



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY



Facultad de
Odontología
UNIVERSIDAD DE
LA REPÚBLICA



ESCUELA DE GRADUADOS
Facultad de Odontología : Universidad de la República

Éxito y supervivencia de implantes de circonio de cuerpo único



Dra. Virginia Machado
Tutor : Dr Andrés Rodríguez
Carrera de Especialización en Implantología Oral
Escuela de Graduados - Facultad de Odontología
Universidad de la República
Uruguay, 2025

Dedicatoria:

A mi mamá **Teresa Corbo**, mi guía, mi ejemplo a seguir, mi compañera siempre presente.

A mi marido, compañero y amigo **Chenkuo Che**, pilar fundamental en mi camino.

A mi hija amada **Líng-Tái Che** que me ilumina la vida y se alegra con mis logros.

Agradecimientos:

A mi tutor **Dr Andrés Rodríguez** por su guía en este proceso.

A mi compañero de cátedra **Dr Alejandro Francia** por su tiempo y acompañamiento en este trabajo.

A mis **compañeros de generación**, un grupo de apoyo que siempre está presente.

Resumen

Desde hace más de 40 años, el titanio ha sido el material estándar en implantes dentales, no obstante, la evolución de los materiales ha continuado, con modificaciones en su estructura, composición y diseño para mejorar sus propiedades físicas, mecánicas y ópticas

El circonio es uno de los materiales más estudiados para mejorar las propiedades del titanio en implantes. Su resistencia y biocompatibilidad lo hicieron destacar inicialmente en ortopedia, y su color similar al de los dientes lo convierte en una alternativa estética en odontología.

Esta revisión evidenció una alta tasa de éxito y supervivencia de los implantes dentales de circonia de cuerpo único, los cuales representan una alternativa viable a los implantes de titanio.

No obstante, estos resultados deben ser interpretados con cautela debido a la limitada cantidad de estudios y la heterogeneidad entre ellos. Además, el reporte sobre éxito y supervivencia no siempre es claro, y en muchas ocasiones los términos se emplean de manera indistinta, lo cual debe ser considerado en investigaciones futuras.

Es necesario diseñar estudios con parámetros más estrictos en cuanto a diámetros, longitud, situación clínica y tratamientos de superficie, para obtener datos más fiables que faciliten el desarrollo de protocolos de tratamiento más precisos.

Tabla de contenido

Introducción	6
Antecedentes y justificación.....	7
Planteo del problema y pregunta de investigación	14
Objetivo.....	15
Material y métodos	15
<i>Criterios de selección</i>	<i>15</i>
<i>Fuentes de información y estrategia de búsqueda.....</i>	<i>16</i>
Resultados.....	16
<i>Recopilación de datos.....</i>	<i>16</i>
<i>Características de los estudios.....</i>	<i>16</i>
<i>Participantes y variables reportadas.....</i>	<i>18</i>
Discusión	21
<i>Supervivencia y éxito.....</i>	<i>21</i>
<i>Variables Secundarias: índices periodontales y PES (Puntuación Estética Rosa).....</i>	<i>25</i>
Conclusiones.....	27
Referencias bibliográficas.	28

Introducción

Desde la introducción de los implantes dentales para su aplicación clínica hace más de 40 años, el titanio ha sido considerado el material estándar de elección (Adell et al., 1981; Velasco et al 2023).

El titanio es hoy en día uno de los metales más importantes de la industria y se ha convertido en el material de implantes más utilizado en Odontología. Tiene un punto de fusión de 1668 °C y permite generar aleaciones con una amplia variedad de elementos (Long et al., 1998). Los implantes dentales generalmente se fabrican a partir de titanio comercialmente puro (cpTi) y se clasifican según su pureza en 4 grados en función del contenido de oxígeno, carbono y hierro, siendo el cpTi de grado 4 el más utilizado, por ser el más duro y resistente. En el mercado también es posible encontrar la aleación Ti-6Al-4V que contiene 6 % de aluminio y 4 % de vanadio buscando mejorar propiedades mecánicas y comportamiento biológico (Duraccio et al., 2015).



Figura 1. Implante de titanio

Los implantes dentales de titanio son la mejor opción en la mayoría de los casos debido a su alta biocompatibilidad, permitiendo una óptima osteointegración y proporcionando una fijación estable y duradera. Cuentan con décadas de evidencia científica que respalda su eficacia y longevidad, con tasas de éxito superiores al 95% a largo plazo. Su resistencia mecánica los hace capaces de soportar las cargas masticatorias sin fracturarse, y su versatilidad permite su uso en diversas situaciones clínicas gracias a la variedad de diseños, longitudes y diámetros disponibles, así como componentes protésicos fácilmente ajustables (Marcolino et al; 2024)

Sin embargo, la innovación en materiales ha continuado, buscando resolver los problemas que estos puedan presentar, en este sentido, se han realizado diversas modificaciones en la estructura, composición y el diseño de los implantes dentales buscando mejorar sus propiedades físicas, mecánicas y ópticas (Wennerberg & Albrektsson; 2009).

Antecedentes y justificación

Si bien los implantes de titanio son altamente confiables y cuentan con décadas de respaldo clínico, no están exentos de presentar ciertas desventajas que han sido objeto de mejora continua a lo largo del tiempo (Chen et al., 2023). Como ocurre con todos los biomateriales metálicos en contacto con sistemas biológicos, el titanio experimenta un proceso de degradación conocido como corrosión. No obstante, los metales y aleaciones empleados en implantes quirúrgicos desarrollan una capa superficial pasiva que actúa como una barrera protectora, minimizando la corrosión y manteniendo tanto el flujo de corriente como la liberación de productos de corrosión en niveles mínimos (Kamachi Mudali et al., 2003).

La forma más común de corrosión, que generalmente está presente en los implantes dentales, es la corrosión galvánica, este proceso tiene implicaciones clínicas potenciales, ya que la liberación de iones metálicos puede desencadenar una respuesta inflamatoria en los tejidos periimplantarios, comprometer la estabilidad del implante o influir en la osteointegración (Amine et al., 2022; Nagay et al., 2022; Souza et al., 2020). Si tanto el implante como la rehabilitación protésica están fabricados en titanio, el riesgo de corrosión galvánica es mínimo, ya que este fenómeno ocurre principalmente cuando dos metales con distintos potenciales electroquímicos entran en contacto en un medio conductor. No obstante, existen

factores que pueden comprometer la estabilidad de la capa pasiva de óxido de titanio y favorecer procesos corrosivos. Entre ellos se incluyen la contaminación por otros metales durante la manipulación clínica o el proceso de fabricación, la exposición a un medio bucal ácido derivado de condiciones como la periimplantitis o enfermedades sistémicas, y las cargas oclusales excesivas que pueden inducir desgaste tribocorrosivo (Bressan et al., 2019; Hosoki et al., 2016; Kim et al., 2019).

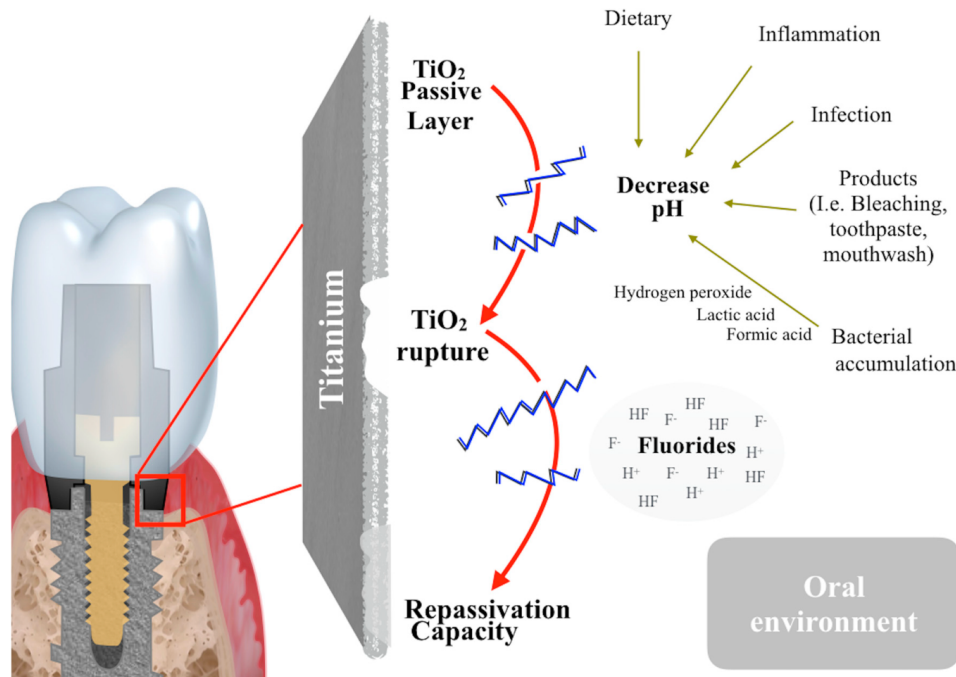


Figura 2. Factores que afectan el comportamiento de la corrosión del titanio.

El desgaste tribocorrosivo es un proceso de degradación que ocurre cuando un material, sometido simultáneamente a fricción y a un ambiente corrosivo, sufre una combinación de desgaste mecánico y corrosión electroquímica. En el caso de los implantes dentales de titanio, este fenómeno puede producirse debido a la interacción entre las cargas oclusales, los micro movimientos en la conexión implante-pilar y el medio bucal, que contiene electrolitos capaces de alterar la estabilidad de la capa pasiva de óxido de titanio (Gaur et al. 2022; Sadowsky et al. 2023). Este tipo de desgaste puede llevar a una mayor liberación de iones metálicos al entorno biológico, lo que en algunos casos se ha asociado con reacciones de hipersensibilidad. Aunque el titanio es considerado un material biocompatible, la exposición prolongada a productos de corrosión puede inducir respuestas inflamatorias

mediadas por células T, manifestándose en síntomas locales como mucositis periimplantaria, molestias inespecíficas o, en casos más severos, fracaso del implante. Estos efectos no están relacionados con una reacción alérgica mediada por IgE, como ocurre con otros metales, sino con una hipersensibilidad retardada tipo IV, característica de reacciones inmunológicas a metales implantables (Comino et al. 2020; Sadowsky 2023; Schliephake et al., 2018)

Aunque el titanio es un material ampliamente utilizado, presenta ciertas limitaciones referentes a su coloración gris, que en diversas situaciones clínicas pueden transformarse en una desventaja desde el punto de vista estético, especialmente en la región anterior donde el tejido gingival es considerablemente delgado (Thoma et al., 2019). Los indicadores estéticos son esenciales en la evaluación de implantes dentales, especialmente en el área anterior donde la estética es fundamental. Uno de los indicadores más utilizados para evaluar la estética de los implantes dentales es el **Índice de Evaluación Rosa (PES, por sus siglas en inglés: Pink Esthetic Score)**, que evalúa la calidad del tejido blando periimplantario alrededor de un implante (Fürhauser et al., 2005). El PES es una herramienta clínica que mide cinco parámetros relacionados con la estética de los tejidos blandos alrededor del implante: **morfología de la papila mesial, morfología de la papila distal, nivel de la mucosa marginal, curvatura del tejido blando, color y textura del tejido periimplantario.**

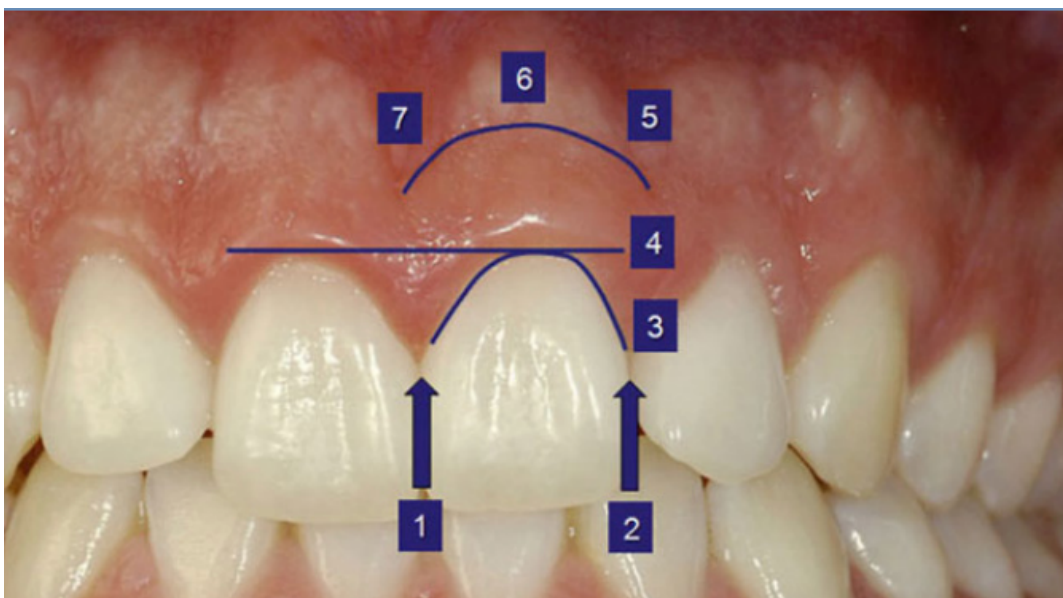


Figura 3. Variables de puntuación estética rosa

Cada uno de estos factores recibe una puntuación de 0 a 2, con un puntaje total de 10. Una puntuación de 10 indica una estética ideal. La satisfacción visual de una prótesis soportada por implantes y sus tejidos blandos circundantes sin ninguna dehiscencia o fenestración en la zona estética se considera un factor importante en el éxito de los implantes en esta zona y depende tanto de la estética blanca como de la rosa. (Belser et al 2009). Los implantes de titanio, si bien son altamente efectivos en términos de osteointegración y durabilidad, tienden a obtener puntuaciones más bajas en el PES. Esto se debe principalmente a factores como la mayor probabilidad de recesión del tejido blando y la posible visibilidad del metal a través de la mucosa, especialmente en pacientes con biotipo gingival delgado (Alanazi S. 2024).

Estos inconvenientes han llevado a la búsqueda de materiales para elaborar implantes dentales que presenten mayor biocompatibilidad y estética (Cortellini et al., 2006). En este sentido el circonio podría ser una alternativa a los implantes dentales a base de titanio, buscando mejorar propiedades biológicas, estéticas y mecánicas.

Las propiedades mecánicas del dióxido de circonio son muy similares a las de los metales por lo que se la ha llamado “acero cerámico” y su color es similar al color de los dientes (Gravie et al. 1975).



Figura 4. Implante de circonio

La primera propuesta del uso de óxido de circonio para uso médico se hizo en 1969 y se refería a su aplicación ortopédica, fue propuesto como un nuevo material para reemplazo de la cabeza de la cadera en lugar de prótesis de titanio, buscando mejorar la resistencia al desgaste, la biocompatibilidad y resistencia a la corrosión reduciendo así la posibilidad de reacciones alérgicas y de rechazo (Manicone et al., 2007; Sivaraman et al., 2018; Christel et al., 1989).

En los implantes dentales de circonio se dan tres fases cristalinas: monoclinica (m), tetragonal (t) y cúbica (c). La fase monoclinica del circonio existe y es estable a temperatura ambiente, cuando es sometida a temperaturas en un rango entre 1000 – 1100 °C esta fase cambia a fase tetragonal con 5% disminución de volumen, mientras que, por encima de los 2000 °C, comienza a adoptar la fase cúbica. Al enfriarse, ocurre una transformación tetragonal a monoclinica y se produce un aumento de volumen del 3% al 4% aproximadamente. Este aumento de volumen y la expansión resultante sin transferencia de masa al enfriarse genera estrés y hace que se vuelva inestable a temperatura ambiente (Christel et al., 1989). Para prevenir este fenómeno y generar un circonio parcialmente estabilizado (PSZ) con fases tetragonales y/o cúbicas estables, se añaden a los implantes dentales de circonio varios óxidos estabilizadores, óxido de magnesio (MgO), óxido de calcio (CaO), óxido de yttria (Y₂O₃), ésto aumenta significativamente la resistencia al agrietamiento, la tenacidad y longevidad. (Christel et al., 1989; Piconi- Macauro, 1997).

Generalmente, estos implantes contienen entre un **3% y un 5% en peso de óxido de itrio**, dependiendo del grado de estabilización deseado. La **circonia tetragonal policristalina estabilizada con 3% de itrio (3Y-TZP)** es la más utilizada en implantología debido a su alta resistencia mecánica y tenacidad a la fractura. En contraste, formulaciones con un mayor contenido de itrio, como **4Y-TZP o 5Y-TZP**, presentan una mayor translucidez y estética, aunque con una reducción en su resistencia mecánica (Ciszyński et al 2024; Sanon et al. 2024). Otras variantes de implantes dentales de circonio incluyen 12Ce-TZP (circonio estabilizado con ceria) y ATZ (circonio endurecido con alúmina). También se ha agregado alúmina al policristal de circonio tetragonal estabilizado con Ytria (Y-TZP) para producir policristal de circonio tetragonal con alúmina (TZP-A) (Tsubakino et al., 1991; Ross et al., 2001)

Se ha demostrado que las propiedades físicas de los implantes dentales de circonio hechos de policristales tetragonales de circonio estabilizado con Ytria poseen una buena resistencia mecánica y desgaste al igual que la aleación de titanio (Piconi et al., 1997; Manicone et al., 2007; Sanon et al., 2015), se ha informado resistencia a la flexión, tenacidad a la fractura y resistencia a la fractura estática similares en investigaciones clínicas e in vitro. Sin embargo, la preparación y la carga cíclica pueden reducir la resistencia a la fractura de los implantes de circonio aumentando la probabilidad de fracturas cuando se emplean implantes dentales de diámetros más pequeños (3,25 mm) (Luthardt et al., 2002; Kohal et al., 2011; Gahlert et al. 2012).

La biopelícula tiene menos afinidad por adherirse a las superficies de circonio que a la de titanio debido a la menor energía superficial y humectabilidad de la superficie, además la respuesta inflamatoria y la resorción ósea inducida por las partículas de cerámica son menores que las observadas con las partículas de titanio, lo que sugiere una biocompatibilidad superior (Al-Radha et al., 2012; Wiessner et al., 2023). Los resultados de estudios sugieren que la Y-TZP independiente del tratamiento de la superficie logra una buena adhesión y proliferación celular, lo que demuestra que es un sustrato apropiado para la propagación de células osteoblásticas con oseointegración comparable a la de los implantes de titanio (Bächle et al., 2007; Depprich et al., 2008; Manzano et al.2014).

El diseño macro de los implantes de circonio, como la profundidad de la rosca, el diámetro y el diseño del cuello del implante, son criterios importantes que deben evaluarse antes de seleccionar un sistema de implantes (Gahlert et al. 2012). El diseño de la rosca del implante desempeña un papel crucial en la iniciación y propagación de grietas. Se debe evitar una profundidad de rosca excesiva, ya que puede dificultar la eliminación ósea durante la colocación quirúrgica del implante y generar fuerzas de flexión innecesarias en el cuerpo del implante, especialmente en pacientes con hueso denso. Cualquier diseño de rosca afilado o puntiagudo con un diámetro estrecho, así como cualquier modificación de la superficie, como el rectificado, grabado ácido, o el arenado, debe evitarse para prevenir la concentración de estrés local, la sobrecarga mecánica y la subsiguiente fractura del implante. (Sanon et al. 2015)

Una ventaja de los implantes de circonio es su **color blanco**, se ha demostrado que esto mejora los valores de PES que son superiores a los de los implantes de titanio, esta diferencia es mayor en áreas estéticas con un biotipo gingival fino, donde el tono grisáceo del titanio se puede transparentar a través de los tejidos periimplantarios (Belsler et al 2009; Kinha et al 2018).

En su construcción los implantes dentales pueden constituir sólo la estructura que suplantaré la raíz dentaria, para lo cual se necesitará de otra pieza (pilar) para reponer la porción coronaria, esta configuración que es la más empleada en investigación y en la clínica se puede denominar bifásica o bicomponente. En estos implantes bifásicos la conexión entre el implante y el pilar crea un microespacio, un aspecto que ha sido objeto de extensas investigaciones a lo largo del tiempo (Aparna et al. 2012; Huang 2020).

Otra configuración que suele presentarse como posibilidad es que tanto implante como pilar constituyan una pieza única, por lo que toman el nombre de implantes monofásicos, mono-componentes o de cuerpo único.

Los implantes dentales de cuerpo único integran tanto el componente endoóseo como el pilar protésico en una única estructura monolítica, lo que tiene implicaciones quirúrgicas y prostodónticas que deben considerarse en la planificación del tratamiento (Andreiotelli, 2009). Desde el punto de vista biológico, los implantes de una pieza ofrecen ventajas en la estabilidad de los tejidos periimplantarios en comparación con los de dos piezas. Se ha observado que estos últimos presentan una mayor pérdida ósea crestal, lo que resulta en un margen gingival más apical y posibles implicaciones estéticas a largo plazo. Además, el ancho biológico de los implantes de una pieza se asemeja más al de los dientes naturales, y la inflamación en los tejidos periimplantarios es menor en comparación con los implantes de dos piezas, lo que resalta la importancia del diseño del implante en la preservación de los tejidos blandos y el éxito a largo plazo de las rehabilitaciones implantoportadas (Hermann et al., 2001; Liu et al., 2021).

Desde una perspectiva estructural, los implantes mono-componentes presentan mayor estabilidad al eliminar el potencial de micromovimientos en la interfaz entre componentes, lo que podría reducir el riesgo de periimplantitis a largo plazo (Myshin y Wiens, 2004; Fuyi et al., 2023). Se ha demostrado que los implantes de cuerpo único preservan mejor tanto el

tejido óseo como el blando en comparación con los implantes bifásicos (Aparna et al., 2012). No obstante, su diseño también presenta limitaciones, ya que su colocación quirúrgica requiere una planificación más rigurosa para cumplir tanto con las exigencias de alojamiento óseo como con los requisitos protésicos. Esto puede ser un desafío en casos donde la alineación protésica es crucial para el éxito estético o funcional del tratamiento. Además, los implantes de una sola pieza están expuestos inmediatamente a las fuerzas de la lengua y la masticación, lo que puede predisponerlos a fracturas bajo cargas excesivas o cuando no están alineados correctamente con el eje de la restauración (Payer et al., 2015).

En cuanto a los implantes cerámicos, aunque su uso es relativamente reciente, han mostrado resultados favorables en términos de éxito y durabilidad. Inicialmente, todos eran de una sola pieza con el pilar integrado, mientras que los sistemas de dos piezas surgieron posteriormente. Si bien los estudios a mediano plazo (5-6 años) respaldan su desempeño, la evidencia disponible aún es insuficiente para establecer conclusiones definitivas sobre su comportamiento a largo plazo (Bollen et al., 2024).

Planteo del problema y pregunta de investigación

A medida que la odontología implantológica evoluciona, la búsqueda de alternativas al titanio ha cobrado relevancia, especialmente en pacientes con alta demanda estética o sensibilidad a los metales. En este contexto, los implantes de circonio monoblock han surgido como una opción ofreciendo ventajas biocompatibles, estéticas y posiblemente menores tasas de inflamación periimplantaria. Sin embargo, aún persisten interrogantes sobre su comportamiento a largo plazo en comparación con los implantes de titanio, particularmente en términos de estabilidad ósea, resistencia mecánica y éxito protésico. Esta incertidumbre plantea la necesidad de una evaluación más profunda para determinar si los implantes de circonio monoblock pueden consolidarse como una alternativa confiable y predecible en la rehabilitación oral.

¿Cuál es la tasa de éxito y supervivencia de los implantes dentales de circonio de cuerpo único?

Objetivo

Analizar y sintetizar la evidencia científica disponible de los implantes dentales de circonio de cuerpo único.

Exponer los datos sobre éxito y supervivencia de los implantes dentales de circonio de cuerpo único.

Exponer los datos sobre parámetros periodontales y satisfacción del paciente en los implantes de circonio de cuerpo único como variables secundarias.

Material y métodos

Criterios de selección

Criterios de inclusión:

Se incluyeron los estudios de los últimos 10 años (2014 a 2024) que hayan empleado implantes de circonio de cuerpo único en humanos.

Tipo de diseño del estudio: ensayo clínico aleatorizado, estudio de cohorte, estudio de casos y controles y estudio transversal.

Criterios de exclusión

Estudios en animales, reportes de casos, cartas al editor, revisiones, libros, monografías, publicaciones no disponibles en texto completo.

Fuentes de información y estrategia de búsqueda

Se realizó una búsqueda bibliográfica consultando las siguientes bases de datos: PubMed, SciELO, Portal Timbó y Portal BVS

Para esta búsqueda se utilizan los siguientes términos: ((Dental implants) AND (single body) OR (One-piece implants) AND (zirconia implant))

Resultados

Recopilación de datos

Luego de realizada la búsqueda inicial, selección mediante lectura de títulos y eliminación de duplicados, el número de artículos relevantes identificados y examinados fueron **183**.

Luego de la lectura de resúmenes y texto completo aplicando los criterios de inclusión/exclusión **9** artículos se incluyeron para su revisión y la redacción final.

Características de los estudios

La tabla 1 presenta los datos resumidos de los estudios incluidos. Los 9 estudios clínicos se publicaron entre 2015 y 2023, al desglosar por país donde fueron llevados adelante, tres estudios se realizaron en Italia (Grassi et al., 2015; Borgonovo et al., 2015; Borgonovo et al., 2021), tres en Alemania (Lorenz J. et al., 2019; Kohal et al., 2023; Kiechle S. et al. 2023), uno en Suiza (Balmer M. et al., 2020), uno en Tailandia (Kunavisarut et al., 2020) y uno en España (Oliva & Oliva 2022). La suma total de pacientes incluidos en los artículos fue de 1024 y el total de implantes colocados fue de 2215.

Con respecto a los seguimientos fueron de 1 año (Kunavisarut et al., 2020), 4 años (Borgonovo et al., 2015), 5 años (Balmer M. et al., 2020, Grassi et al., 2015, Kohal et al., 2023), 8 años (Kiechle S. et al. 2023, Lorenz J. et al., 2019), 10 años (Borgonovo et al., 2021) y 15 años (Oliva & Oliva 2022).

En cuanto a las marcas de implantes dentales utilizados fueron: Withe Sky Bredent; Z look3, Z Systems; Ceramic.implant Vita Zhanfabrik; Pure Ceramic Straumann; Cera Roots y Nobel BioCare AB Z unit TM, todos los implantes fueron de óxido de circonio sinterizado estabilizado con Ytria.

Los implantes utilizados presentaron una variedad de combinaciones en diámetros y longitudes. Los diámetros de los implantes oscilaron entre 3,3 mm, 3,5 mm, 4 mm, 4,1 mm, 4,5 mm, 4,8 mm y 5 mm, mientras que las longitudes incluyeron 8 mm, 10 mm, 13 mm, 12 mm, 14 mm y 16 mm.

Siete estudios colocaron implantes tanto en zonas anteriores como posteriores, así como en maxilar superior y en maxilar inferior (Grassi F. et al., 2015; Lorenz J. et al., 2019; Balmer M. et al., 2020; Borgonovo A. et al., 2021; Kohal et al. 2023; Kiechle S. et al., 2023; Oliva J, Oliva X., 2022). Dos estudios colocaron implantes únicamente en zonas estéticas (Borgonovo A. et al.,2015; Kunavisarut et al., 2020). En dos estudios se colocaron los implantes en zonas cicatrizadas (Kunavisarut et al., 2020; Kohal et al., 2023) el resto de los estudios combinaron la colocación de implantes en zonas cicatrizadas y/o en alveolos post extracción e hicieron procedimientos de ROG si era necesario (Grassi F. et al., 2015; Lorenz J. et al., 2019; Balmer M. et al., 2020; Borgonovo A. et al., 2021; Kiechle S. et al., 2023; Oliva J, Oliva X., 2022). En tres estudios se utilizaron guías quirúrgicas para asegurar la ubicación tridimensional del implante y reducir al mínimo el tallado del pilar para la rehabilitación (Borgonovo A. et al., 2021; Kunavisarut et al., 2020; Oliva J, Oliva X., 2022).

Los provisorios fueron cementados sin contacto oclusal, (Borgonovo A. et al., 2015; Balmer M. et al., 2020; Borgonovo A. et al., 2021; Grassi F. et al., 2015; Kohal et al., 2023; Kunavisarut et al., 2020; Kiechle S. et al., 2023; Lorenz J. et al., 2019) en uno estudio se utilizó una placa estampada con una carilla para proteger al implante de las fuerzas de la masticación y que facilitaba los controles posteriores (Oliva J, Oliva X.,2022).

En tres de los estudios los implantes se rehabilitaron mediante restauraciones unitarias (Grassi F. et al., 2015; Kohal et al., 2023; Kunavisarut et al., 2020) mientras el resto de los estudios emplearon tanto rehabilitaciones unitarias como múltiples (Borgonovo A. et al., 2015; Lorenz J. et al., 2019; Balmer M. et al., 2020; Borgonovo A. et al., 2021; Kiechle S. et al., 2023; Oliva J, Oliva X.,2022). Los materiales empleados en las restauraciones definitivas fueron: circonia-cerámica y disilicato.

Participantes y variables reportadas

Los *pacientes incluidos* fueron hombres y mujeres adultos con edad media de 55 años.

Todos los estudios emplearon los *criterios de exclusión*: fumar más de 10 cigarrillos diarios, bruxismo, enfermedad periodontal activa y mala higiene.

Las *variables primarias reportadas* fueron la supervivencia y el éxito.

Cuatro estudios reportaron una tasa de éxito del 100% (Borgonovo et al., 2015; Borgonovo et al., 2021; Lorenz et al., 2019; Kunavisarut et al., 2020). Tres estudios mostraron valores entre el 96,9% y el 98,6% (Balmer et al., 2020; Grassi et al., 2015; Oliva & Oliva, 2022). Finalmente, los dos estudios restantes presentaron los porcentajes más bajos: 89,6% (Kunavisarut et al., 2020) y 78,2% (Kohal et al., 2023).

Cinco estudios reportan supervivencia según los criterios de Albrektsson et al. 1986 y dentro de ese mismo concepto incluyen el de éxito, siendo estos dos conceptos diferentes (Balmer et al., 2020; Borgonovo et al., 2015; Borgonvo et al., 2021; Grassi F et al., 2015; Kiechle et al., 2023). Un estudio reporta éxito según los criterios de Buser et al. 2012 (Kunavisarut et al., 2020). Tres estudios hablan de éxito y supervivencia, pero no se basan en ninguno de los criterios antes mencionados, utilizando criterios propios (Kohal et al., 2023;; Lorenz J et al., 2019; Oliva J, Oliva X. 2022).

Según Albrektsson, los criterios de supervivencia se definieron como la permanencia de los implantes funcionales y cargados, sin síntomas. Por otro lado, los criterios de éxito se basaron en cuatro parámetros: la ausencia de movilidad del implante durante la prueba clínica, la falta de dolor, parestesia o neuropatías reportadas por el paciente, la ausencia de radiolucidez periimplantaria y una pérdida ósea marginal inferior a 0,2 mm anual después del primer año (Albrektsson et al., 1986). Por su parte, Buser et al. 2012, consideran éxito a la ausencia de quejas subjetivas persistentes como dolor, sensación de cuerpo extraño y/o disestesia, además de la ausencia de infección periimplantaria recurrente con supuración, movilidad, radiolucidez continua alrededor del implante y la posibilidad de restauración.

Se reportaron como *variables secundarias* índices periodontales.

Se incluyeron el índice de placa (IP), el sangrado al sondaje (BOP), la profundidad de bolsa al sondaje (PPD), la movilidad, la pérdida ósea marginal (MBL) y la recesión gingival (REC). Todos los estudios mostraron niveles estables de hueso marginal y margen de la mucosa a corto, mediano y largo plazo, excepto el estudio de Kohal et al., 2023 que reportó una baja tasa de supervivencia después de cinco años y una frecuencia significativamente alta de pérdida ósea avanzada.

Además, en *cuatro* de los nueve estudios se incluyeron el grado de satisfacción del paciente y la puntuación PES (Kiechle et al., 2023; Kunavisarut et al., 2020; Kohal et al., 2023; Lorenz J et al., 2019).

Autor-Año-Origen	N	Nº de impl	Max/ Mand	Ant/Post	Marca comercial	Diámetro y longitud del impl en mm	Material	Provisorio y Rehabilitacion	Tiempo de seguimiento	% éxito y supervivencia
Borgonovo A et al., 2015 Italia	14	22	17/5	22/0	Withe Sky Bredent UK	n/r	Oxido de circonio sinterizado estabilizado con Ytrio	P: cementadas y adheridas a dientes vecinos R: ceramica	4 años	100 %
Grassi F et al., 2015 Italia	17	32	26/6	23/9	Withe Sky Bredent UK	D:3,5-4-4,5 L:8-10-12-14-16	Oxido de circonio sinterizado estabilizado con Ytrio	P: cementado R: circonio-ceramica	5 años	96,9 %
Lorenz J et al., 2019 Alemania	28	83	38/45	17/66	Z look 3 Z-systems USA	D: 3,5 a 5 L: 8 a 14	Oxido de circonio sinterizado estabilizado con Ytrio	P: cementado R: ceramica	7-8 años	100 %
Balmer M et al., 2020 Suiza	60	71	23/48	3/68	Ceramic.implant Vita Zhanfabrik Germany	D: 4- 4.5- 5 L: 8, 10, 12 y 14	Oxido de circonio sinterizado estabilizado con Ytrio	P: cementado R: circonio-ceramica	5 años	98,4 %
Kunavisarut et al., 2020 Tailandia	20	20	15/5	20 ant	PURE ceramic implant, Straumann, Switzerland	D:3,3 L: 10 y 12	Oxido de circonio sinterizado estabilizado con Ytrio	P: cementado R: disilicato de litio o circonia	1 año	100 %
Borgonovo A et al., 2021 Italia	10	26	16/10	15/11	White Sky, Bredent UK	D:3,5-4-4,5 L: 10,12,14	Oxido de circonio sinterizado estabilizado con Ytrio	P: cementada y adherida a dientes vecinos R: Ceramica	10 años	100 %
Oliva J, Oliva X. 2022 España	771	1828	1164/664	402/1426	Cera Roots USA	D: 3,5-4,1-4,8- L: 8-10-12-14	Oxido de circonio sinterizado estabilizado con Ytrio	P: cementado/ferula estampada con carilla. R:irconia-ceramica	15 años	98,69 %
Kohal et al., 2023 Alemania	65	66	18/48	6/60	Nobel BioCare AB Zunit™ Sweden	D:4,3-5 L: 10,13,16	Oxido de circonio sinterizado estabilizado con Ytrio	P: cementado R:irconia-ceramica	5 años	78,2
Kiechle et al., 2023 Alemania	39	67	n/r	n/r	PURE ceramic implant, Straumann, Switzerland	D:4,1 L: 8,10,12	Oxido de circonio sinterizado estabilizado con Ytrio	P: cementado R: ceramica	8 años	89,6 %

Tabla 1: Características principales de los estudios incluidos

Discusión

El uso de implantes dentales de circonia ha despertado un interés creciente en los últimos años, por una parte, gracias a sus óptimas propiedades biológicas y estéticas y por otra parte buscando cubrir dificultades que se presentan ante el uso de implantes de titanio. La posibilidad terapéutica de un implante de circonia de cuerpo único muestra además la ventaja de eliminar la interfase entre pilar e implante que se presenta en el caso de los implantes bi-componentes. En esta revisión se examinó la evidencia científica disponible de los últimos diez años sobre los implantes de circonia cuerpo único, con un enfoque en la evaluación de su éxito y supervivencia como variables primarias, parámetros periodontales y satisfacción del paciente a mediano y largo plazo como variables secundarias.

Supervivencia y éxito:

Si bien estos conceptos comparten algunos aspectos, son diferentes. Mientras que la supervivencia se refiere a la permanencia funcional del implante sin síntomas, el éxito incluye criterios más estrictos como la ausencia de movilidad del implante, falta de dolor, ausencia de infecciones periimplantarias, y niveles de pérdida ósea marginal controlados (Albrektsson et al., 1986, Buser et al., 2012).

La falta de distinción en el reporte de supervivencia y éxito muestra una limitación en los estudios realizados. Es fundamental que se haga esta distinción para proporcionar una evaluación más precisa y significativa de los tratamientos y procedimientos realizados.

El promedio de éxito y supervivencia en los estudios con un seguimiento de más de un año fue de 95,7%, en concordancia con los resultados que arrojaron las revisiones sistemáticas realizadas por Haro et al. en 2018 y Mohonseni et al. en 2023 que incluyó 17 estudios clínicos con un total de 1704 implantes de circonio (1521 de una pieza y 183 de dos piezas) colocados en 1002 pacientes, con seguimientos que oscilaron entre 1 y 7 años. La tasa general de **supervivencia** de los implantes fue del **95%** (IC 95%: 91-97%), sin diferencias significativas entre los implantes de una y dos piezas.

Aunque de diferentes marcas, todos los implantes que fueron evaluados en los estudios están fabricados con circonia tetragonal policristalina estabilizada con óxido de itrio (Y-

TZP). Coincidiendo con los autores Haro et al. en 2018 y con la revisión sistemática realizada por Mohonseni et al. en 2023 donde también se reporta que el material predominante para los implantes de circonio es la circonia tetragonal policristalina estabilizada con óxido de itrio (Y-TZP), este tipo de circonia es ampliamente reconocido como el estándar en odontología debido a su combinación de propiedades mecánicas, químicas y estéticas superiores.

En cuanto a la estrategia de rehabilitación, la elección entre una restauración individual o múltiples implantes ferulizados depende de diversos factores biomecánicos y clínicos. Las rehabilitaciones individuales pueden ser más adecuadas en situaciones donde la estabilidad de los implantes es suficiente para soportar fuerzas masticatorias de manera aislada.

Sin embargo, la opción de ferulización, al involucrar la colocación de varios implantes interconectados, es considerada generalmente más favorable, ya que distribuye las fuerzas masticatorias de manera más uniforme y reduce el riesgo de fracturas o sobrecarga en un implante individual (Borgonovo A. et al., 2015; Balmer M. et al., 2020; Borgonovo A. et al., 2021; Kiechle S. et al., 2023; Lorenz J. et al., 2019; Oliva J, Oliva X.,2022).

El artículo publicado por Borgonovo et al. (2015) describe una supervivencia y éxito del 100% empleando implantes dentales de circonio de cuerpo único marca Withe Sky Bredent con un seguimiento de 4 años, reporta datos y resultados que se refieren exclusivamente a los implantes colocados en pacientes que no recibieron procedimientos regenerativos adicionales antes de la colocación de los implantes disminuyendo los sesgos que podría incorporar la presencia de técnicas de regeneración ósea. Además, los implantes dentales fueron colocados exclusivamente para la rehabilitación de áreas estéticas en el sector anterior de maxilar y mandíbula. El mismo grupo de investigación publicó en 2021 un seguimiento que incluyó la misma muestra del estudio de 2015 e incorporó el seguimiento de implantes colocados en áreas no estéticas, reportando seguimiento radiográfico y clínico a lo largo de 10 años. Los resultados mostraron tasa de supervivencia del 100%, baja pérdida ósea marginal y buena estabilidad de los tejidos blandos periimplantarios.

Sin embargo, su muestra pequeña, la falta de grupo control y la falta de reporte de complicaciones restringen la generalización de los resultados y la solidez de sus conclusiones.

El estudio realizado por Grassi et al. (2015) también empleó implantes dentales de circonio de cuerpo único marca Withe Sky Bredent evaluando las tasas de supervivencia y éxito en implantes que recibieron carga inmediata con contacto oclusal ligero, tanto en alvéolos post extracción como en hueso cicatrizado. Los criterios empleados para definir supervivencia y éxito de los implantes fueron los de Albrektsson et al. (1986), y aunque el estudio empleó criterios bien establecidos para distinguir entre supervivencia y éxito, al momento del reporte no se realizó dicha distinción, mostrando una tasa de supervivencia y éxito acumulada del 96.8%.

El estudio de Lorenz et al. (2019) evaluó tres tipos de implantes de circonio de cuerpo único (White Sky Bredent, Z-Look3 y Z-Systems) en comparación con dientes naturales, con un período promedio de seguimiento de 7 a 8 años tras la colocación. Se reportó una tasa de supervivencia del 100%, aunque en un paciente se observó un aumento de la resorción ósea tanto en el implante de circonio como en el diente de control. A pesar de esto, no se detectaron fallos, y todos los implantes continuaron en funcionamiento con prótesis adecuadas. Sin embargo, la falta de una diferenciación clara entre las tasas de supervivencia y éxito representa una limitación del estudio. Como se mencionó anteriormente, esta distinción es fundamental para proporcionar una evaluación más precisa y significativa de los tratamientos y procedimientos realizados.

En el estudio clínico realizado por Balmer et al. (2020) el implante de circonio de una sola pieza investigado fue el Vita Zhanfabrik con diámetros mayores a 4 mm, realizando un seguimiento clínico de 5 años. Sus resultados mostraron una alta tasa de supervivencia de 98,4 %, niveles marginales de hueso y margen de la mucosa estables después de 5 años de funcionamiento.

Kunavisarut et al. (2020) siguen en esta línea y describen una supervivencia de 100% con seguimiento a un año y utilizando los implantes de Straumann PURE de 3,3mm de diámetro, los implantes fueron colocados con guías quirúrgicas evitando el desgaste del pilar para su posterior rehabilitación. Dado que la sobrecarga mecánica se considera una de

las principales causas de fractura del implante Sivaramann et al. 2018 no recomiendan el uso clínico de implantes de circonio con un diámetro menor o igual a 3.25mm. El presente estudio tiene un corto seguimiento, se debería continuar la evaluación en el tiempo para ver su evolución ante las cargas de la masticación a largo plazo.

En el estudio de Oliva & Oliva en 2023 se utilizaron implantes dentales de cerámica de una sola pieza (CeraRoot) hechos de circonio con una superficie rugosa grabada con ácido (ICE). Se utilizaron seis formas/tamaños de implantes diferentes para diferentes indicaciones. Dentro de los límites de este estudio, la tasa general de supervivencia a 15 años de los 1.828 implantes fue del 98,69 %. Las tasas de supervivencia por forma/tamaño del implante fueron: CeraRoot 16, 98,1%; CeraRoot 11, 99,0%; CeraRoot 14, 98,5%; CeraRoot 21, 99,5%; CeraRoot 34, 99,2%; y CeraRoot 12, 100 %. Estas diferencias no fueron estadísticamente significativas entre los seis tipos de implantes. Asimismo, la durabilidad de estos implantes cerámicos es comparable a la de los implantes metálicos de dos piezas, que se consideran el estándar de oro. Por lo que, estos implantes cerámicos podrían considerarse una tecnología prometedora.

En el estudio realizado por Kiechle et al. en 2023, aunque se registró una tasa de supervivencia del 100%, la tasa de éxito fue del 89.6%. Si el implante todavía estaba integrado en la boca, esto se consideraba una supervivencia positiva del implante y la tasa de éxito que se utilizó fue según Albrektsson et al. (1986). Se observó una tendencia hacia niveles más bajos de éxito en los implantes diferidos, los cuales fueron preferidos en situaciones óseas comprometidas. La colocación definitiva de la corona se realizó después de un período de cicatrización de 3 meses en todos los grupos; sin embargo, en los casos inmediatos, se utilizó una corona provisional sin puntos de contacto oclusal, para los casos diferidos, se insertó una tapa de cicatrización transgingival.

Por último, el estudio de Kohal et al. (2023) tuvo un resultado diferente a los anteriores, el estudio reveló que los implantes de circonio de una sola pieza con el sistema ZiUnite®, mostraron tasas de supervivencia más bajas y una mayor pérdida ósea comparados con otros implantes de circonio de una sola pieza o de titanio de dos piezas. Aunque no se encontró una conexión directa con factores como el diseño y la superficie del implante, es posible que estos aspectos hayan influido en el bajo rendimiento observado, dado que el diseño específico del implante cónico y el método de rugosidad de la superficie aplicado

(ZiUnite®) son únicos de este implante en comparación con otros sistemas. En consecuencia, el implante ZiUnite® no se puso a disposición comercialmente.

Variables Secundarias: índices periodontales y PES (Puntuación Estética Rosa)

En cuanto a los índices periodontales en el estudio de Kiechle et al. 2023 destacan que no se encontraron diferencias significativas en la distancia entre la cresta ósea y la punta de la papila o el punto de contacto de las coronas, ni en la altura de la papila entre los grupos de implantes inmediatos y diferidos.

Borgonovo et al. (2021) describen una resorción ósea observada durante el periodo de seguimiento de 10 años de 0.92 ± 0.97 mm, se puede afirmar que estos resultados son coherentes con los datos disponibles en la literatura (Mohseni et al. 2024). A partir de la evaluación clínica, los índices periodontales indicaron un buen estado general de salud periimplantaria. Los hallazgos de este estudio han mostrado una menor pérdida ósea alrededor de múltiples implantes de circonio conectados mediante puentes protésicos. A diferencia de los implantes individuales, los múltiples implantes permiten una distribución más uniforme de las fuerzas. Esta mejor distribución de las fuerzas reduce el estrés sobre el hueso crestral, lo que resulta en una mejor conservación de los niveles de hueso crestral periimplantario (Shigemitsu et al., 2012).

Como en todos los artículos presentados en este trabajo los resultados favorables obtenidos en cuanto a la pérdida ósea marginal (MBL) también pueden atribuirse a la morfología mono componente de los implantes analizados, la presencia de un microespacio en la interfaz entre el pilar y el implante puede favorecer la proliferación bacteriana, la inflamación de los tejidos blandos puede llevar a la periimplantitis y posteriormente a la pérdida ósea (Myshin & Wiens 2004).

Grassi et al. (2015) detallan que los parámetros periodontales como el Índice de sangrado modificado y Índice de placa modificado medidos a un año mostraron valores reducidos en comparación con la basal tanto para los implantes como para los dientes de referencia. Sin embargo, las mejoras fueron más notables en los sitios de los implantes que en los dientes de referencia. En el grupo de implantes, este patrón continuó durante el segundo período de seguimiento, mientras que los dientes de referencia mostraron un deterioro en los parámetros periodontales o mejoras menos significativas, los autores sugieren que puede

deberse a las propiedades antibacterianas del circonio, reportadas previamente. En este sentido los autores detallan que es importante enfatizar que el uso de los dientes como grupo control implica cierta consideración, el aparato conectivo fibroso alrededor de los implantes es diferente en muchos aspectos de la de los dientes. Por lo tanto, los dientes de referencia deben considerarse principalmente como un medio para tener en cuenta las características personales y la variabilidad entre los pacientes.

Lorenz et al. (2019) investigaron la satisfacción del paciente y la contaminación microbiana, también teniendo como grupo de control dientes naturales. Los implantes dentales investigados presentaron resultados clínicos favorables a largo plazo, comparables a los dientes naturales, y, con respecto a la adhesión de la placa, incluso superiores. La investigación microbiana reveló un cambio en la colonización alrededor de los implantes de circonio a lo largo de los años, principalmente sin efecto clínico sobre la periimplantitis. Los autores describen el resultado de un PES medio de $9 \pm 2,7$ muestra un resultado promedio, sin embargo, esta evaluación debe interpretarse cuidadosamente porque no todos los implantes se han colocado en la región estética. De los diferentes criterios de PES, el color de la mucosa funcionó mejor, lo que señala una ventaja del material de implante de óxido de circonio.

En el estudio de Kohal et al. (2023) aunque el índice de placa a los cinco años fue significativamente más bajo en los implantes en comparación con los dientes, el índice de sangrado fue significativamente más alto. El aumento del índice de sangrado alrededor de los implantes podría ser el resultado de que la punta de la sonda penetre más profundamente en el surco alrededor de los implantes que alrededor de los dientes y, por lo tanto, dañe más vasos sanguíneos. Una mayor tendencia al sangrado alrededor de los implantes en comparación con los dientes también es un hallazgo común en la literatura sobre implantes de titanio (Gerber 2009). Como ya ha sido mencionado este implante ZiUnite® no se puso a disposición comercialmente.

Conclusiones

Esta revisión mostró una alta tasa de éxito y supervivencia de los implantes dentales de circonia de cuerpo único siendo una alternativa posible a los implantes de titanio.

Sin embargo, estos resultados deben interpretarse con precaución debido al número limitado de estudios y la variabilidad entre ellos.

El reporte del éxito y supervivencia no siempre está claro y muchas veces se usan dichos términos de manera indistinta, lo que debería de considerarse en investigaciones futuras.

El diseño de los estudios con parámetros más estrictos en cuanto a los diámetros, longitud, situación clínica y tratamientos de superficie es necesario para poder obtener datos más confiables que permitan realizar protocolos de tratamientos más precisos.

Referencias bibliográficas.

- Adell R., Lekholm U., Rockler B., Branemark P. (1981) A 15-year study of osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. *Int. J. Oral Surg* 10, 387-416.
- Alanazi, S. (2024). Aesthetic problems related to dental implants in the aesthetic zone: A systematic review. *The Saudi Dental Journal*.
- Albrektsson, T. (1981) Microangiographic representation of the microvascular system in bone tissue: a vital microscopic evaluation in the rabbit. *Clinical Orthopaedic Related Research* 159: 286–293.
- Albrektsson T., G. Zarb, P. Worthington, and A. R. Eriksson, (1986) “The long-term efficacy of currently used dental implants: a review and proposed criteria of success,” *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, vol. 1, no. 1, pp. 11–25.
- Al-Radha, A. S., Dymock, D., Younes, C., & O'Sullivan, D. (2012). Surface properties of titanium and zirconia dental implant materials and their effect on bacterial adhesion. *Journal of dentistry*, 40(2), 146–153.
<https://doi.org/10.1016/j.jdent.2011.12.006>
- Amine, M., Merdema, W., & El Boussiri, K. (2022). Electrogalvanism in oral implantology: A systematic review. *International Journal of Dentistry*, 2022(1), 4575416.
- Andreiotelli, M., Wenz, H. J., & Kohal, R. J. (2009). Are ceramic implants a viable alternative to titanium implants? A systematic literature review. *Clinical oral implants research*, 20 Suppl 4, 32–47. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2009.01785.x>
- Aparna, I. N., Dhanasekar, B., Lingeshwar, D., & Gupta, L. (2012). Implant crest module: A review of biomechanical considerations. *Indian Journal of Dental Research*, 23(2), 257-263.
- Bächle, M., Butz, F., Hübner, U., Bakaliniš, E., & Kohal, R. J. (2007). Behavior of CAL72 osteoblast-like cells cultured on zirconia ceramics with different surface topographies. *Clinical oral implants research*, 18(1), 53–59.
<https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2006.01292.x>
- Balmer, M., Spies, B. C., Kohal, R. J., Hämmerle, C. H., Vach, K., & Jung, R. E. (2020). Zirconia implants restored with single crowns or fixed dental prostheses: 5-year results of a prospective cohort investigation. *Clinical oral implants research*, 31(5), 452–462. <https://doi.org/10.1111/clr.13581>
- Bianco P., Ducheyne P., Cuckle M. (1996) Local accumulation of titanium released from a titanium implant in the absence of wear. *Journal of Biomedical Materials Research*. 31, 227-234.
- Belser, U. C., Grütter, L., Vailati, F., Bornstein, M. M., Weber, H. P., & Buser, D. (2009). Outcome evaluation of early placed maxillary anterior single-tooth implants using objective esthetic criteria: a cross-sectional, retrospective study in 45 patients with a 2- to 4-year follow-up using pink and white esthetic scores. *Journal of periodontology*, 80(1), 140–151. <https://doi.org/10.1902/jop.2009.080435>
- Bressan E., Ferroni L., Gardin CH., Bellin G., Sbricoli L., Sivolella S., Brunello G., Schwartz-Arad D., Mijiritsky E., Penarrocha M., Penarrocha D., Taccioli C., Tatullo

- M., Piattelli A., Zavan B. (2019) Metal Nanoparticles Released from dental implant surfaces: Potential contribution to chronic inflammation and peri-implant bone loss. *Materials* 12,12 1-26
- Bollen, C., Hakobayan, G., & Jörgens, M. (2024). One-piece versus two-piece ceramic dental implants. *British dental journal*, 236(5), 383–387.
<https://doi.org/10.1038/s41415-024-7123-3>
- Bona, A. D., Pecho, O. E., & Alessandretti, R. (2015). Zirconia as a Dental Biomaterial. *Materials (Basel, Switzerland)*, 8(8), 4978–4991.
<https://doi.org/10.3390/ma8084978>
- Borgonovo, A. E., Censi, R., Vavassori, V., Arnaboldi, O., Maiorana, C., & Re, D. (2015). Zirconia Implants in Esthetic Areas: 4-Year Follow-Up Evaluation Study. *International journal of dentistry*, 2015, 415029. <https://doi.org/10.1155/2015/415029>
- Borgonovo, A. E., Ferrario, S., Maiorana, C., Vavassori, V., Censi, R., & Re, D. (2021). A Clinical and Radiographic Evaluation of Zirconia Dental Implants: 10-Year Follow-Up. *International journal of dentistry*, 2021, 7534607.
<https://doi.org/10.1155/2021/7534607>
- Budinger, L. & Hertl, M. (2000) Immunologic mechanisms in hypersensitivity reactions to metal ions: an overview. *Allergy* 55: 108–115.
- Buser D., Janner S., Wittneben J., Brägger U., Ramseier C., Salvi G., (2012) 10-Year survival and success rates of 511 titanium implants with a sandblasted and acid-etched surface: a retrospective study in 303 partially edentulous patients. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 14,6, 839–851.
- Busser D., Mericske-Stern R., Bernard J., Behneke A., Behneke N., Hirt P., Belser U., Lang N. (1997) Long-term evaluation of non submerged ITI implant. *Clin Oral impl res* 8, 161-172.
- Calì, M., Zanetti, E. M., Oliveri, S. M., Asero, R., Ciaramella, S., Martorelli, M., & Bignardi, C. (2018). Influence of thread shape and inclination on the biomechanical behaviour of plateau implant systems. *Dental Materials*, 34(3), 460-469.
- Chaturvedi, TP. (2009) An overview of the corrosion aspect of dental implants (titanium and its alloys). *Indian Journal of Dental Research* 20: 91–98.
- Chen, L., Tong, Z., Luo, H., Qu, Y., Gu, X., & Si, M. (2023). Titanium particles in peri-implantitis: distribution, pathogenesis and prospects. *International journal of oral science*, 15(1), 49. <https://doi.org/10.1038/s41368-023-00256-x>
- Ciszyński, M., Chwaliszewski, B., Simka, W., Dominiak, M., Gedrange, T., & Hadzik, J. (2024). Zirconia Dental Implant Designs and Surface Modifications: A Narrative Review. *Materials (Basel, Switzerland)*, 17(17), 4202.
<https://doi.org/10.3390/ma17174202>
- Cortellini D., Valenti M., Angelo Canale A. (2006). The metal-free approach to restorative treatment planning. *The European Journal of esthetic dentistry* 1,3,128-145.
- Christel, P., Meunier, A., Heller, M., Torre, J. P., & Peille, C. N. (1989). Mechanical properties and short-term in-vivo evaluation of yttrium-oxide-partially-stabilized zirconia. *Journal of biomedical materials research*, 23(1), 45–61.
<https://doi.org/10.1002/jbm.820230105>
- Comino-Garayoa, R., Cortés-Bretón Brinkmann, J., Peláez, J., López-Suárez, C., Martínez-González, J. M., & Suárez, M. J. (2020). Allergies to titanium dental implants: what do we really know about them? A scoping review. *Biology*, 9(11), 404.

- Depprich, R., Zipprich, H., Ommerborn, M., Naujoks, C., Wiesmann, H. P., Kiattavorncharoen, S., Lauer, H. C., Meyer, U., Kübler, N. R., & Handschel, J. (2008). Osseointegration of zirconia implants compared with titanium: an in vivo study. *Head & face medicine*, 4, 30. <https://doi.org/10.1186/1746-160X-4-30>
- Din, S. H. (2021). Biomedical applications of titanium and its alloys. *Proceedings on Engineering Sciences*, 3(1), 41-52.
- Duraccio, D; Mussano, F; Faga, M . (2015). Biomaterials for dental implants: current and future trends. *Journal of Materials Science*, 50(14), 4779–4812. doi:10.1007/s10853-015-9056-3
- Frisken K., Dandie G., Lugowski S., Jordan G. (2002). A study of titanium release into body organs following the insertion of single threaded screw implants into the mandibles of sheep. *Australian Dental Journal* 47,3, 214-217.
- Fürhauser, R., Florescu, D., Benesch, T., Haas, R., Mailath, G., & Watzek, G. (2005). Evaluation of soft tissue around single-tooth implant crowns: the pink esthetic score. *Clinical oral implants research*, 16(6), 639-644.
- Gaur, S., Agnihotri, R., & Albin, S. (2022). Bio-Tribocorrosion of Titanium Dental Implants and Its Toxicological Implications: A Scoping Review. *The Scientific World Journal*, 2022(1), 4498613.
- Gahlert M, Burtscher D, Grunert I, Kniha H, Steinhauser E. (2012) Failure analysis of fractured dental zirconia implants. *Clin Oral Implants Res* 23, 287–93.
- Gaviria, L., Salcido, J. P., Guda, T., & Ong, J. L. (2014). Current trends in dental implants. *Journal of the Korean Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*, 40(2), 50.
- Gehrke, S. A., da Silva, U. T., & Del Fabbro, M. (2015). Does Implant Design Affect Implant Primary Stability? A Resonance Frequency Analysis–Based Randomized Split-Mouth Clinical Trial. *Journal of Oral Implantology*, 41(6), e281-e286.
- Gerber, J. A., Tan, W. C., Balmer, T. E., Salvi, G. E., & Lang, N. P. (2009). Bleeding on probing and pocket probing depth in relation to probing pressure and mucosal health around oral implants. *Clinical oral implants research*, 20(1), 75–78. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2008.01601.x>
- Grassi, F. R., Capogreco, M., Consonni, D., Bilardi, G., Buti, J., & Kalemaj, Z. (2015). Immediate occlusal loading of one-piece zirconia implants: five-year radiographic and clinical evaluation. *The International journal of oral & maxillofacial implants*, 30(3), 671–680. <https://doi.org/10.11607/jomi.3831>
- Gravie R., Hannink R., Pacoe R. (1975) Ceramic steel? *Nature* (258) 703-704.
- Hallab, N., Jacobs, J.J. & Black, J. (2000) Hypersensitivity to metallic biomaterials: a review of leukocyte migration inhibition assays. *Biomaterials* 21: 1301–1314.
- Haro Adánez, M., Nishihara, H., & Att, W. (2018). A systematic review and meta-analysis on the clinical outcome of zirconia implant-restoration complex. *Journal of prosthodontic research*, 62(4), 397–406. <https://doi.org/10.1016/j.jpor.2018.04.007>
- Hermann, J. S., Jones, A. A., Bakaeen, L. G., Buser, D., Schoolfield, J. D., & Cochran, D. L. (2011). Influence of a machined collar on crestal bone changes around titanium implants: a histometric study in the canine mandible. *Journal of periodontology*, 82(9), 1329-1338.
- Hosoki M., Nishigawa K., Miyamoto Y., Ohe G., Matsuka Y.(2016) Allergic contact dermatitis caused by titanium screws and dental implants. *Journal of Prosthodontic Research* 60, 3, 213-219.

- Huang, H., Wu, G., & Hunziker, E. (2020). The clinical significance of implant stability quotient (ISQ) measurements: A literature review. *Journal of oral biology and craniofacial research*, 10(4), 629-638.
- Javed F, Al-Hezaimi K, Almas K, Romanos GE. Is titanium sensitivity associated with allergic reactions in patients with dental implants? A systematic review. *Clin Implant Dent Relat Res* 2013;15:47–52.
- Kamachi Mudali, U., Sridhar, TM. & Raj, B. (2003) Corrosion of bio implants. *Sadhana* 28: 601–637.
- Kasemo, B. (1983). Biocompatibility of titanium implants: surface science aspects. *The Journal of prosthetic dentistry*, 49(6), 832-837.
- Kiechle, S., Liebermann, A., Mast, G., Heitzer, M., Möhlhenrich, S. C., Hölzle, F., Kniha, H., & Kniha, K. (2023). Evaluation of one-piece zirconia dental implants: An 8-year follow-up study. *Clinical oral investigations*, 27(7), 3415–3421. <https://doi.org/10.1007/s00784-023-04935-1>
- Kim K., Eo M., Nguyen T., Kim S (2019) General review of titanium toxicity. *Kim et al. International Journal of Implant Dentistry* 5,10,1-12.
- Kniha, K., Gahlert, M., Hicklin, S., Brägger, U., Kniha, H., & Milz, S. (2016). Evaluation of Hard and Soft Tissue Dimensions Around Zirconium Oxide Implant–Supported Crowns: A 1-Year Retrospective Study. *Journal of periodontology*, 87(5), 511-518.
- Kohal, R. J., Wolkewitz, M., & Tsakona, A. (2011). The effects of cyclic loading and preparation on the fracture strength of zirconium-dioxide implants: an in vitro investigation. *Clinical oral implants research*, 22(8), 808–814. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2010.02067.x>
- Kohal, R. J., Burkhardt, F., Chevalier, J., Patzelt, S. B. M., & Butz, F. (2023). One-Piece Zirconia Oral Implants for Single Tooth Replacement: Five-Year Results from a Prospective Cohort Study. *Journal of functional biomaterials*, 14(2), 116. <https://doi.org/10.3390/jfb14020116>
- Kruger, J. (1979) Fundamental aspects of corrosion of metallic implants. In: Syrett, BC & Acharya, BC, eds. *Corrosion and Degradation of Implant Materials, ASTM STP 684, 107–113*.
- Kunavisarut, C., Buranajanyakul, L., Kitisubkanchana, J., & Pumpaluk, P. (2020). A Pilot Study of Small-Diameter One-Piece Ceramic Implants Placed in Anterior Regions: Clinical and Esthetic Outcomes at 1-Year Follow-up. *The International journal of oral & maxillofacial implants*, 35(5), 965–973. <https://doi.org/10.11607/jomi.8308>
- Lalor P., Revell P., Gray A., Wright., Railton G., Freeman M. (1991) Sensitivity to titanium a cause of implant failure. *The journal of bone and joint surgery* 73,1 25-28.
- Lekholm U., Gunne J., Henry P., Higuchi K., Lindén U., Christina Bergström C., Steenberghe D.(1999) *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants* 14, 639–645.
- Liu, M., He, L., & Wang, H. (2021). Clinical and radiographic performance of one-piece and two-piece implant:a systematic review and meta-analysis. *Journal of prosthodontic research*, 65(1), 56–66. https://doi.org/10.2186/jpr.JPOR_2019_436
- Long, M., & Rack, H. J. (1998). Titanium alloys in total joint replacement—a materials science perspective. *Biomaterials*, 19(18), 1621-1639.
- Lorenz, J., Giuliani, N., Hölscher, W., Schwiertz, A., Schwarz, F., & Sader, R. (2019). Prospective controlled clinical study investigating long-term clinical parameters, patient

- satisfaction, and microbial contamination of zirconia implants. *Clinical implant dentistry and related research*, 21(2), 263–271. <https://doi.org/10.1111/cid.12720>
- Luthardt, R. G., Holzhüter, M., Sandkuhl, O., Herold, V., Schnapp, J. D., Kuhlisch, E., & Walter, M. (2002). Reliability and properties of ground Y-TZP-zirconia ceramics. *Journal of dental research*, 81(7), 487–491. <https://doi.org/10.1177/154405910208100711>
- Manicone, P. F., Rossi Iommetti, P., & Raffaelli, L. (2007). An overview of zirconia ceramics: basic properties and clinical applications. *Journal of dentistry*, 35(11), 819–826. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2007.07.008>
- Manzano, G., Herrero, L. R., & Montero, J. (2014). Comparison of clinical performance of zirconia implants and titanium implants in animal models: a systematic review. *The International journal of oral & maxillofacial implants*, 29(2), 311–320. <https://doi.org/10.11607/jomi.2817>
- Marcolino Cruz, D., Ortiz García, I., Matos Garrido, N., Rondón Romero, J. L., Jiménez Guerra, A., Núñez Márquez, E., ... & Velasco Ortega, E. (2024). Estudio retrospectivo a largo plazo del tratamiento con implantes dentales unitarios. *Avances en Odontoestomatología*, 40(SPE), 109-116.
- Mäusli, P. A., Simpson, J. P., Burri, G., & Steinemann, S. G. (1988). Implant materials in biofunction advances in biomaterials.
- Merritt, K. (1996) Systemic toxicity and hypersensitivity in biomaterials science. In: Ratner, BD, Hoffman, AS, Schoen, FJ & Lemons, JE, eds. *Biomaterials Science, an Introduction to Materials in Medicine*, 188–193. San Diego, CA: Academic.
- Merritt, K. & Rodrigo, J.J. (1996) Immune response to synthetic materials. Sensitization of patients receiving orthopaedic implants. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 326: 71–79.
- Mohseni, P., Soufi, A., & Chrcanovic, B. R. (2023). Clinical outcomes of zirconia implants: a systematic review and meta-analysis. *Clinical oral investigations*, 28(1), 15. <https://doi.org/10.1007/s00784-023-05401-8>
- Myshin, H. L., & Wiens, J. P. (2005). Factors affecting soft tissue around dental implants: a review of the literature. *The Journal of prosthetic dentistry*, 94(5), 440–444. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2005.08.021>
- Nagay, B. E., Cordeiro, J. M., & Barao, V. A. (2022). Insight into corrosion of dental implants: from biochemical mechanisms to designing corrosion-resistant materials. *Current Oral Health Reports*, 9(2), 7-21.
- Oliva, J., & Oliva, X. (2023). 15-Year Post-Market Clinical Follow-up Study of 1,828 Ceramic (Zirconia) Implants in Humans. *The International journal of oral & maxillofacial implants*, 38(2), 357–366. <https://doi.org/10.11607/jomi.10000>
- Payer M., Heschl, A., Koller, M., Arnetzl, G., Lorenzoni, M., & Jakse, N. (2015). All-ceramic restoration of zirconia two-piece implants--a randomized controlled clinical trial. *Clinical oral implants research*, 26(4), 371–376. <https://doi.org/10.1111/clr.12342>
- Piconi C., Maccauro G. (1997) Zirconia as a ceramic biomaterial. *Biomaterials* (20) 1–25.
- Pohl, V., Thoma, D. S., Sporniak-Tutak, K., Garcia-Garcia, A., Taylor, T. D., Haas, R., & Hämmerle, C. H. (2017). Short dental implants (6 mm) versus long dental implants (11–15 mm) in combination with sinus floor elevation procedures: 3-year results from a multicentre, randomized, controlled clinical trial. *Journal of clinical periodontology*, 44(4), 438-445.

- Randall, E. F., Abou-Arraj, R. V., Geurs, N., Griffin, R., Reddy, M., & Geisinger, M. (2019). The Effect of Dental Implant Collar Design on Crestal Bone Loss at 1 Year After Implant Placement. *The International journal of periodontics & restorative dentistry*, 39(2), 165–173. <https://doi.org/10.11607/prd.3516>
- Reclaru L, Meyer JM. Study of corrosion between a titanium implant and dental Alloys. *J Dent* 1994;22:159-68.
- Ross I., Rainforth W., McComb D., Scott A., Brydson S. (2001) The role of trace additions of alumina to yttria tetragonal zirconia polycrystals (Y TZP) *Scripta Materialia* (45) 653-660.
- Sanon, Clarisse; Chevalier, Jérôme; Douillard, Thierry; Cattani-Lorente, Maria; Scherrer, Susanne S.; Gremillard, Laurent. (2015). *A new testing protocol for zirconia dental implants*. *Dental Materials*, 31(1), 15-25. doi:10.1016/j.dental.2014.09.0
- Sadowsky, S. J. (2023). Zirconia Implants: A Mapping Review. *Oral*, 4(1), 9-22.
- Schliephake, H., Sicilia, A., Nawas, B. A., Donos, N., Gruber, R., Jepsen, S., ... & Sánchez Suárez, L. M. (2018). Drugs and diseases: Summary and consensus statements of group 1. The 5th EAO Consensus Conference 2018. *Clinical oral implants research*, 29, 93-99.
- Shigemitsu, R., Ogawa, T., Matsumoto, T., Yoda, N., Gunji, Y., Yamakawa, Y., Ikeda, K., & Sasaki, K. (2013). Stress distribution in the peri-implant bone with splinted and non-splinted implants by in vivo loading data-based finite element analysis. *Odontology*, 101(2), 222–226. <https://doi.org/10.1007/s10266-012-0077-y>
- Sicilia A., Cuesta S., Coma G., Arregui I., Guisasola C., Ruiz E., Maestro A. (2008) Titanium allergy in dental implant patients: a clinical study on 1500 consecutive patients. *Clin. Oral Impl. Res.* 19, 823–835.
- Souza, J. C., Apaza-Bedoya, K., Benfatti, C. A., Silva, F. S., & Henriques, B. (2020). A comprehensive review on the corrosion pathways of titanium dental implants and their biological adverse effects. *Metals*, 10(9), 1272.
- Sivaraman, K., Chopra, A., Narayan, A. I., & Balakrishnan, D. (2018). Is zirconia a viable alternative to titanium for oral implant? A critical review. *Journal of prosthodontic research*, 62(2), 121–133. <https://doi.org/10.1016/j.jpor.2017.07.003>
- Thoma, D; Lim, Hyun-Chang; Paeng, Kyeong-Won; Jung, Ui-Won; Hämmerle, Christoph H.F.; Jung, R. (2019). Tissue integration of zirconia and titanium implants with and without buccal dehiscence defects – a histologic and radiographic preclinical study. *Clinical Oral Implants Research*, (), clr.13451–. doi:10.1111/clr.13451
- Thomas, P., Braathen, L.R., Dörig, M., Auböck, J., Nestle, T., Werfel, T. & Willert, H.G. (2009) Increased metal allergy in patients with failed metal-on-metal hip arthroplasty and peri-implant T-lymphocytic inflammation. *Allergy* 64: 1157–1165.
- Tsubakino H., Nozato R. (1991) Effect of Alumina Addition on the Tetragonal-to-Monoclinic Phase Transformation in Zirconia-3 mol%Yttria. *J Am Ceram Soc*, (74)2 440-43.
- Velasco Ortega, E., Jimenez Guerra, A., Moreno Muñoz, J., Ortiz García, I., Rondón Romero, J. L., Núñez Márquez, E., ... & Monsalve Guil, L. (2023). Investigación clínica a largo plazo del tratamiento con implantes dentales. *Avances en Odontoestomatología*, 39(3), 41-50.
- Weingart D., Steinemann S., Schilli W., Strub J., Hellerich U., Assenmacher J., Simpson J., (1994). Titanium deposition in regional lymph nodes after insertion of titanium screw implants in maxillofacial region. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* 23, 450-452

- Wiessner, A., Wassmann, T., Wiessner, J. M., Schubert, A., Wiechens, B., Hampe, T., & Bürgers, R. (2023). In Vivo Biofilm Formation on Novel PEEK, Titanium, and Zirconia Implant Abutment Materials. *International journal of molecular sciences*, 24(2), 1779. <https://doi.org/10.3390/ijms24021779>
- Wennerberg A., Albrektsson T (2009) Effects of titanium surface topography on bone integration: a systematic review. *Clin. Oral Impl. Res.* 20, 4, 172–184.
- Weerapong, K., Sirimongkolwattana, S., Sastraruji, T., & Khongkhunthian, P. (2019). Comparative study of immediate loading on short dental implants and conventional dental implants in the posterior mandible: A randomized clinical trial. *The International journal of oral & maxillofacial implants*, 34(1), 141–149. <https://doi.org/10.11607/jomi.6732>