

UNIVERSIDAD DE SEVILLA
TRABAJO FIN DE MÁSTER



MEDICIÓN DE MICRO-GAPS EN PRÓTESIS SOBRE IMPLANTES. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

-

MICRO-GAPS MEASUREMENT IN IMPLANT PROSTHESIS. A BIBLIOGRAPHIC REVIEW

Autora: Claudia Ruiz Carrión
Tutor: Emilio Jiménez – Castellanos Ballesteros
Cotutora: Ana Orozco Varo

Año académico: 2020-2021

FACULTAD DE ODONTOLOGÍA



FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

DR/DRA. Emilio Jiménez-Castellanos Ballesteros, PROFESOR/A Catedrático de Universidad ADSCRITO AL DEPARTAMENTO DE Estomatología, COMO DIRECTOR/A DEL TRABAJO FIN DE **MÁSTER OFICIAL EN ODONTOLOGÍA RESTAURADORA, ESTÉTICA Y FUNCIONAL** Y DR./DRA. Ana Orozco Varo, PROFESOR/A Asociada ADSCRITA AL DEPARTAMENTO DE Estomatología, COMO COTUTOR/A DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER.

CERTIFICAN: que el presente trabajo titulado “MEDICIÓN DE MICRO-GAPS EN PRÓTESIS SOBRE IMPLANTES. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA”

ha sido realizado por Dña. Claudia Ruiz Carrión bajo nuestra dirección y cumple a nuestro juicio, todos los requisitos necesarios para ser presentado y defendido como trabajo de fin de máster.

y para que así conste y a los efectos oportunos, firmamos el presente certificado, en Sevilla a día 1 de septiembre de 2021.

D/D^e Emilio Jiménez-Castellanos B.

TUTOR/A

D./D^e Ana Orozco Varo

COTUTOR/A



Facultad de Odontología



D/Dña. (Apellidos y Nombre)

...Claudia...Ruiz...Carrión.....

con DNI...25351267...T.....alumno/a del Máster Oficial

...Odontología...Conservadora,...Estética...y...Funcional.....

....

de la Facultad de Odontología (Universidad de Sevilla), autor/a del Trabajo Fin de Máster titulado:

...Medición de microgaps en prótesis sobre implantes. Una revisión bibliográfica.....

.....

DECLARO:

Que el contenido de mi trabajo, presentado para su evaluación en el Curso ...2020/2021....., es original, de elaboración propia, y en su caso, la inclusión de fragmentos de obras ajenas de naturaleza escrita, sonora o audiovisual, así como de carácter plástico o fotográfico figurativo, de obras ya divulgadas, se han realizado a título de cita o para su análisis, comentario o juicio crítico, incorporando e indicando la fuente y el nombre del autor de la obra utilizada (Art. 32 de la Ley 2/2019 por la que se modifica el texto refundido de la Ley de Propiedad Intelectual, BOE núm. 53 de 2 de Marzo de 2019)

APERCIBIMIENTO:

Quedo advertido/a de que la inexactitud o falsedad de los datos aportados determinará la calificación de **NO APTO** y que **asumo las consecuencias legales** que pudieran derivarse de dicha actuación.

Sevilla.....3.....de...septiembre.....de 2021...

(Firma del interesado)

Fdo.: Claudia Ruiz Carrión

RESUMEN

Introducción: los microgaps presentes en la conexión pilar-implante están presentes en todos los sistemas implantológicos. Estos defectos causan alteraciones por ser reservorio para microorganismos y por influir en el comportamiento mecánico del conjunto ya que causan micromovimientos. Ambas características perjudican a los tejidos periimplantarios promoviendo su inflamación y pérdida.

Objetivos: analizar, mediante una revisión bibliográfica, los distintos métodos de medición que se emplean para evaluar el tamaño y el número de microgaps presentes en la conexión pilar-implante.

Material y Método: se ha realizado una revisión bibliográfica desde enero de 2014 hasta junio de 2021 buscando detalladamente en PubMed, Scopus y Cochrane Oral Health Database. Se identificaron 20 artículos que cumplían los requisitos de inclusión.

Resultados: para la visualización de los microgaps en la conexión pilar-implante existen 3 métodos: mediante el uso de microscopio electrónico de barrido que utiliza softwares externos para la medición de microgaps, empleando microtomografía computarizada y mediante radiografía de sincrotrón que ambos métodos utilizan el software del escáner para las mediciones.

Conclusiones: en todas las estructuras implantoprotésicas formadas por dos componentes se han hallado microgaps en las conexiones pilar -implante para los que existen diversos métodos de medición, siendo las mediciones con microtomografía computarizada y con radiografía con sincrotrón las que dan una información más precisa.

Palabras clave: “misfit”, “abutment implant-prosthesis” y “measurement micro gap”.

ABSTRACT

Introduction: the microgaps present in the abutment-implant connection are found in all implant systems. These defects cause alterations by being a reservoir for microorganisms and by influencing the mechanical behavior of the assembly since they cause micro-movements. Both characteristics damage the peri-implant tissues promoting their inflammation and loss the implant.

Objectives: to analyze, by means of a bibliographic review, the different measurement methods used to evaluate the size and number of microgaps present in the abutment-implant connection.

Material and Method: a bibliographic review was carried out from January 2014 to June 2021, searching in detail in PubMed, Scopus and Cochrane Oral Health Database. Twenty articles were identified that met the inclusion requirements.

Results: for the visualization of the microgaps in the abutment-implant connection there are 3 methods: by using a scanning electron microscope that uses external software for the measurement of microgaps, using computerized microtomography and by synchrotron radiography that both methods use the software of the scanner for measurements.

Conclusions: Microgaps have been found in the abutment-implant connections in all implant prosthetic structures made up of two components, for which there are various measurement methods, with computed microtomography and synchrotron radiography measurements that provide the most accurate information

Key words: “misfit”, “abutment implant-prosthesis” and “measurement micro gap”.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN:.....	1
II.	OBJETIVOS	6
III.	MATERIAL Y MÉTODO.....	6
IV.	RESULTADOS	8
V.	DISCUSIÓN	15
1.	MÉTODOS DE VISUALIZACIÓN	15
2.	MÉTODOS DE MEDICIÓN	18
VI.	CONCLUSIÓN.....	22
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23

I. INTRODUCCIÓN:

El éxito a largo plazo de las restauraciones protésicas apoyadas en implantes está bajo la dependencia de una larga lista de requisitos. Este éxito guarda una relación directa con la precisión del ajuste entre el implante y la estructura protésica. Es un factor que dicta la estabilidad de la interfaz pilar-implante y si el ajuste entre ambas estructuras no es correcto se producen microgaps. Se define como microgap de la interfaz pilar-implante, al espacio microscópico localizado entre el implante y el pilar correspondiente^{1, 2}.

La ausencia de exactitud de la unión entre el pilar de la prótesis y el implante facilita micromovimientos entre ambas piezas. Para el sistema de implantes de dos piezas, aunque el micromovimiento en las conexiones de pilar-implante disminuye debido a una fabricación precisa del implante y el pilar, los procesos de producción de implantes actuales no pueden evitar la aparición de microgaps y, por tanto, el micromovimiento entre el pilar y el implante al masticar².

Las complicaciones más frecuentes derivadas de microgaps son el aflojamiento progresivo del tornillo, la fractura del pilar o del implante y la pérdida de hueso marginal causado por sobrecarga y por microfiltración bacteriana.

La destrucción originada por los micromovimientos de la interfaz pilar-implante se manifiesta principalmente en dos aspectos:

- En primer lugar, el micromovimiento interfiere en la unión del tejido blando alrededor del cuello del implante e interrumpe la estabilidad del tejido blando que ha completado la integración.
- En segundo lugar, el micromovimiento provoca un efecto de microbombeo que intensifica la fuga de bacterias y sus subproductos tóxicos y favorece el acceso de la sangre, la saliva y los proteoglicanos en la cavidad interna del implante que actúa como reservorio de nutrientes para bacterias aquí alojadas¹⁻⁴.

Los microgaps y micromovimientos causan también daños mecánicos como son el desgaste por rozamiento o fricción, el desgaste del adhesivo y el aflojamiento de los tornillos. El desgaste por fricción se refiere a la microfractura y el astillado entre la interfaz del pilar del implante, mientras que el desgaste adhesivo se define como la deformación plástica en la interfaz pilar-implante². Según los estándares internacionales de comportamiento de las fracturas por fatiga en los implantes dentales, esto ocurre en la conexión pilar-implante⁵.

El tamaño de los microgaps, el número y su disposición está directamente regido por el material del pilar protésico (al menos de la parte del pilar que participa en la conexión)^{2, 6}, el tipo de conexión pilar-implante¹⁻⁴ y de la técnica llevada a cabo para la fabricación del pilar^{2, 6}.

Los microgaps que aparecen entre el pilar de titanio y el implante de titanio son más pequeños que los microgaps formados entre el pilar de zirconia y el implante de titanio. Además, los microgaps de la interfaz pilar-implante en los casos de los pilares de zirconio aumentan significativamente cuando se aplican valores de torque inferiores a los valores recomendados por el fabricante^{2, 6}. Se suma a esto que en los pilares de zirconia desgaste producido por el rozamiento de los micromovimientos fomenta el aumento del tamaño y del número de gaps².

Todos los tipos de conexiones presentan microgaps¹⁻⁴. Al comparar la conexión interna con la externa, se aprecian microgaps en ambos tipos de conexiones, pero en la conexión implante-pilar en los implantes de conexión interna es menos favorable para la infiltración de fluidos que la conexión externa. El tamaño de los microgaps varía de 1 a 49 μm según los diferentes sistemas de implantes⁴. Los sistemas de conexión cónica y mixta parecen presentar menores microgaps y, además, ambas conexiones parecen tener una mejor distribución de carga¹.

Respecto a la técnica de fabricación de los pilares, los implantes de titanio fresados presentan un ajuste más preciso que los sinterizados con láser y que los obtenidos mediante colado, esto de forma independientemente al sistema de implante⁶.

Otro factor a tener en cuenta en la aparición de gaps es el torque aplicado a la estructura. El hecho de que al colocar el pilar sobre el implante no se le aplique el

torque recomendado por el fabricante aumenta en número y en tamaño la presencia de microgaps^{6, 7}. Inversamente, los microgaps producen un aflojamiento progresivo del tornillo de unión pilar-implante y por tanto disminuye el torque^{1,2}. Con el aflojamiento del tornillo de unión aparecen micromovimientos del pilar que alteran la función mecánica del implante viéndose afectado y comprometida su supervivencia⁵.

las estructuras pilar-implante están constantemente sometidas a cargas. Se han evaluado los efectos de las cargas estáticas y dinámicas sobre el complejo implantoprotésico demostrando que influyen positivamente en la presencia de microespacios y micromovimientos entre el implante y el pilar, que directa o indirectamente provocan microfiltraciones y daños mecánicos. En consecuencia, los grados de microespacio y micromovimiento aumentan aún más⁸. Esta evolución de la conexión pilar-implante se agrava más bajo cargas dinámicas que estáticas siendo las cargas dinámicas las que con mayor frecuencia someten al pilar y al implante.

La conexión pilar-implante actúa como reservorio para bacterias las cuales, sin una fuente de nutrientes, no continúan su colonización y mueren⁴. Los microgaps que se encuentran en la conexión actúan como vía de acceso de nutrientes al interior de la conexión facilitándole a los microorganismos su supervivencia y el acceso de nuevos microorganismos¹⁻³. A esto se le añade que la remoción y colocación del pilar en las distintas fases que abarca la de confección de una prótesis sobre implantes se fomenta la colonización de este espacio. Los micromovimientos del tornillo de unión y/o del pilar causan también un efecto de bombeo al interior de la conexión de bacterias y sus subproductos tóxicos agravando la microfiltración².

La estabilidad de los tejidos blandos y duros periimplantarios se ve comprometida por ambos factores: la presencia de microorganismos y por los micromovimientos. Estas causas, guardan, como ya hemos expuesto, relación directa con los microgaps de la conexión pilar-implante. Se ha demostrado que, tanto los microorganismos como los micromovimientos, disminuyen considerablemente si el sistema pilar-implante es una estructura única (sin conexión)².

Estudiar el tamaño y la disposición de estos microgaps formados en las conexiones es fundamental para comparar sistemas de conexiones en términos de estabilidad del implante a largo plazo e intentar disminuir su presencia.

La evaluación de estos espacios no se rige por ningún protocolo y los equipos de investigación emplean métodos distintos en función de su criterio y de sus limitaciones. Esto influye en que la comparación entre diferentes tipos de conexiones, de materiales de pilares, de método de confección del pilar o cualquier objetivo de estudio de investigaciones podría sufrir un sesgo. Existe un amplio abanico de opciones utilizadas para medir los microgaps de la conexión pilar-implante que se suelen clasificar de la siguiente forma:

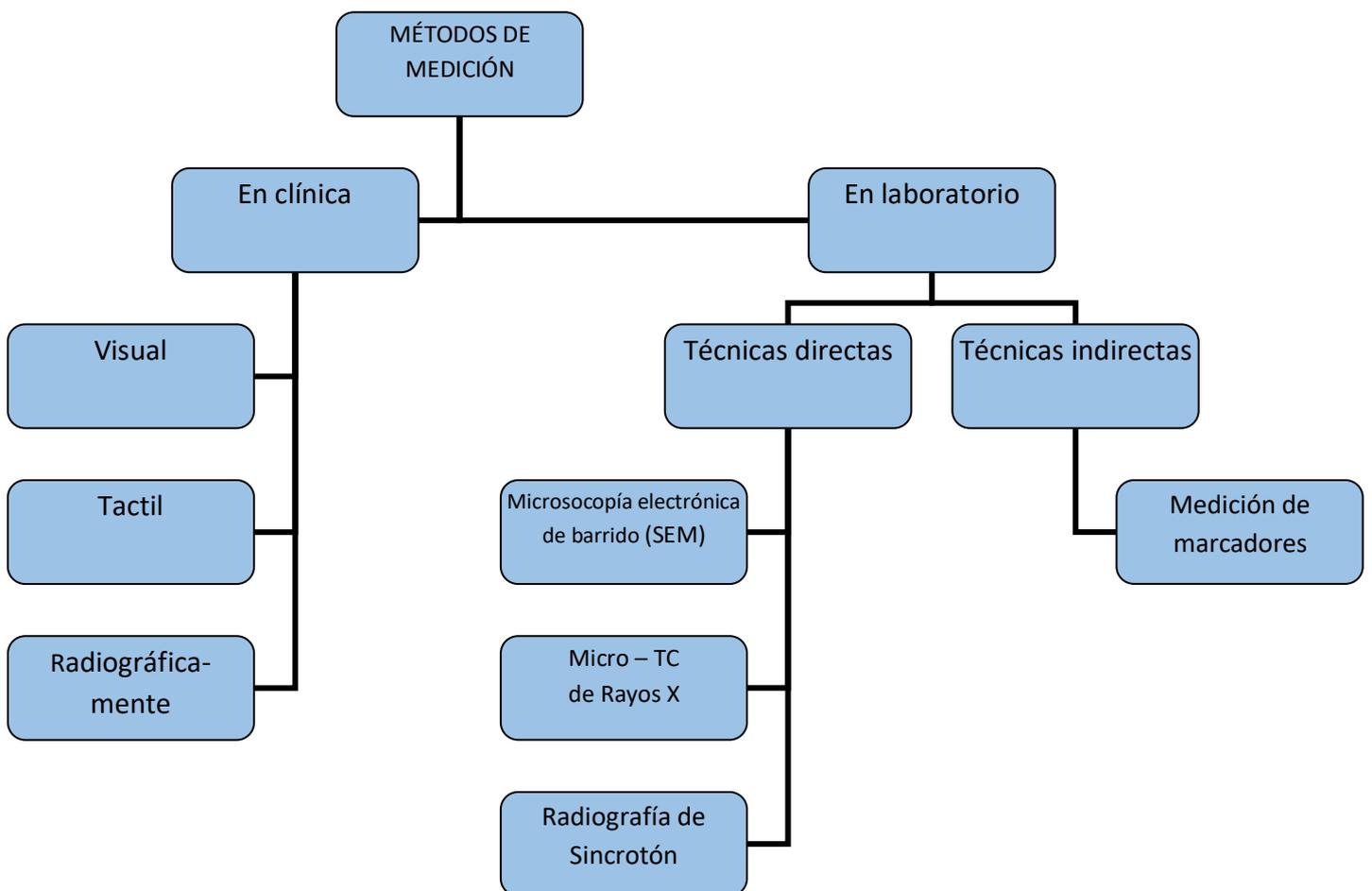


Imagen 1. Clasificación de los métodos de medición

Ninguna de las opciones de los métodos de medición en clínica nos aporta una información fiable pues las posibilidades de medir en clínica los microgaps son limitadas y con frecuencia los datos están alterados. Así que este grupo de métodos no es utilizado por los profesionales para valorar la conexión pilar-implante. Estas técnicas son usadas por los clínicos para asegurarse la correcta posición del pilar sobre el implante pero no nos informan de los microgaps de la conexión^{9, 10}.

Por otra parte, las técnicas indirectas trabajan midiendo la concentración de marcadores como bacterias o tintes alrededor del implante. Son útiles para facilitar la visualización de los microgaps, cuantificarlos, conocer dónde se localizan y aportan una estimación del tamaño del micro-gap por lo que se emplean de forma adicional al trabajo de medición. Sí tienen gran utilidad las técnicas de medición de la concentración de marcadores para estudiar y cuantificar los microorganismos y sus sustancias que contaminan estos espacios, el tiempo que tardan en ser contaminados, la vía de acceso por la que penetran en dichos lechos, etc.

Las técnicas de medición directas, por tanto, son las más aceptadas por los expertos para cuantificar los microgaps y recopilar los datos de su tamaño. Existen tres métodos a los que se recurren para llevar a cabo la visualización de microgaps en la interfaz pilar-implante de forma directa:

- Microscopía óptica de barrido (SEM: *Scanning Electron Microscope*): proporciona imágenes tridimensionales de la morfología externa de una muestra, permitiendo su observación y caracterización mediante contraste topográfico o composicional. El rango de tamaños observables mediante el SEM es de milímetros y nanómetros. Es necesario que la muestra previamente haya sido procesada haciendo microtomos.¹¹
- Microtomografía computarizada (Micro-TC): es una técnica de imagen por rayos X que permite explorar y escanear muestras en 3 dimensiones. La naturaleza no destructiva de la técnica permite la visualización de imágenes de cortes virtuales de detalles internos sin daño material investigado. Si bien micro-CT se usa para proporcionar imágenes de corte virtual o incluso imágenes 3D en estudios

biomiméticos, se usa con frecuencia para obtener imágenes y para un análisis más detallado de la estructura tridimensional utilizando mediciones avanzadas.^{11, 12}

- Radiografía de Sincrotrón: los sincrotrones son aceleradores de partículas al más alto nivel de energía. La radiación sincrotrónica se produce cuando los electrones cambian la dirección de su giro emitiendo una radiación muy energética. Se obtienen imágenes en 3 dimensiones con la máxima precisión.¹³

Además de los elementos de visualización de los microgaps, los métodos para su medición propiamente dichos son necesarios. En algunos casos como en el microscopio óptico de barrido, posee un software que permite esta función pero en ciertos estudios han recurrido a softwares externos para obtener mayor precisión y poder comparar los datos obtenidos. En los casos en los que se han empleado la microtomografía computarizada o la radiografía de sincrotrón, sí han utilizado para la medición de los microgaps el propio software del visualizador.

II. OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es analizar, mediante una revisión bibliográfica sistemática, los distintos métodos de medición disponibles que se emplean para evaluar el tamaño y el número de microgaps presentes en la conexión pilar-implante. Los métodos de medición se componen:

- Técnicas empleadas para la visualización de los microgaps de la conexión pilar-implante.
- Sistemas de medición de los microgaps, tanto en número como en tamaño de los mismos y análisis de los datos recopilados.

III. MATERIAL Y MÉTODO

Para la elaboración de este Trabajo Fin de Máster se ha realizado una revisión bibliográfica de los últimos años, desde enero de 2014 hasta junio de 2021. La revisión

bibliográfica se ha realizado buscando detalladamente en las páginas PubMed filtrando el tiempo (en los últimos 6 años), el tipo de estudios (metanálisis y revisiones sistemáticas). Asimismo, se ha realizado una búsqueda a través del Cochrane Oral Health Database y en la base de datos de Scopus. Como criterios de inclusión, el estudio debía aportar información sobre métodos de medición de gaps en prótesis sobre implantes. Con las palabras clave: “misfit”, “abutment implant-prosthesis” y “measurement micro-gap”.

La búsqueda de información se ha focalizado en el apartado de materiales y métodos de los artículos experimentales, en función a cómo han desarrollado la medición de los microgaps de la conexión pilar-implante. En los artículos de revisión bibliográfica sistemática hemos centrado la búsqueda en el apartado de resultados.

En el siguiente esquema se muestra el proceso de búsqueda, así como los artículos finalmente seleccionados para el presente estudio.

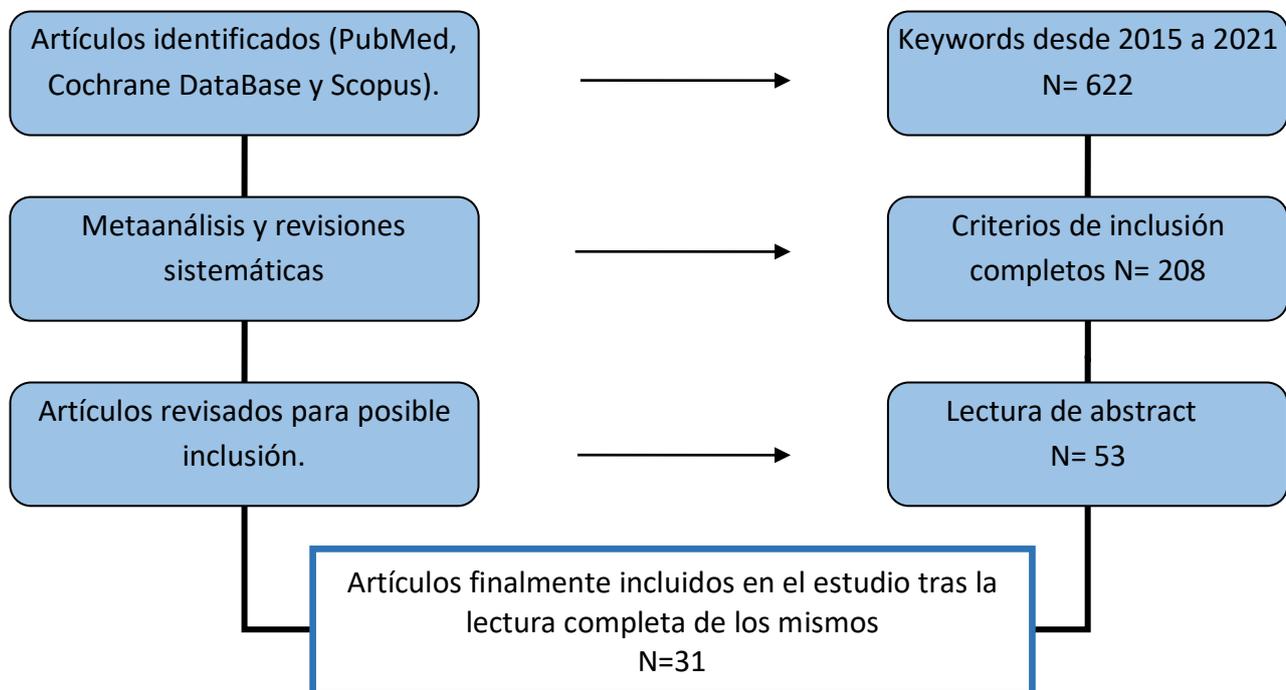


Imagen 2. Diagrama de flujo.

IV. RESULTADOS

En la siguiente tabla (tabla 1) se representa de forma esquematizada los artículos empleados para estudiar los distintos métodos de medición de los micro-gaps. La aparición de los artículos en la tabla corresponde con el año de publicación, empezando por los más longevos a los más actuales. Cada artículo ha recurrido a una técnica de visualización de estos microespacios para detectarlos y contabilizarlos. Los sistemas de medición del tamaño de los micro-gaps han variado también dependiendo del software al que han recurrido en cada artículo y a la base de datos en la que se han estudiado los datos recopilados.

La información recopilada de cada artículo se expone a continuación de forma resumida.

Tabla 1. Métodos de visualización y de medición empleados en los estudios que han evaluado los microgaps en la conexión pilar-implante.

Ref.	TÍTULO DEL ARTÍCULO	AUTOR Y AÑO	REVISTA	MÉTODO DE VISUALIZACIÓN	MÉTODO DE MEDICIÓN
5	Implant–abutment connections: influence of the design on the microgap and their fatigue and fracture behavior of dental implants	F. M. Gil et al. 2014	Journal of Materials Science: Materials in Medicine	muestras seccionadas en el eje longitudinal por un disco de diamante y escaneados con microscopía electrónica de barrido (SEM) (JEOL 6400)	Medición de imágenes con un sistema de análisis de imágenes con 0,2 m de sensibilidad en las medidas.
14	Analysis of the misfit of dental implant-supported prostheses made with three manufacturing processes	Marc Fernández et al. 2014	The Journal of Prosthetic Dentistry	Microscopía electrónica de barrido (SEM) (6400 JEOL Scanning Microscope; Ltd).	Micrografías de cada pilar-implante cuantificadas con el software de análisis de imágenes específico (Wyko Vision 32; Veeco Instruments).

Ref.	TÍTULO DEL ARTÍCULO	AUTOR Y AÑO	REVISTA	MÉTODO DE VISUALIZACIÓN	MÉTODO DE MEDICIÓN
15	A pilot study of joint stability at the zirconium or titanium abutment/titanium implant interface.	Cavusoglu Y et al. 2014	International Journal Oral Maxillofacial Implants.	Visualización con SEM (JSM-6400 Electron Microscope JEOL) x15 y claridad	Semaphore digitizer para explorar la conexión
16	Microleakage of the prosthetic abutment/implant interface with internal and external connection: in vitro study	Verdugo CL et al. 2014	Clinical Oral Implants Research	Microscopio óptico de barrido SEM (JEOL JSM-6360LVx) x20	Medición con microscopio SEM
17	Microleakage of bacteria in different implant-abutment assemblies: An in vitro study	D'Ercole S. et al. 2015	Journal of Applied Biomaterials and Functional Materials	Con microscopio óptico de barrido (Philips XL30CP)	Medición con microscopio SEM
18	The bacterial sealing capacity of Morse Taper implant-abutment systems in vitro	Raneri R. et al. 2015	Journal of Periodontology	Microscopio óptico de barrido (6400 JEOL Scanning Microscope; Ltd)	Análisis con software de SEM
19	Implant-Abutment Contact Surfaces and Microgap Measurements of Different Implant Connections Under 3-Dimensional X-Ray Micro-TC	Scarano et al. 2016	Implant Dentistry	Microtomografía de rayos X por Skyscan 1072. Aumento a X30 y sección transversal, tamaño de píxel de 9,77 µm.	Imágenes obtenidas procesadas por software de reconstrucción (Ctan, v. 1.16), que reproduce el modelo 3D exacto de cada implante examinado

Ref.	TÍTULO DEL ARTÍCULO	AUTOR Y AÑO	REVISTA	MÉTODO DE VISUALIZACIÓN	MÉTODO DE MEDICIÓN
20	In vitro analysis of the microbiological sealing of tapered implants after mechanical cycling	Alves DCC. Et al. 2016	Clinical Oral Investiga-tions	Microscopio óptico de barrido (SEM; Quanta FEG 250, FEI) X30 -1500.	Análisis mediante software de SEM
21	The impact of conical and nonconical abutments on bacterial infiltration at the implant-abutment interface.	Guerra E. et al 2016	Internatio-nal journal PeriodonticRes torative Dentist	Microscopio óptico de barrido (SEM) X1,000	Software de SEM
22	Nonlinear Finite Element Analysis and Micro-TC Evaluation of Microgap Formation in a Dental Implant Under Oblique Loading	Daniela Jörn et al. 2016	The Internatio-nal journal of oral & maxillofa-cial implants	En el dispositivo micro-CT (tipo X8011, Viscom), se inspeccionó a 80 kV	Mediante el software XVR-CT (Viscom) y un algoritmo de haz cónico reconstruyó las imágenes
23	Marginal gap and internal fit of a zirconia crown and implant abutment using three different digital workflows	Stephanie kayleen zeller 2017	Texas A&M University, Oral Biology	Escaneado de replicas en PVS (Polyvinyl siloxano) del implante y del pilar separados con escáner de laboratorio D900.	Importación de archivos .STL al software Geomagic para emparejarlo virtualmente y analizar conexión.

Ref.	TÍTULO DEL ARTÍCULO	AUTOR Y AÑO	REVISTA	MÉTODO DE VISUALIZACIÓN	MÉTODO DE MEDICIÓN
23 II. ^a	Marginal gap and internal fit of a zirconia crown and implant abutment using three different digital workflows	kayleen zeller S. 2017	Texas A&M University, Oral Biology	Pilar-implante atornillado seccionados bucoaxialmente. Con microscopio SEM (JEOL 6010)	Microgaps medidos con el microscopio SEM (JEOL 6010)
24	A Classification System to Measure the Implant-Abutment Microgap	Stefania C. K. et al. 2017	The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants	Análisis con microscopio óptico de barrido (Toolmaker Microscope; Gaertner Scientific) de la superficie externa de la conexión a 150x	Rejilla de medición de precisión 1µm en el microscopio (Measuring Equipment; Gaertner Scientific).
25	Evaluation of the Sealing Capability of the Internal Conical Connections of Implants with Titanium and Zirconia Abutments	W. Lien et al. 2017	The Journal of Contemporary Dental Practice	Pilar- implante unidos y con SEMa x20 inspección externa con visualización directa.	Sistema de lectura digital: Quadra-Chek 200 ^b
26	Bacterial microleakage at the abutment-implant interface, in vitro study.	Larrucea C. et al. 2017	Clinical Implant Dentistry and Related Research	Escáner con micro-CT (Nikon XT H 225). Parámetros de radiación 140 kV voltaje y 90-µA	software Inspect-X para la reconstrucción 3D de las imágenes y su medición

Ref.	TÍTULO DEL ARTÍCULO	AUTOR Y AÑO	REVISTA	MÉTODO DE VISUALIZACIÓN	MÉTODO DE MEDICIÓN
27	Validation of finite-element simulations with synchrotron radiography – A descriptive study of micromechanics in two-piece dental implants	Wolfram Wiest et al. 2018	Helyon , Elsevier	Micro-TC con radiografía de contraste de fase (PCR).	Tamaño de imágenes 0,87µm con software BESSY-II. Medición del microgap marcando los límites de la conexión pilar-implante que mejora la visualización de PCR.
27. II	Validation of finite element simulations with synchrotron radiography: A descriptive study of micromechanics in two-piece dental implants	Wolfram Wiest et al. 2018	Helyon, Elsevier	microtomografía basada en sincrotrón	Tamaño de imágenes 0,87 µm con software BESSY-II. Medición del microgap marcando los límites de la conexión pilar-implante que mejora la visualización de PCR.
28	hysicochemical and microscopic characterization of implant–abutment joints	Patricia A. Lopes et al. 2018	European Journal of Dentistry	Visualización con SEM (Shimadzu SS-550).	Punta de pirámide de Berkovich (ángulo de vértice de 143º) para medir la nano-indentación varian la posición de la punta de Berkovich.
9	Contact analysis of gap formation at dental implant-abutment interface under oblique loading: A numerical-experimental study	Yiting He BDS et al. 2019	Clinical Implant Dentistry and Related Research	Escáner 3D microTC (XT H25, Nikon Metro-logy Inc.). Aplicación de AgNO3. Reconstrucción 3D con software CPro 3D.	VGStudio MAX 2.2. para buscar fugas de nitrato de plata vistas como una línea o área entre implante - pilar

Ref.	TÍTULO DEL ARTÍCULO	AUTOR Y AÑO	REVISTA	MÉTODO DE VISUALIZACIÓN	MÉTODO DE MEDICIÓN
3	Evaluation of Microleakage and Micro-gap of Two Different Internal Implant-Abutment Connections: An In Vitro Study	Vulli VS Triveni 2020	The Journal of Contemporary Dental Practice	Escaneado con microscopio óptico de barrido a 15 kV.	Medición con software de SEM y e ingreso de datos en software estadístico SPSS ver.21.
29	Measurement of gap between abutment and dental conical connection implants. A focused ion beam SEM observation	Carnovale F. et al. 2020	Medicina Oral Patología Oral y Cirugía Bucal	Corte tomográfico con microtomo y FIB. Observación con SEM.	Medición con SEM (Helios NanoLab DualBeam) y datos.
6	Evaluation of Milled Titanium vs Laser Sintered Co-Cr Abutments on the Marginal Misfit in Internal Implant-Abutment Connection	Gonzalo E. et al. 2020	Materials (Bases)	Escaneado con microscopio óptico de barrido (SEM). La superficie de las muestras fué cubierta con oro de 24 kt.	software <i>INCA Suite 4.04</i> para digitalizar imágenes y editarlas con Microsoft® Paint 2013 para tener más número de mediciones por muestra.

Ref.	TÍTULO DEL ARTÍCULO	AUTOR Y AÑO	REVISTA	MÉTODO DE VISUALIZACIÓN	MÉTODO DE MEDICIÓN
30	Review of the Mechanical Behavior of Different Implant–Abutment Connections	Ana Sofia Vinhas 2020	International Journal of Environmental Research and Public Health	Topografía de la superficie interna del pilar y del implante evaluadas con SEM, análisis de irregularidades y de ambas partes unidas externamente.	Medición de datos con SEM y se analizaron con SPSS
31	Synchrotron-based micro computed tomography investigation of the implant-abutment fatigue - induced microgap change	Aimen Bagegni et al. 2021	Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials	Escaneado con micro-TC basada en Sincrotón.	Analizando las imágenes con el software ImageJ (ImageJ, 1.51j8)
31. II ^a	Synchrotron-based micro computed tomography investigation of the implant-abutment fatigue-induced microgap change	Aimen Bagegni et al. 2021	Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials	Con el implante y el pilar unidos se escaneó con Microscopio Óptico LM (Olympus Stereo Microscope) a aumento 7x	Imágenes realizadas con software Cellp (Olympus) ampliadas 6x

^a En el artículo se recurre al uso de dos técnicas de medición, pudiendo ser para realizar una comparación entre ambas técnicas de medición o para corroborar la fiabilidad de los datos obtenidos.

V. DISCUSIÓN

Al haber analizado dos campos distintos fundamentales para la valoración de los microgaps, vamos a tratar ambos temas de forma individual.

1. MÉTODOS DE VISUALIZACIÓN

El método de visualización de los microgaps para su medición más usado hasta la fecha ha sido el microscopio óptico de barrido (SEM). A pesar de esto, no es el que mejor nos informa sobre los microgaps puesto que la visualización de los microgaps con SEM es dependiente de los cortes tomográficos realizados a las muestras y por tanto, pueden no apreciarse en su totalidad o directamente, no ser expuestos en los microtomos. Otra desventaja implícita de utilizar la técnica de SEM es que la información que nos aporta es en dos dimensiones sin tener conocimiento de la profundidad del defecto de la conexión.

En algunos artículos han empleado la técnica de microscopio óptico de barrido para observar de forma externa a la unión del pilar y el implante analizando la periferia de la estructura y midiendo el espacio que queda entre ambos componentes, lo que se denomina espacio circunferencial. En estos casos la información aportada es del ajuste entre el implante y el pilar pero para conocer los microgaps de la unión no es la técnica más idónea puesto que precisamos tener conocimiento de cómo es el interior de ésta³¹.

En los sistemas de visualización en 2 dimensiones (microscopio de barrido) ha sido necesario recurrir a la preparación de las muestras mediante la realización de microtomos para así poder observar el interior de la conexión de pilar – implante.

La preparación de las estructuras pilar-implante para la confección de micromtomos requieren que hayan sido previamente embebidas en resina para asegurar su sujeción y facilitar su procesamiento pero en algunos casos de microgaps extensos, ha llegado a ocupar dichos espacios^{9, 19, 20, 30}.

La conexión entre el pilar y el implante podría evaluarse en 2D más en profundidad, con cortes tomográficos obtenidos mediante varios métodos: utilizando discos de

diamante^{5, 18} o por abrasión con fresas o electroerosión. El tamaño de los microtomos no es estandarizado habiendo estudios que los han obtenido a 1mm¹⁸ y otros los han realizado dividiendo el sistema pilar – implante por la mitad¹⁶.

Estas técnicas de confección de microtomos además, tienen la limitación de producir artefactos relacionados con la acción mecánica de las herramientas de corte. La superficie de metal, cuando se corta este material, es irregular por lo que el espacio real puede estar ocupado por remanentes del proceso de corte de las muestras. Esto influye ya que no se puede medir de manera efectiva e incluso, a menudo, este espacio es invisible.

Para solventar esta situación, algunos artículos han mejorado la superficie de las muestras seccionadas mediante tratamientos adicionales. Investigadores han recurrido al pulido de la superficie con una fresa de 0,04 μm de grano ²⁸.

En otro de los artículos incluidos, las muestras de pilar-implante se prepararon seccionándolas con un micrótopo. A continuación, se trabajó sobre las superficies de los microtomos con una herramienta micrométrica que utiliza un haz de iones de galio focalizado (FIB) para desgastar áreas circunscritas para profundizar en los cortes obtenidos con el micrótopo y así eliminar los artefactos originados por los cortes.

Este paso intermedio permitió medir los espacios reales presentes entre el pilar y el implante. Tras esto, las observaciones recuperaron una cantidad variable de espacio (de 0 a 3 μm), lo que confirma la naturaleza no hermética de la conexión. Cabe señalar que en aproximadamente el 65% de los casos, la brecha representó menos de 1 μm . FIB - SEM permitió verificar, de forma realista, la presencia de microgaps al eliminar artefactos de superficie²⁹.

Se tiene información de que el tamaño de los microgaps varía considerablemente de 0 μm a 135 μm . Poder valorarlos está sujeto al aumento con el que se observen. Por lo que dicho aumento es otro factor a tener en cuenta a la hora de observar los microgaps⁸. Estos aumentos son variables en función de cada equipo investigador. Se les aplica aumentos de 7x³¹, de 15x¹⁵, de 20x^{16, 27}, de 30x ²⁰ o de 150x²⁵ lo que supone una alteración en la percepción de dichos espacios pues los de menor tamaño.

El uso de las técnicas de microtomografía computarizada tiene la ventaja, frente a las técnicas de microscopio óptico de barrido, de ser no destructivo para la muestra a estudiar y además no evalúa la geometría en 2 dimensiones, sino que va más allá y lo hace en 3 dimensiones. Sin embargo, la resolución de la microtomografía computarizada puede no ser suficiente para evaluar los microgaps de la interfaz pilar – implante.

Para solucionar esta situación se recurre ampliamente al uso de tintes radiopacos cuando se trabaja con microtomografía computarizada con el objetivo de analizar superficies y sus defectos.

Como tipo de tintes radiopacos existen diversas opciones pero en estas investigaciones se recurren a dos tipos¹⁰:

- Las superficies de las muestras se pueden recubrir con oro de 24 quilates, 19,32g/m³ que se aplica mediante un metalizador (Q15RS; Quorum Technologies, Sussex, Reino Unido) en vacío bajo 1atm de argón ⁶ para evitar la distorsión del haz de electrones.
- El nitrato de plata (AgNO₃, 50%) se utiliza como agente de contraste para estudiar las microfugas en el implante ya que muestra una intensidad más alta que el titanio puro y que el titanio en aleación visto en imágenes de micro-TC. En el mismo estudio también se evaluaron muestras de control positivo y negativo para comprobar la efectividad de este material como contraste¹⁰.

A la radiografía de contraste de fase o PCR (*phase-contrast radiography*) de otro artículo seleccionado no se le aplica ninguna sustancia externa adicional, sino que al propio microscopio se somete a una variación. Se emplea un efecto de contraste para continuar viendo con claridad las estructuras y así se minimiza la radiación emitida a la que se expone el objeto de estudio. La única condición para utilizar esta técnica es que el objeto debe satisfacer es que existan diferencias en el índice de refracción en sus diferentes partes¹¹.

La presencia y tamaño de los microgaps guarda una relación positiva significativa entre la microrrugosidad de la superficie de las estructuras y el ancho del microgap, es decir, cuanto mayor son las microrrugosidades mayor es el número y la extensión de los

microgaps porque interfieren en el contacto de ambas superficies. La forma de obtención de los pilares participa en la aparición de los microgaps: en pilares fresados se ha visto que la superficie de microgaps era de 0,73mm, siendo más pequeña que en los pilares sinterizados (11,3mm) y que los colados (9,09mm)¹⁴.

La observación de las muestras con la radiografía de sincrotrón permite obtener información a nivel micrométrico y submicrométrico capturando píxeles de $\approx 4 \mu\text{m}$ y una exposición de 200 ms. Además, los análisis realizados con esta herramienta presentan una alta resolución espacial con un gran contraste de los materiales observados en comparación con las radiografías de laboratorio.

En este contexto, La radiografía con sincrotrón ha demostrado ser una herramienta confiable pues permite sondear el interior de la conexión pilar - implante con alta resolución espacial y es muy útil para detectar microgaps y analizarlos en conexiones cónicas tan pequeñas como $0,1 \mu\text{m}$.^{28, 31}.

2. MÉTODOS DE MEDICIÓN

Con el objetivo de cuantificar el área de la conexión pilar- implante que ocupan los microgaps. Las mediciones de los microgaps observados con el microscopio óptico de barrido pueden realizarse con el mismo microscopio ^{3, 23, 30} pero el software de SEM solo mide el desajuste en micrones (m)⁶ por lo que en un alto número de estudios se observan con el microscopio óptico de barrido, se capturan las imágenes útiles para el estudio y posteriormente se recurre a distintos procedimientos y softwares para realizar la medición:

- Semaphore digitizer: software para convertir la visualización del microscopio de barrido óptico en imagen virtual, para explorar la conexión y para hacer mediciones.
- Wyko Vision 32; Veeco Instruments ¹⁹: software específico para el análisis de imágenes.
- Measuring Equipment; Gaertner Scientific ²⁵: instrumentos de medición óptica de precisión.

- Quadra-Chek 200 ²⁷: es un instrumento que proporciona una lectura digital avanzada. Se emplea para medir características en 2 dimensiones y se puede utilizar con herramientas de inspección como comparadores ópticos, microscopios ópticos de detección, medición, sistemas de video y máquinas de medición por coordenadas.
- SEM y software estadístico SPSS versión 21 ³
- Software *INCA Suite 4.04* para digitalizarlas. Se editaron con Microsoft® Paint 2013 para aumentar el número de mediciones por muestra⁶
- Medición de datos con SEM y rejilla de medición de 1µm en el microscopio. Se analizaron con SPSS²⁴

Todos los softwares a los que han recurrido en los estudios son específicos para la medición de micrografías obtenidas mediante microscopio óptico de barrido por lo que su aplicación para evaluar los microgaps en 2 dimensiones es, no solo válida, sino que superan a las funciones del software de SEM.

Por otro lado, los softwares empleados conjuntamente con la microtomografía son dependientes del escáner que se ha utilizado para la visualización en 3 dimensiones de la muestra ya que se ha utilizado el propio de la infraestructura:

- software de reconstrucción (Ctan, v. 1.16) ²⁰: software de reconstrucción dedicado capaz de reproducir el modelo 3D exacto de cada implante examinado.
- software XVR-CT (Viscom) y utilizando un algoritmo de haz cónico, se reconstruyeron las imágenes²³
- software Geomagic: ha sido definido como una forma aceptable de medición y evaluación de la brecha marginal y el ajuste interno según la validación estadística más actual²⁴.
- VGStudio MAX 2.2.¹⁰: análisis relacionados con materiales y geometría. Ofrece herramientas de software para el procesamiento directo conjuntos de datos CT.
- software Inspect-X para la reconstrucción 3D de las imágenes²⁶

- Una punta de pirámide de Berkovich es un tipo de punta nanoindentadora que se usa para probar la dureza de indentación de un material²⁸.
- con software Cellp (Olympus) ampliadas 6x²⁴: adquisición de imágenes en cinco dimensiones, junto y herramientas de análisis que extraen datos de forma dinámica para obtener resultados de experimentos precisos.

Igualmente, la radiografía de Sincrotrón es un método de microtomografía utilizando la radiación formada por el acelerador de partículas. El software que se emplea es específico (al igual que la microtomografía convencional) de procesamiento de cada maquinaria para el estudio y análisis de las imágenes:

- software BESSY-II: es el software propio del sincrotrón que se emplea para el estudio²⁸.
- Software ImageJ (ImageJ, 1.51j8)³¹: paquete de procesamiento de imágenes para el análisis científico de imágenes.

Tanto en la preparación de las muestras en 2 dimensiones (confección de microtomos de la estructura pilar-implante) como en el escaneo de las mismas utilizando el microscopio óptico de barrido y en su conversión al software seleccionado se puede perder información relevante para la evaluación de los microgaps. Por lo que los datos recopilados mediante este procedimiento podrían no corresponder con lo que realmente se quiere conocer de la superficie de la conexión.

Por otro lado, la microtomografía computarizada y la radiografía de sincrotrón sí que aportan una información más explícita en 3 dimensiones y sus softwares permiten reconstrucciones y análisis más concisos lo que facilita el trabajo general de los estudios. Aunque para la utilización de tanto la microtomografía computarizada como de la radiografía de sincrotrón se necesita una infraestructura que es más costosa y compleja de manejar (curva de aprendizaje), y principalmente el acelerador de partículas.

se quiere destacar que la anatomía de las conexiones ha sido el centro de la mayoría de los estudios analizados: los implantes de hexágono externo fallan por completo en la prevención de la microfiliación en condiciones de carga tanto estáticas como

dinámicas de los implantes. Los implantes de hexágono interno y, principalmente, los implantes cónicos internos (cono Morse), son muy prometedores en caso de carga estática y también muestran una menor cantidad de microfiltraciones en condiciones de carga dinámica⁸.

Un alto número de artículos leídos para este trabajo comparaban distintos tipos de conexiones para lo que empleaban los métodos de visualización y de medición en los que nos hemos centrado. Todos los artículos concluyen con las ventajas que aporta la conexión de cono morse frente al resto de conexiones existentes para unir el pilar al implante. El cono morse proviene de una conexión con forma cónica cuyo origen está en la ingeniería mecánica y significa: un cono dentro de otro cono².

En las conexiones con esta anatomía, el ajuste es más preciso favoreciendo que la cantidad de microgaps formados es menor, hay menor microfiltración al espacio de la conexión y el comportamiento mecánico de esta unión (aplicando cargas tanto estáticas como dinámicas) es también más favorable^{2, 23, 25, 30}. Sumando todas estas ventajas que aporta la estructura de cono morse, es destacable que los implantes de cono morse tengan una vida útil mayor que el resto según nos informan los documentos³⁰.

El hecho de que la estructura implanto-protésica esté compuesta por dos estructuras unidas por una conexión ya lleva implícito la existencia de microgaps porque en cualquier conexión pilar – implante van a hallarse estos espacios. Los microgaps son inevitables pues incluso en conexiones de cono morse, ambas estructuras de titanio u obtenido el pilar mediante fresado (método en el que se han hallado menores defectos) se han encontrado microgaps por lo que si participan dos partes en la conexión los problemas mecánicos y la microfiltración bacteriana ocurrirá. Para que desaparezcan los microgaps, la única opción que existe es que el pilar y el implante sean un solo elemento, sin conexión.

Serían necesarios estudios experimentales cuyo objetivo fuese llevar a cabo una comparación de las técnicas de medición y así evaluar la precisión y la exactitud de cada técnica además de aportar una seguridad a la hora de emplear cada método distinto conociendo el margen de error que nos ofrece cada una de dichas técnicas. Establecer un protocolo para la observación y evaluación de las conexiones entre los

implantes y sus pilares sería un seguro para confiar en los datos recopilados y poder realizar comparaciones entre estudios. Del mismo modo, para la medición de microgaps elaborar otro protocolo sería idóneo.

VI. CONCLUSIÓN

En todos los tipos de conexión pilar-implante existen microgaps. La reducción de microgaps es directamente proporcional a la supervivencia de los implantes. Parece que en las conexiones de cono morse la cantidad de microgaps es menor y por tanto la supervivencia es mayor.

La unión La conexión ideal debería funcionar como un implante de una pieza única para así evitar la formación de microgap en la interfaz implante-pilar.

Los datos obtenidos con el microscopio óptico de barrido no son los más precisos que hoy en día podemos conocer sobre los microgaps de la interfaz pilar-implante. Si se emplea la micortomografía computarizada estos datos se aproximan más a la realidad y este conocimiento avanza un paso más con la radiografía basada en sincrotrón por ser una herramienta de mayor precisión.

Para concretar con precisión las diferencias entre estas técnicas sería recomendable realizar en el futuro estudios comparativos entre dichas técnicas y así cuantificar la variación de información obtenida con cada una.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Lauritano D, Moreo G, Carinci F, Lucchese A, Di Stasio D, della Vella F, Petruzz M. Preventing Bacterial Leakage in Implant-Abutment Connection: A Review. *Journal of Biological Regulators and Homeostatic Agents*. 2019; 33(3 Suppl. 1):129-134
2. Yang L, Jiawei W. Influences of microgap and micromotion of implant–abutment interface on marginal bone loss around implant neck. *Oral Biology*. 2017; 83: 153–160
3. Triveni VV, Jagadeesh KN, Parihar AS, Alduwayhi S, Annapoorneshwari S, Khalid FM, Babaji P. Evaluation of Microleakage and Microgap of Two Different Internal Implant-Abutment Connections: An In Vitro Study. *J Contemp Dent Pract*. 2020; 21 (6): 683-685.
4. Carinci F, Lauritano D, Cura F, Lopez MA, Andreasi Bassi M, Confalone L, Pezzetti F. Prevention of bacterial leakage at implant-abutment connection level: an in vitro study of the efficacy of three different implant systems. *J Biol Regul Homeost Agents*. 2016; 30 (2 Suppl 1): 69-73.
5. Gil FJ, Herrero-Climent M, Lázaro P, Rios JV. Implant-abutment connections: influence of the design on the microgap and their fatigue and fracture behavior of dental implants. *J Mater Sci Mater Med*. 2014; 25(7):1825-30.
6. Gonzalo E, Vizoso B, Lopez-Suarez C, Diaz P, Pelaez J, Suarez MJ. Evaluation of Milled Titanium versus Laser Sintered Co-Cr Abutments on the Marginal Misfit in Internal Implant-Abutment Connection. *Materials (Basel)*. 2020; 13 (21): 4873.
7. Sasada Y, Cochran DL. Implant-Abutment Connections: A Review of Biologic Consequences and Peri-implantitis Implications. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2017; 32 (6): 1296-1307.
8. Mishra SK, Chowdhary R, Kumari S. Microleakage at the Different Implant Abutment Interface: A Systematic Review. *J Clin Diagn Res*. 2017; 11 (6): ZE10-ZE15.
9. He Y, Fok A, Aparicio C, Teng W. Contact analysis of gap formation at dental implant-abutment interface under oblique loading: A numerical-experimental study. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2019; 21 (4): 741-752.
10. Katsoulis J, Takeichi T, Sol Gaviria A, Peter L, Katsoulis K. Misfit of implant prostheses and its impact on clinical outcomes. Definition, assessment and a systematic review of the literature. *Eur J Oral Implantol*. 2017; 10 (1): 121-138.
11. Modarres, MH, Aversa R, Cozzini S. et al. Neural Network for Nanoscience Scanning Electron Microscope Image Recognition. *Sci Rep*. 2017; 7 (1): 13282.
12. Du Plessis A, Broeckhoven C. Looking deep into nature: A review of micro-computed tomography in biomimicry. *Acta Biomater*. 2019; 85: 27-40.

13. Thiede T, Mishurova T, Evsevlev S, Serrano-Muñoz I, Gollwitzer G, Bruno G. 3D Shape Analysis of Powder for Laser Beam Melting by Synchrotron X-ray CT. *Quantum Beam Science*. 2019; 3 (1): 3
14. Fernández M, Delgado L, Molmeneu M, García D, Rodríguez D. Analysis of the misfit of dental implant-supported prostheses made with three manufacturing processes. *J Prosthet Dent*. 2014; 111 (2): 116-23.
15. Cavusoglu Y, Akça K, Gürbüz R, Cehreli MC. A pilot study of joint stability at the zirconium or titanium abutment/titanium implant interface. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2014; 29: 338-43.
16. Verdugo CL, Núñez GJ, Avila AA, San Martín CL. Microleakage of the prosthetic abutment/implant interface with internal and external connection: in vitro study. *Clin Oral Implants Res*. 2014; 25: 1078-83.
17. D'Ercole S, Tripodi D, Marzo G, Bernardi S, Continenza MA, Piattelli A, et al. Microleakage of bacteria in different implant-abutment assemblies: An in vitro study. *J Appl Biomater Funct Mater*. 2015; 13: e174-80.
18. Ranieri R, Ferreira A, Souza E, Arcoverde J, Dametto F, Gade-Neto C, et al. The bacterial sealing capacity of Morse Taper implant–abutment systems in vitro. *J Periodontol*. 2015; 86: 696-702.
19. Scarano A, Valbonetti L, Degidi M, Pecci R, Piattelli A, de Oliveira PS, Perrotti V. Implant-Abutment Contact Surfaces and Microgap Measurements of Different Implant Connections Under 3-Dimensional X-Ray Microtomography. *Implant Dent*. 2016;25 (5): 656-62.
20. Jörn D, Kohorst P, Besdo S, Borchers L, Stiesch M. Three-Dimensional Nonlinear Finite Element Analysis and Microcomputed Tomography Evaluation of Microgap Formation in a Dental Implant Under Oblique Loading. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2016; 31 (3): e32-42.
21. Alves DCC, de Carvalho PSP, Elias CN, Vedovatto E, Martinez EF. In vitro analysis of the microbiological sealing of tapered implants after mechanical cycling. *Clin Oral Invest*. 2016; 20: 2437-45.
22. Guerra E, Pereira C, Faria R, Jorge AO, Bottino MA, de Melo RM. The impact of conical and nonconical abutments on bacterial infiltration at the implant-abutment interface. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2016; 36: 825.
23. Zeller SK. Marginal Gap and Internal Fit of a Zirconia Crown and Implant Abutment using Three Different Digital Workflows. Master's thesis, Texas A & M University. 2017.
24. Kano SC, Binon PP, Curtis DA. A classification system to measure the implant-abutment microgap. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2017; 22 (6): 879-85.

25. Black DL, Turkyilmaz I, Lien W, Chong CH. Evaluation of the Sealing Capability of the Internal Conical Connections of Implants with Titanium and Zirconia Abutments. *J Contemp Dent Pract.* 2017;18 (10): 915-922.
26. Larrucea C, Conrado A, Olivares D, Padilla C, Barrera A, Lobos O. Bacterial microleakage at the abutment-implant interface, in vitro study. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2018; 20 (3): 360-367.
27. Wiest W, Rack A, Zabler S, Schaer A, Swain M, Nelson K. Validation of finite-element simulations with synchrotron radiography - A descriptive study of micromechanics in two-piece dental implants. *Heliyon.* 2018; 4 (2): e00524.
28. Lopes PA, Carreiro AFP, Nascimento RM, Vahey BR, Henriques B, Souza JCM. Physicochemical and microscopic characterization of implant-abutment joints. *Eur J Dent.* 2018; 12 (1): 100-104
29. Carnovale F, Patini R, Peñarrocha-Oltra D, Muzzi M, Pistilli R, Canullo L. Measurement of gap between abutment and fixture in dental conical connection implants. A focused ion beam SEM observation. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 2020;25 (4): e449-e454.
30. Vinhas AS, Aroso C, Salazar F, López-Jarana P, Ríos-Santos JV, Herrero-Climent M. Review of the Mechanical Behavior of Different Implant-Abutment Connections. *Int J Environ Res Public Health.* 2020; 17 (22): 8685.
31. gegni A, Zabler S, Nelson K, Rack A, Spies BC, Vach K, Kohal R. Synchrotron-based micro computed tomography investigation of the implant-abutment fatigue-induced microgap changes. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2021; 116: 104330