facial. Adaptado de [19, 20]

2.2 Materiales para fijación interna

Dentro de los materiales usados para la fabricación de dispositivos de fijación interna de fracturas están los metálicos [22], polímeros [23] y cerámicos [24]. A estos materiales se les exigen propiedades mínimas de resistencia, ductilidad y biocompatibilidad [25].

Los materiales metálicos se han utilizado por mucho tiempo para estabilizar fracturas óseas siendo las aleaciones de acero, cromo y cobalto de los más populares hasta que fue divulgado el titanio como material de osteosíntesis con la principal ventaja de

su biocompatibilidad [28, 29]. Esto permitió que los implantes quedaran en el cuerpo a menos que se observaran reacciones que obligaran a una segunda cirugía para retirarlos. Sin embargo, existen desventajas como la palpación del material por parte del paciente, hipersensibilidad al frío, liberación de iones metálicos y oxidación que han sido reportado en numerosos casos [30–33].

Los polímeros degradables son una opción que se ajusta a muchas necesidades de aplicaciones médicas y, de éstos, el ácido poliláctico (PLA), el poliglicólico (PGA), así como sus copolímeros son de los más importantes [34].



Éstos polímeros son los materiales más innovadores en los últimos años por su amplio rango de aplicación, lo que ha generado múltiples investigaciones en distintas ramas, no solo la médica [35–37], gracias a la facilidad de cambiar sus propiedades mediante refuerzos y rellenos [38], además de degradarse por hidrólisis en el cuerpo [39]. Sin embargo, a pesar de ser materiales biocompatibles, siempre se espera una respuesta inflamatoria después de su implantación [40], aunque menor que en los materiales metálicos [41]. Los implantes generalmente producen una reacción de cuerpo extraño en el paciente [42] y, en ocasiones, presentan otras reacciones adversas que pueden llegar a ser importantes aunque éstas dependen, entre otras cosas, de la zona de fractura [43], por lo que es necesario tener un buen seguimiento a mediano y largo plazo ya que existe evidencia de respuestas de cuerpo extraño incluso un año después de la implantación [44]. Otra desventaja de éstos materiales es que la fuerza de fijación es menor que

en los dispositivos mecánicos lo que puede provocar rotura del tornillo y daño en la rosca del mismo [45], [46], además de tener un costo superior respecto a los metálicos [47] y ser más complicados de manejar durante la cirugía [48]. Sin embargo, los materiales reabsorbibles tienen grandes ventajas como no interferir en el crecimiento del hueso, lo que es especialmente importante en pacientes pediátricos [49] y que lo ha posicionado como uno de los más usados en la cirugía craneofacial debido a que esas zonas no están expuestas a cargas importantes [25], aunque la mandíbula es un caso especial por su forma, lo que provoca que sea una región un tanto más problemática [50].

Algunas de las marcas comerciales de materiales reabsorbibles disponibles en el mercado se pueden observar en la Tabla 1, donde se describe su composición química, el tiempo en que conservan al menos un 70% de su resistencia mecánica y el tiempo de total reabsorción en el cuerpo.

Tabla 1. Tiempo de reabsorción y conservación de las propiedades mecánicas de algunos materiales de osteosíntesis comerciales.

Marca	Composición química	Tiempo de retención de la resistencia mecánica (meses)	Tiempo para la completa reabsorción (meses)
Lactosorb® Walter Lorenz	P(L/DL)LA 82L:18DL	6-8	9-15
BioSorb FX® LINVATEC	SRP(L/DL)LA 70L:30DL autorreforzado	18-36	24-48
BioSorb PDX® LINVATEC	PLGA 80L:20G autorreforzado	6-8	12-36
Resorb X® Martín	PDLLA 50L:50DL	8-10	12
PolyMax Rapid® SYNTHES	PLGA 85L:15G	8	6-12

Fuente: Adaptado de [25]

Por su parte, los materiales cerámicos, particularmente las aleaciones de magnesio, han sido motivo de diversas investigaciones como material biodegradable en implantes [51–54] y, aunque hay reportes de su uso desde el año 1878, no hay implantes comerciales que integren al magnesio o sus aleaciones como material principal. Algunas aplicaciones reportadas del magnesio son como sustituto de ligamentos, tubos como conectores de nervios, bandas, flechas, placas y tornillos, entre otros [55]. Los materiales biocerámicos se pueden clasificar en tres grupos dependiendo de la reacción

provocada entre el material y el tejido vivo donde los bioreabsorbibles son aquellos que se disuelven gradualmente en el cuerpo, los bioinertes son materiales que no provocan reacción como la alúmina y zirconia y, los bioactivos provocan una reacción del tejido en contacto [58]. Los cerámicos de fosfato de calcio son materiales bioactivos usados ampliamente en la reparación de tejido óseo [59–62] por tener características muy similares al hueso que permiten la proliferación de osteoblastos y estimulan la generación de hueso nuevo. Dentro de éstos materiales, la hidroxiapatita es ampliamente usada en



aplicaciones para regeneración de tejido óseo y recubrimientos [63–68].

3. Conclusiones

Para el tratamiento de las fracturas en el hueso, los sistemas de fijación interna rígidos suelen ser los más convenientes [69, 70] aunque actualmente existen diversos sistemas de fijación [71]. Estos sistemas son fabricados de diversos materiales [1] donde los biodegradables han tenido un gran auge en los últimos años [72], en parte, gracias a diversos beneficios como permitir soportar las cargas durante el tiempo necesario para que la curación ósea ocurra y después transferirlas al hueso [73], que en la mandíbula pueden llegar a ser entre 400 y 450 kg [74], y la poca interferencia en el desarrollo ósea en éste tipo de pacientes, aunque a pesar de ellos los materiales metálicos siguen siendo muy usados para la fijación de fracturas pediátricas, principalmente por su costo y facilidad de manipulación.

Sin embargo, existe todavía un gran nicho de oportunidad en la investigación de diseños y materiales que permitan su uso en aplicaciones donde las exigencias de las cargas mecánicas son elevadas [75, 76].

Especialmente en las aplicaciones pediátricas, la eliminación de la necesidad de una segunda cirugía, la transferencia de carga a la zona afectada de forma paulatina y no interferir con el crecimiento del hueso son características que hacen que los materiales reabsorbibles desplacen cada vez más a los materiales metálicos en el tratamiento de fracturas.

Referencias

[1] R. Felipe, N. Restrepo, F. Levi, and D. Serna, “Comparación mecánica de dos sistemas de fijación interna rígida utilizados en la fijación de fracturas faciales (Estudio in vitro),” *262 Rev. Fac. Odontol. Univ. Antioquia*, vol. 27, no. 2, pp. 262–280, 2016.

[2] O. Iribarren and M. Carvajal, “Complicaciones de la fijación interna con placas de titanio de las fracturas maxilofaciales,” *Rev. Chil. Cirugía.*, vol. 54, no. 4, pp. 386–372, 2002.

[3] G. Tomich, P. Baigorria, N. Orlando, M. Méjico, C. Costamagna, and R. Villavicencio, “Frecuencia y tipo de fracturas en

traumatismos maxilofaciales: Evaluación con Tomografía Multislice con reconstrucciones multiplanares y tridimensionales,” *Rev. argent. radiol.*, vol. 75, no. 4, pp. 305–317, 2011.

[4] J. L. Munante-Cardenas, P. H. Facchina Nunes, and L. A. Passeri, “Etiology, Treatment, and Complications of Mandibular Fractures,” *J. Craniofac. Surg.*, vol. 26, no. 3, pp. 611–615, 2015.

[5] E. Ellis, “Treatment methods for fractures of the mandibular angle,” *J. Craniomaxillofac. Trauma*, vol. 2, no. 1, pp. 28–36, 1996.

[6] G. Conti, F. Amadori, and S. Civili, “Management of paediatric maxillofacial fractures: Conventional methods and resorbable materials,” no. August 2016, 2015.

[7] B. Mollon and J. W. Busse, “Low-intensity pulsed ultrasonography versus electrical stimulation for fracture healing: A systematic review and network meta-analysis,” no. May, 2014.

[8] S. M. Perren, “Evolution of the internal fixation of long bone fractures,” *J. bone Jt. Surg.*, vol. 84–B, no. 8, pp. 1093–1110, 2002.

[9] S. Pal, “The Design of a Bone Fracture-Fixation Device,” in *Design of Artificial Human Joints {&} Organs*, Boston, MA: Springer US, 2014, pp. 101–121.

[10] M. S. Taljanovic, M. D. Jones, J. T. Ruth, J. B. Benjamin, J. E. Sheppard, and T. B. Hunter, “Fracture fixation,” *Radiographics*, vol. 23, no. 6, pp. 1569–1590, 2003.

[11] A. A. A. Ali, M. M. Kabbash, S. M. A. Said, M. A. Shoeib, and M. H. Osman, “Use of biodegradable plates and screws in the treatment of pediatric facial bone fractures,” *Egypt. J. Oral Maxillofac. Surg.*, vol. 7, no. 3, pp. 86–93, 2016.

[12] E. A. Al-Moraissi and E. Ellis, “Surgical management of anterior mandibular fractures: A systematic review and meta-analysis,” *J. Oral Maxillofac. Surg.*, vol. 72, no. 12, p. 2507.e1-2507.e11, 2014.

[13] M. Oruç *et al.*, “Analysis of Fractured Mandible Over Two Decades,” *J. Craniofac. Surg.*, vol. 27, no. 6, p. 1457–1461, 2016.

[14] S. Son, M. Motoyoshi, Y. Uchida, and N. Shimizu, “Comparative study of the primary stability of self-drilling and self-tapping orthodontic miniscrews,” *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.*, vol. 145, no. 4, pp. 480–485, 2014.



- [15] M. Migliorati *et al.*, “Miniscrew design and bone characteristics: An experimental study of primary stability,” *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.*, vol. 142, no. 2, pp. 228–234, 2012.
- [16] R. Gutwald, P. Büscher, A. Schramm, and R. Schmelzeisen, “Biomechanical stability of an internal mini-fixation-system in maxillofacial osteosynthesis,” *Med Biol Eng Comp*, vol. 37, no. Suppl 2, p. 280, 1999.
- [17] S. Sauerbier, R. Schön, J. E. Otten, R. Schmelzeisen, and R. Gutwald, “The development of plate osteosynthesis for the treatment of fractures of the mandibular body - A literature review,” *J. Cranio-Maxillofacial Surg.*, vol. 36, no. 5, pp. 251–259, 2008.
- [18] F. Mendez T., D. Encalada S., and M. Torres M., “Prevalencia del trauma maxilofacial en el hospital Luis Vernanza, periodo Enero a Diciembre de 2010.pdf,” *Rev. Médica HJCA*, vol. 4, no. 2, pp. 123–127, 2012.
- [19] A. B. Baltodano, “Trauma máxilofacial,” *Rev. médica costa rica y Centroam.*, no. 620, pp. 731–737, 2016.
- [20] L. L. Avery, S. M. Susarla, and R. A. Novelline, “Multidetector and three-dimensional CT evaluation of the patient with maxillofacial injury,” *Radiol. Clin. North Am.*, vol. 49, no. 1, pp. 183–203, 2011.
- [21] L. L. Avery, S. M. Susarla, and R. A. Novelline, “Multidetector and three-dimensional CT evaluation of the patient with maxillofacial injury,” *Radiol. Clin. North Am.*, vol. 49, no. 1, pp. 183–203, 2011.
- [22] F. Witte and A. Eliezer, “Biodegradable metals,” *Degrad. Implant Mater.*, no. March, pp. 93–109, 2012.
- [23] S. Bin Park, E. Lih, K. S. Park, Y. K. Joung, and D. K. Han, “Biopolymer-based functional composites for medical applications,” *Prog. Polym. Sci.*, vol. 68, pp. 77–105, 2017.
- [24] J. Parthasarathy, “3D modeling, custom implants and its future perspectives in craniofacial surgery,” *Ann. Maxillofac. Surg.*, vol. 4, no. 1, p. 9, 2014.
- [25] J. L. L. Cembranos, “Maxillofacial osteosynthesis with resorbable material,” *Rev. Española Cir. Oral y Maxilofac.*, vol. 26, pp. 369–383, 2004.
- [26] M. Vert, S. M. Li, G. Spenlehauer, and P. Guerin, “Bioresorbability and biocompatibility of aliphatic polyesters,” *J. Mater. Sci. Mater. Med.*, vol. 3, no. 6, pp. 432–446, 1992.
- [27] D. Eglin and M. Alini, “Degradable polymeric materials for osteosynthesis: Tutorial,” *Eur. Cells Mater.*, vol. 16, pp. 80–91, 2008.
- [28] M. Kulkarni, A. Mazare, P. Schmuki, and A. Iglíč, “Biomaterial surface modification of titanium and titanium alloys for medical applications,” *Nanomedicine*, pp. 111–136, 2014.
- [29] G. Manivasagam, D. Dhinasekaran, and A. Rajamanickam, “Biomedical Implants: Corrosion and its Prevention - A Review~!2009-12-22~!2010-01-20~!2010-05-25~!,” *Recent Patents Corros. Sci.*, vol. 2, no. 1, pp. 40–54, 2010.
- [30] H. D. Netto, S. Olate, J. Rodriguez-chessa, and L. Kluppel, “Selección de osteosíntesis en la reconstrucción maxilar con injerto óseo de cresta iliaca,” vol. 10, no. 2, pp. 161–165, 2013.
- [31] Nureddin Ashammakhi, N. Ashammakhi, R. Kontio, T. Waris, A. Salo, and C. Lindqvist, “The use of bioabsorbable osteofixation devices in craniomaxillofacial surgery,” *Oral Surgery, Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endodontology*, vol. 94, no. 1, pp. 5–14, 2002.
- [32] A. Altan, İ. Damlar, and O. Şahin, “Can Resorbable Fixation Screws Replace Titanium Fixation Screws? A Nano-Indentation Study,” *J. Oral Maxillofac. Surg.*, vol. 74, no. 7, p. 1421.e1-1421.e5, 2016.
- [33] R. K. Bali, P. Sharma, S. Jindal, and S. Gaba, “To evaluate the efficacy of biodegradable plating system for fixation of maxillofacial fractures: A prospective study,” *Natl. J. Maxillofac. Surg.*, vol. 4, no. 2, pp. 167–72, 2013.
- [34] A. J. R. Lasprilla, G. A. R. Martinez, B. H. Lunelli, A. L. Jardini, and R. M. Filho, “Polylactic acid synthesis for application in biomedical devices - A review,” *Biotechnol. Adv.*, vol. 30, no. 1, pp. 321–328, 2012.
- [35] B. Gupta, N. Revagade, and J. Hilborn, “Poly(lactic acid) fiber: An overview,” *Prog. Polym. Sci.*, vol. 32, no. 4, pp. 455–482, 2007.
- [36] J. S. Bergstrom and D. Hayman, “An Overview of Mechanical Properties and Material Modeling of Poly lactide (PLA) for Medical Applications,” *Ann. Biomed. Eng.*, vol. 44, no. 2, pp. 330–340, 2016.
- [37] S. Farah, D. G. Anderson, and R. Langer, “Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications: A comprehensive review,” *Adv. Drug Deliv. Rev.*, vol. 107, no. August, pp. 367–392, 2016.



- [38] M. Murariu and P. Dubois, "PLA composites: From production to properties," *Adv. Drug Deliv. Rev.*, vol. 107, pp. 17–46, 2016.
- [39] C. M. Agrawal, G. G. Niederauer, and K. a Athanasiou, "Fabrication and Characterization of PLA-PGA Orthopedic Implants.," *Tissue Eng.*, vol. 1, no. 3, pp. 241–252, 1995.
- [40] A. Kolk, R. Köhnke, C. H. Saely, and O. Ploder, "Are Biodegradable Osteosyntheses Still an Option for Midface Trauma? Longitudinal Evaluation of Three Different PLA-Based Materials," *Biomed Res. Int.*, vol. 2015, 2015.
- [41] X.-D. Qiu, "Effects of bioabsorbable miniplate versus miniature titanium fixation system on the stability of mandibular fractures," *Chinese J. Tissue Eng. Res.*, vol. 19, no. 38, pp. 6155–6160, 2015.
- [42] H. B. Jeon, D. H. Kang, J. H. Gu, and S. A. Oh, "Delayed foreign body reaction caused by bioabsorbable plates used for maxillofacial fractures," *Arch. Plast. Surg.*, vol. 43, no. 1, pp. 40–45, 2016.
- [43] L. Yang *et al.*, "Complications of Absorbable Fixation in Maxillofacial Surgery: A Meta-Analysis," *PLoS One*, vol. 8, no. 6, pp. 1–10, 2013.
- [44] Y. Ramot, M. H. Zada, A. J. Domb, and A. Nyska, "Biocompatibility and safety of PLA and its copolymers," *Adv. Drug Deliv. Rev.*, vol. 107, pp. 153–162, 2015.
- [45] F. Pena, T. Grontvedt, G. A. Brown, A. K. Aune, and L. Engebretsen, "Comparison of failure strength between metallic and absorbable interference screws. Influence of insertion torque, tunnel-bone block gap, bone mineral density, and interference," *Am J Sport. Med.*, vol. 24, no. 3, pp. 329–334, 1996.
- [46] H. Lim *et al.*, "Comparison of resorbable plates and titanium plates for fixation stability of combined mandibular symphysis and angle fractures," no. December 2012, pp. 285–290, 2014.
- [47] M. J. Sánchez López, D. J.; Villegas Calvo, M.; Cambil, "Sistemas biodegradables de fijación y reconstrucción craneofacial," *Panor. Actual del Medicam.*, vol. 39, no. 381, pp. 237–240, 2015.
- [48] R. L. Reyes and G. V. Gracia, "Uso de tornillos bicorticales reabsorbibles como alternativa en cirugía ortognática de mandíbula : presentación de 2 casos y revisión de la literatura Use of resorbable bicortical screws as an alternative in mandibular orthognatic," vol. 15, pp. 239–243, 2011.
- [49] R. M. Laughlin, M. S. Block, R. Wilk, R. B. Malloy, and J. N. Kent, "Resorbable Plates for the Fixation of Mandibular Fractures: A Prospective Study," *J. Oral Maxillofac. Surg.*, vol. 65, no. 1, pp. 89–96, 2007.
- [50] F. Atik, M. S. Ataç, A. Özkan, Y. Kiliç, and M. Arslan, "Biomechanical analysis of titanium fixation plates and screws in mandibular angle fractures," *Niger. J. Clin. Pract.*, vol. 19, no. 3, pp. 386–390, 2016.
- [51] Y. Chen, Z. Xu, C. Smith, and J. Sankar, "Recent advances on the development of magnesium alloys for biodegradable implants," *Acta Biomater.*, vol. 10, no. 11, p. 4561–4573, 2014.
- [52] S. Agarwal, J. Curtin, B. Duffy, and S. Jaiswal, "Biodegradable magnesium alloys for orthopaedic applications: A review on corrosion, biocompatibility and surface modifications," *Mater. Sci. Eng. C. Mater. Biol. Appl.*, vol. 68, p. 948–963, 2016.
- [53] M. P. Staiger, A. M. Pietak, J. Huadmai, and G. Dias, "Magnesium and its alloys as orthopedic biomaterials: a review," *Biomaterials*, vol. 27, no. 9, p. 1728–1734, 2006.
- [54] G. Song and S. Song, "A possible biodegradable magnesium implant material," *Adv. Eng. Mater.*, vol. 9, no. 4, pp. 298–302, 2007.
- [55] F. Witte, "Reprint of: The history of biodegradable magnesium implants: A review," *Acta Biomater.*, vol. 23, no. S, pp. S28–S40, 2015.
- [56] H. Waizy *et al.*, "In vivo study of a biodegradable orthopedic screw (MgYREZr-alloy) in a rabbit model for up to 12 months.," *J. Biomater. Appl.*, vol. 28, no. 5, pp. 667–75, 2014.
- [57] M. Ettinger *et al.*, "The biomechanics of biodegradable versus titanium interference screw fixation for anterior cruciate ligament augmentation and reconstruction," *Int. Orthop.*, vol. 38, no. 12, pp. 2499–2503, 2014.
- [58] L. Tan, X. Yu, P. Wan, and K. Yang, "Biodegradable Materials for Bone Repairs: A Review," *J. Mater. Sci. Technol.*, pp. 503–513, 2013.
- [59] R. A. Surmenev, M. A. Surmeneva, and A. A. Ivanova, "Significance of calcium phosphate coatings for the enhancement of new bone



- osteogenesis - A review,” *Acta Biomater.*, vol. 10, no. 2, pp. 557–579, 2014.
- [60] I. Denry and L. T. Kuhn, “Design and characterization of calcium phosphate ceramic scaffolds for bone tissue engineering,” *Dent. Mater.*, vol. 32, no. 1, p. 43–53, 2016.
- [61] S. Reddy, S. Wasnik, A. Guha, J. M. Kumar, A. Sinha, and S. Singh, “Evaluation of nano-biphasic calcium phosphate ceramics for bone tissue engineering applications: *In vitro* and preliminary *in vivo* studies,” *J. Biomater. Appl.*, vol. 27, no. 5, pp. 565–575, 2013.
- [62] P. Wang, L. Zhao, J. Liu, M. D. Weir, X. Zhou, and H. H. K. Xu, “Bone tissue engineering via nanostructured calcium phosphate biomaterials and stem cells,” *Bone Res.*, vol. 2, no. July, p. 14017, 2014.
- [63] S. Samavedi, A. R. Whittington, and A. S. Goldstein, “Calcium phosphate ceramics in bone tissue engineering: A review of properties and their influence on cell behavior,” *Acta Biomater.*, vol. 9, no. 9, pp. 8037–8045, 2013.
- [64] T. Rios, E. López, and Al. Franco, “Biomateriales Compuestos De Matriz Polimérica Con Refuerzo De Cerámico Bioactivo Usados En Sistemas De Fijación Ósea Revision Del Estado Del Arte,” *Rev. Colomb. Mater.*, pp. 93–99, 2012.
- [65] M. Šupová, “Substituted hydroxyapatites for biomedical applications: A review,” *Ceram. Int.*, vol. 41, no. 8, pp. 9203–9231, 2015.
- [66] B. Aksakal, M. Kom, H. B. Tosun, and M. Demirel, “Influence of micro- and nano-hydroxyapatite coatings on the osteointegration of metallic (Ti6Al4 V) and bioabsorbable interference screws: An *in vivo* study,” *Eur. J. Orthop. Surg. Traumatol.*, vol. 24, no. 5, pp. 813–819, 2014.
- [67] S. M. Kim *et al.*, “Hydroxyapatite-coated magnesium implants with improved *in vitro* and *in vivo* biocorrosion, biocompatibility, and bone response,” *J. Biomed. Mater. Res. - Part A*, vol. 102, no. 2, pp. 429–441, 2014.
- [68] I. Antoniac, D. Laptiou, D. Popescu, C. Cotrut, and R. Parpala, “Development of Bioabsorbable Interference Screws: How Biomaterials Composition and Clinical and Retrieval Studies Influence the Innovative Screw Design and Manufacturing Processes,” in *Biologically Responsive Biomaterials for Tissue Engineering*, I. Antoniac, Ed. New York, NY: Springer New York, 2013, pp. 107–136.
- [69] A. Cortese, G. Savastano, M. Amato, G. Pantaleo, and P. P. Claudio, “Intraoral epimucosal fixation for reducible maxillary fractures of the jaws; surgical considerations in comparison to current techniques,” *J. Craniofac. Surg.*, vol. 25, no. 6, pp. 2184–7, 2014.
- [70] T. B. Dodson and R. C. Pfeffle, “Cost-effectiveness analysis of open reduction/nonrigid fixation and open reduction/rigid fixation to treat mandibular fractures,” *Oral Surgery, Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endodontology*, vol. 80, no. 1, pp. 5–11, 1995.
- [71] B. Guyuron and H. C. Vasconez, “Basic Principles of Bone Fixation,” in *Fundamentals of Maxillofacial Surgery*, J. W. Ferraro, Ed. New York, NY: Springer New York, 1997, pp. 169–185.
- [72] C. Carulli, F. Matassi, S. Soderi, L. Sirleo, G. Munz, and M. Innocenti, “Resorbable screw and sheath versus resorbable interference screw and staples for ACL reconstruction: a comparison of two tibial fixation methods,” *Knee Surgery, Sport. Traumatol. Arthrosc.*, vol. 25, no. 4, pp. 1264–1271, 2017.
- [73] Z. Sheikh, S. Najeeb, Z. Khurshid, V. Verma, H. Rashid, and M. Glogauer, “Biodegradable materials for bone repair and tissue engineering applications,” *Materials (Basel)*, vol. 8, no. 9, pp. 5744–5794, 2015.
- [74] S.-H. S. Licéaga-Reyes R, Montoya-Perez LA, “Incidencia de fracturas maxilofaciales en pacientes del Servicio de Cirugía Maxilofacial,” *Rev Odontol Latinoam*, vol. 2, pp. 1–3, 2010.
- [75] E. Y. Rha, H. Paik, and J. H. Byeon, “Bioabsorbable Plates and Screws Fixation in Mandible Fractures: Clinical Retrospective Research during a 10-Year Period,” *Ann. Plast. Surg.*, vol. 74, no. 4, pp. 432–436, 2015.
- [76] C. Gaball, S. Lovald, B. Baack, and G. Olson, “Minimally invasive bioabsorbable bone plates for rigid internal fixation of mandible fractures,” *Arch. facial Plast. Surg. Off. Publ. Am. Acad. Facial Plast. Reconstr. Surgery, Inc. Int. Fed. Facial Plast. Surg. Soc.*, vol. 13, no. 4, pp. 31–35, 2015.