UNIVERSITAT DE BARCELONA

Implantoplastia en implantes dentales: Rugosidad, formación de biofilm, biocompatibilidad y daño de la conexión de la prótesis

Genís Burgueño Barris

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (**www.tdx.cat**) i a través del Dipòsit Digital de la UB (**diposit.ub.edu**) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX ni al Dipòsit Digital de la UB. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX o al Dipòsit Digital de la UB (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (**www.tdx.cat**) y a través del Repositorio Digital de la UB (**diposit.ub.edu**) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR o al Repositorio Digital de la UB. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR o al Repositorio Digital de la UB (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (**www.tdx.cat**) service and by the UB Digital Repository (**diposit.ub.edu**) has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized nor its spreading and availability from a site foreign to the TDX service or to the UB Digital Repository. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service or to the UB Digital Repository is not authorized (framing). Those rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.

IMPLANTOPLASTIA EN IMPLANTES DENTALES: RUGOSIDAD, FORMACIÓN DE BIOFILM, BIOCOMPATIBILIDAD Y DAÑO DE LA CONEXIÓN DE LA PRÓTESIS.

Memoria de tesis doctoral presentada por

Genís Burgueño Barris

para optar al grado de doctor por la Universitat de Barcelona

Dirigida por:

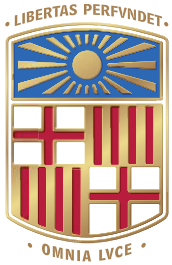
Prof. Dr. Eduard Valmaseda Castellón

Catedrático del Departament d'Odontoestomatologia.

Prof. Dr. Rui Barbosa de Figueiredo

Profesor Agregado del Departament d'Odontoestomatologia.

Programa de Doctorat de Medicina i Investigació Translacional.
Facultat de Medicina i Ciències de la Salut.
Departament d'Odontoestomatologia.



UNIVERSITAT DE BARCELONA

Junio de 2024

“La felicidad no está en la ciencia sino en la adquisición de la ciencia”.

Edgar Allan Poe (1809-1849)

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis doctoral no se podría haber hecho sin la ayuda de una serie de personas; y quiero dejar constancia de que sin su colaboración y apoyo no hubiera podido ni desarrollar ni concluir satisfactoriamente este trabajo.

En primer lugar, quiero agradecer a mis directores de tesis, los Prof. Dr. Eduard Valmaseda y al Prof. Dr. Rui Figueiredo la ayuda que me han prestado en todo momento. Han sido para mí no sólo una guía sino también un ejemplo a seguir. Estoy seguro de que todo ello me ayudará a ser un mejor profesional.

Quiero dar las gracias también a todo el equipo del Máster de Cirugía Bucal e Implantología Bucofacial de la Universitat de Barcelona, y muy en especial al Dr. Octavi Camps, amigo y compañero, que es para mí un referente dentro de la profesión.

Gracias también a Albert Lecina y a Ignacio Zuñiga por su colaboración en el trabajo durante la realización del trabajo de fin de grado.

Quiero agradecer también a las empresas colaboradoras Avinent Implant System SLU y BoneModels SLU por facilitarme el material necesario para llevar a cabo uno de los estudios que incluye esta tesis doctoral.

Quiero agradecer también la ayuda recibida por los departamentos de microscopía electrónica de barrido y análisis de superficies de Centres Científics i Tecnològics de la Universitat de Barcelona. En especial, al Dr. Jordi Díaz, gracias por su ayuda prestada durante la investigación.

A mi grupo más cercano de amigos que me acompañan des de hace muchos años y que en cada encuentro me han preguntado si ya había terminado la tesis. A Beto, Miguel Ángel, Aleix y Pedro os agradezco siempre todos los momentos que pasamos juntos.

A mis padres, Mercè y Pepe por todo el amor que me habéis dado des de pequeño, porque me educasteis con los valores del esfuerzo y siempre me habéis apoyado, os quiero mucho. A mi hermano, Bernat, que siempre has estado a mi lado cuando más te necesitaba. A la familia Valiente López por estar siempre ahí. A la familia Casablanca Zambrano, por ser mi segunda familia.

Finalmente, quiero agradecer en especial a mi mujer Maria, mi compañera de vida y colega de profesión. Sin tu cariño ni tu apoyo emocional y profesional este trabajo no hubiese sido posible. Espero tenerte siempre a mi lado, me cambiaste la vida y desde entonces me has hecho feliz.

FINANCIACIÓN

Las empresas Avinent Implant System® S.L. Santpedor, España y Bonemodels® S.L.U. Castellón, España colaboraron cediendo material propio para la realización de uno de los estudios incluidos en la tesis doctoral. En concreto, Avinent Implant System® S.L. cedió los implantes dentales y realizó una férula quirúrgica y Bonemodels® S.L.U. confeccionó los modelos para el estudio.

Los estudios microscópicos (microscopia confocal y microscopía electrónica de barrido) realizados en los Centres Científics i Tecnològics de la Universitat de Barcelona fueron sufragados por la Cátedra UB-AVINENT.

ÍNDICE

1. ENUMERACIÓN DE ARTÍCULOS QUE COMPONEN LA TESIS 15

2. RESUMEN DE LA TESIS 17

3. INTRODUCCIÓN 20

3.1 CONTEXTO HISTÓRICO DE LA IMPLANTOLOGÍA CONTEMPORÁNEA 21

3.2 PRINCIPIOS BIOLÓGICOS EN IMPLANTOLOGÍA DENTAL 22

3.3 EL IMPLANTE DENTAL: MORFOLOGÍA, SUPERFICIE Y CONEXIÓN 26

3.4 ÉXITO Y COMPLICACIONES DE LOS IMPLANTES DENTALES 32

3.5 PATOLOGÍA PERIIMPLANTARIA 33

3.5.1 Etiología 35

3.5.2 Criterios diagnósticos 35

3.5.3 Epidemiología 40

3.5.4 Prevención 41

3.5.5 Tratamiento 47

3.6 IMPLANTOPLASTIA 59

3.7 JUSTIFICACIÓN 64

3.8 REVISIÓN SISTEMÁTICA 66

3.8.1 Material y método 67

3.8.2 Resultados 69

4. HIPÓTESIS 88

5. OBJETIVOS 90

6. MATERIAL Y MÉTODO 92

7. RESULTADOS 107

7.1 RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ESTUDIO PRESENTADO EN LA TESIS DOCTORAL 108

7.2 RESULTADOS OBTENIDOS QUE NO SE ENCUENTRAN DENTRO DEL ESTUDIO PUBLICADO 119

8. DISCUSIÓN 125

8.1 PERIIMPLANTITIS: PERSPECTIVAS DE TRATAMIENTO SEGÚN EVIDENCIA ACTUAL 126

8.2 IMPLANTOPLASTIA: EVIDENCIA ACTUAL SOBRE ESTUDIOS DE LABORATORIO Y EN MODELO ANIMAL 128

8.2.1 Rugosidad 128

8.2.2 Deformidad de la superficie del implante 132

8.2.3 Biocompatibilidad de la superficie 133

8.2.4 Biofilm 136

8.2.5 Análisis de fractura y fatiga 138

8.2.6 Desprendimiento de partículas 140

8.3 IMPLANTOPLASTIA: EVIDENCIA ACTUAL PROCEDENTE DE ESTUDIOS CLÍNICOS 142

8.3.1 Resultados de la implantoplastia en el enfoque quirúrgico resectivo 143

8.3.2 Resultados de la implantoplastia en el enfoque quirúrgico combinado 145

8.4 LIMITACIONES DEL ESTUDIO REALIZADO 148

8.5 INVESTIGACIONES FUTURAS 149

9. CONCLUSIONES 152

10. BIBLIOGRAFÍA 154

11. ANEXOS 185

GLOSARIO

<	Menor que
>	Mayor que
=	Igual a
≥	Mayor o igual que
≤	Menor o igual que
±	Más menos
%	Porcentaje
º	Grados
Al	Aluminio
ANOVA	Análisis de la varianza
BIC	Contacto hueso-implante *(bone to implant contact)*
BMP-2	Proteína morfogénica ósea
C	Carbono
Cl	Cloro
cols.	Colaboradores
cm	Centímetro
DE	Desviación estándar
DM	Diferencia de medias
Dr	Doctor
ePTFE	Politetrafluoroetileno expandido
Etc.	Etcétera
FGF	Factor de crecimiento de fibroblastos

G.B.B.	Genís Burgueño Barris
HE	Hexágono externo
HGF	Fibroblastos gingivales humanos
Hz	Hercios
IC95%	Intervalo de confianza del 95%
ICC	Coeficiente correlación intraclase
ISQ	Coeficiente de estabilidad implantaría
IL-1α	Interleucina-1 alfa
IL-1ß	Interleucina-1 beta
IL-4	Interleucina-4
IL-6	Interleucina-6
IL-10	Interleucina-10
IP-10	Interferón gamma proteína inducible 10
JCR	Journal Citation Report
K	Potasio
MCP1	Proteína quimiotáctica de monocitos 1
MCP3	Proteína quimiotáctica de monocitos 3
mJ	Milijulio
mm	Milímetro
N	Newton
N	Nitrógeno
NA	No aplicable
Na	Sodio
N·cm	Newton por centímetro

nm	Nanómetro
O	Oxígeno
O.C.F.	Octavi Camps Font
OR	Odds ratio
P	P valor
PDGF	Factor de crecimiento derivado de plaquetas
PRISMA	Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses
Prof	Profesor
PROMS	Mecanismos de medición de experiencia reportada por el paciente
Q1	Cuartil 1
Q2	Cuartil 2
Ra	Rugosidad media aritmética
RANKL	Ligando de receptor activador para el factor nuclear κ B
RIC	Rango intercuartílico
rpm	Revoluciones por minuto
Rz	Profundidad de la rugosidad
S.Aureus	*Staphylococcus aureus*
Sa	Altura media aritmética
SEM	Microscopía electronica de barrido
S. Gordonii	*Streptococcus gordonii*
Si	Silicio
S. Mutans	*Streptococcus mutans*
Sz	Altura máxima
TCHC	Tomografía computarizada de haz cónico

TGF- ß	Factor de crecimiento transformante beta
Ti	Titanio
TNF-α	Factor de necrosis tumoral alfa
VEGF	Factor de crecimiento del endotelio vascular
vs	Versus
W	Watt
μm	Micrómetro
χ^2	Prueba chi cuadrado de Pearson

1. ENUMERACIÓN DE ARTÍCULOS QUE COMPONEN LA TESIS

TESIS EN FORMATO CLÁSICO CON 1 ARTÍCULO ANEXADO

La tesis consta de 3 objetivos y 1 artículo.

ARTÍCULO:

Burgueño-Barris G, Camps-Font O, Figueiredo R, Valmaseda-Castellón E. Factors affecting implant surface roughness and platform alterations after implantoplasty. An in vitro study simulating different clinical scenarios. Int J Oral Maxillofac Implants. 2023;38:739-46.

International Journal of Oral and Maxillofacial Implants:

- Factor de impacto 2022: 2.804
- Posición de la revista según Scimago Journal Rank (SJR) categoría “Oral Surgery” del año 2022: Q1
- Posición de la revista según Journal Ciration Indicator (JCI) de la Journal Citation Reports (JCR) en la categoría “Dentistry, oral surgery & medicine” del año 2022: Q2
- Objetivo principal: Determinar qué factores clínicos pueden afectar a los resultados de la implantoplastia respecto a la rugosidad de la superficie, a la presencia de espiras residuales y a las alteraciones de la plataforma protética.

2. RESUMEN DE LA TESIS

Título: Implantoplastia en implantes dentales: rugosidad, formación de biofilm, biocompatibilidad y daño de la conexión de la prótesis.

Introducción: Los implantes dentales son un tratamiento destinado a la rehabilitación de ausencias dentales que han demostrado un gran éxito a largo plazo. No obstante, no están exentos de complicaciones estéticas, mecánicas y/o biológicas.

En lo que se refiere a las complicaciones biológicas, las patologías periimplantarias (mucositis periimplantaria y periimplantitis) tienen una alta prevalencia. La terapia quirúrgica de la periimplantitis puede incluir la implantoplastia en el abordaje resectivo y combinado. La implantoplastia se define como el pulido y alisado de la superficie del implante con el objetivo de eliminar el biofilm y disminuir el recrecimiento de este.

Hipótesis: La implantoplastia es un procedimiento seguro que no daña la plataforma protética y que obtiene superficies más pulidas y uniformes que la original, pero más rugosa que una superficie mecanizada.

Objetivos: Determinar qué factores clínicos pueden afectar a los resultados de la implantoplastia, en concreto a la rugosidad de la superficie, a la presencia de espiras residuales y a las alteraciones de la plataforma protética.

Métodos: Se realizó un estudio *in vitro* empleando modelos anatómicos con encía simulada. Se colocaron 60 implantes en 20 modelos de resina con dentición parcial (10 superiores y 10 inferiores) en los que se habían simulado defectos periimplantarios de 5 mm alrededor de los implantes. Los modelos se situaron en un simulador de cabeza y se emplearon una fresa de carburo de tungsteno y dos de silicona montadas en una turbina para realizar la implantoplastia. Se dividieron los implantes en 4 grupos: situación favorable (incisivos superiores sin dientes proximales); situación desfavorable (molares inferiores con la

presencia de dientes proximales); premolares con corona protética; y premolares sin la presencia de la corona protética.

Se analizó, mediante microscopía electrónica de barrido (SEM), la presencia de espiras residuales, la presencia de desajustes en la interfase entre la plataforma del implante y el aditamento protético y la presencia de restos de silicona. A su vez, se estudió la rugosidad de la superficie (medidas Sa y Sz) mediante microscopía confocal.

Resultados principales: La implantoplastia produjo superficies menos rugosas que las originales, pero más rugosas que una superficie mecanizada. La rugosidad fue mayor en los implantes con peor acceso. Los desajustes fueron infrecuentes, aunque siempre se produjo una alteración de la plataforma del implante. La presencia de espiras y restos de silicona fue más frecuente en los implantes posteriores con dientes vecinos. La presencia de la corona protética produjo que hubiera más espiras residuales (OR = 7.0) que cuando pudo retirarse para hacer la implantoplastia.

Conclusiones: La implantoplastia reduce la rugosidad de superficie, pero sin llegar a producir una superficie pulida. La dificultad de acceso y no retirar la corona protética se asocian a un pulido menos homogéneo y a un mayor riesgo de daño de la conexión protética.

3. INTRODUCCIÓN

3.1 CONTEXTO HISTÓRICO DE LA IMPLANTOLOGÍA CONTEMPORÁNEA

La sustitución de los dientes perdidos por un traumatismo, una caries no restaurable o una enfermedad periodontal avanzada, es uno de los tratamientos más frecuentes en las clínicas dentales.

Se ha constatado que en las civilizaciones antiguas ya se realizaban prótesis dentales arcaicas para el remplazo de los dientes naturales.(1,2) Con el paso del tiempo, la realización de prótesis dentales, ya sean fijas sobre otros dientes o apoyadas únicamente sobre las mucosas (mucosuportadas) ha alcanzado un nivel excelente.

La implantología dental apareció a mitades del siglo XX, específicamente en la década de los 60 tras los estudios del profesor Per-Ingvar Brånemark. Estos estudios revolucionaron el mundo de la Odontología al añadir la posibilidad de realizar una prótesis dental soportada por uno o varios anclajes de titanio. De esta manera se ha podido mejorar la calidad de vida de muchos pacientes, tanto a nivel funcional como a nivel estético.(2)

El Dr. Brånemark, mientras estudiaba la cicatrización ósea en un modelo animal, observó, de forma aparentemente casual, que unos cilindros de titanio que utilizaba se integraron en el hueso.(3) A partir de ese momento, focalizó este descubrimiento hacia otras áreas, en especial, la Odontología. Fue durante ese período cuando se establecieron los pilares básicos de la implantología moderna. Entre ellos destaca el estudio de la integración del titanio en el hueso, al que el Dr. Brånemark denominó oseointegración.(3) El Dr. Brånemark definió la oseointegración como la “conexión directa estructural y funcional entre el hueso vivo y la superficie de un implante sometido a carga funcional”.(4)

La colocación del primer implante dental en un ser humano voluntario fue en el año 1965. Se trataba de un paciente sin dientes inferiores al que se le colocaron implantes dentales para

realizar una prótesis implanto-soportada fija.(2) En la fecha de su muerte seguía llevando esos implantes dentales, que permanecieron integrados durante 40 años.(2)

La investigación y la comercialización de múltiples marcas y sistemas de implantes ha permitido que estos dispositivos se puedan emplear en múltiples indicaciones. Debido a esta versatilidad, el número de pacientes con implantes dentales ha crecido notablemente durante las últimas décadas.

3.2 PRINCIPIOS BIOLÓGICOS EN IMPLANTOLOGÍA DENTAL

La investigación desde ese momento ha ayudado a entender mejor los procesos biológicos que ocurren tras la extracción de un diente, la colocación de un implante, la oseointegración, la carga protética, etc.

Los estudios de Araujo y colaboradores en un modelo animal han permitido conocer como se desarrolla la cicatrización ósea de los alveolos tras la extracción de un diente.(5–7) Tras una fase inicial en la que se forma el coágulo, se produce la migración de células inflamatorias a las 48/72 horas. Este proceso permite limpiar el alveolo y formar un tejido de granulación que, posteriormente, será sustituido por tejido conectivo rico en colágeno. La segunda fase, denominada proliferativa, empieza con la creación de una matriz en la que se forman nuevos vasos sanguíneos y las primeras células formadoras de hueso. La tercera y última fase se caracteriza por la formación ósea y su fase de remodelación. En primer lugar, se sustituye el hueso reticulado por hueso maduro (lamelar y con médula ósea). Este hueso maduro entra en la fase de remodelado, en la que debe haber un equilibrio entre la formación y remodelación. Para la formación de hueso maduro tras la extracción dental se requieren varios meses, dependiendo de cada individuo y del diente extraído.(7)

Durante la cicatrización descrita se produce un cambio en las dimensiones óseas originales. Esta remodelación ósea se produce durante los primeros 3-6 meses y causa una reducción de la anchura que oscila entre el 29% y el 63% y una disminución de la altura entre 11% y el 22%.(8) Estos cambios están en gran medida relacionados con la reabsorción del denominado *"bundle bone",* que es el hueso que se localiza en el lado vestibular de los dientes y que está mantenido exclusivamente por la irrigación sanguínea procedente del ligamento periodontal.(8) Al extraer el diente y, en consecuencia, el ligamento periodontal, dicho hueso pierde la vascularización y se reabsorbe.(5–7)

Tras la colocación de un implante se producen una serie de procesos biológicos que se pueden dividir en 4 fases.(9) La primera fase es la de hemostasia, en que se produce la exudación de fibrinógeno para crear la primera matriz extracelular. Seguidamente, se produce la llegada de células del sistema inmunitario, factores de crecimiento y fibroblastos. La tercera fase empieza a los días/semanas con la formación de una nueva matriz extracelular, la angiogénesis, la formación de la matriz ósea primaria y finalmente la mineralización. La última fase, denominada de remodelado, dura durante los años de función del implante y depende del equilibrio entre los osteoblastos y osteoclastos. (9)

Además, durante este proceso de cicatrización se produce la adaptación del ancho biológico. Se denomina ancho biológico a la reabsorción del hueso que se encuentra alrededor del implante y que está peor vascularizado.(10,11) Esta reabsorción se había observado ya tras la colocación de los primeros implantes, e incluso está integrada dentro de los criterios de éxito de Albrektsson y colaboradores (12) si no sobrepasa unos límites. A priori, en situación de salud, la reabsorción se estabiliza y no debería progresar.(10–12)

Se han estudiado multitud de formas para evitar esta reabsorción inicial y mantener el hueso al mismo nivel que el de inserción. Todas ellas persiguen que la creación del ancho biológico (alrededor de 3.5 mm) se produzca sin perturbar el hueso alrededor del implante. El denominado cambio de plataforma o "platform switching" ha reducido la reabsorción ósea en la cicatrización temprana de los implantes.(13) Consiste en la reducción de la dimensión entre la plataforma del implante y la conexión con los aditamentos protéticos. Por otro lado, estudios de Linkevicius y colaboradores (14,15) mostraron también que el grosor de la encía, a veces obviado por los clínicos, juega un papel crucial en la formación del ancho biológico. Los estudios muestran que a partir de un grosor vertical de 4 mm de encía no se producía la pérdida ósea inicial, que sí sucedía con un espesor menor.

Igualmente, para una correcta cicatrización, siempre es necesario un grosor óseo suficiente alrededor del implante para evitar una reabsorción asociada a la falta de irrigación. El estudio de Spray y colaboradores (16) estableció un espesor mínimo de hueso periimplantario de 1.8 mm. En numerosas ocasiones, esta cifra es difícil de alcanzar, por lo que pueden estar indicados procedimientos de regeneración ósea. Estas técnicas pueden emplear distintos materiales de injertos óseos:(17,18)

- Hueso autólogo: Hueso del propio paciente, de procedencia intraoral (zona mandibular o maxilar) o extraoral (por ejemplo, calota craneal o cresta ilíaca). Tiene propiedades osteogénicas (permiten el crecimiento óseo), osteoinductivas (inducen a las células inmaduras a convertirse en osteoblastos) y osteoconductivas (crean una estructura para facilitar la formación ósea).
- Hueso alogénico: Tejido óseo procedente de donantes. La forma desmineralizada tiene propiedades osteoinductivas y osteoconductoras.

- Xenoinjerto: Procedente de animales, ya sea de origen bovino, porcino, equino, etc. Existen diferentes presentaciones (forma granulada, con colágeno, o en forma de bloques) y tiene propiedades osteoconductoras.
- Sintéticos: Materiales como los fosfatos tricálcicos o la hidroxiapatita. Tienen propiedades osteoconductoras.

Una de las técnicas más utilizada para los injertos óseos es la regeneración ósea guiada, que consiste recubrir un biomaterial con una membrana que tiene la función de impedir la entrada de tejido blando y permitir el correcto crecimiento óseo. Las membranas pueden ser reabsorbibles (colágeno o pericardio principalmente) o no reabsorbibles, como las de politetrafluoroetileno expandido (ePTFE).

En otras ocasiones, es la falta de espesor de la mucosa queratinizada la que puede favorecer la aparición de complicaciones estéticas o biológicas.(19,20) En estos casos se pueden realizar injertos de tejido blando, normalmente de tipo autólogo procedentes del paladar o de la zona de la tuberosidad maxilar.

En el momento de la colocación del implante se obtiene una estabilidad primaria debido a la fricción del mismo con el hueso. Esta estabilidad se valora mediante el momento de fuerza de inserción, medido en N·cm, o el cociente de estabilidad del implante (medido en unidades ISQ).(21) Con la cicatrización del implante esta estabilidad primaria disminuye, debido a procesos de remodelado óseo, mientras que progresivamente aumenta a su vez la denominada estabilidad secundaria, producida por la formación de hueso en la superficie del implante. El cambio de la estabilidad primaria a secundaria es el que determina el momento de la carga protética.

La ausencia de estabilidad secundaria suele conducir a un fallo de la oseointegración, que se manifiesta clínicamente con la movilidad del implante. Afortunadamente, esta complicación es rara y la literatura ha demostrado altos porcentajes de supervivencia de los implantes a corto plazo (superiores al 90%).(22,23)

No obstante, se han identificado varios factores de riesgo asociados al fracaso del tratamiento con implantes dentales. Entre ellos, cabe destacar la sobrecarga mecánica temprana en implantes con baja estabilidad primaria, la aparición de infecciones postoperatorias, la presencia de diabetes mellitus no controlada, el consumo de tabaco, la periodontitis no controlada o la toma de ciertos medicamentos, como los antidepresivos del grupo de los inhibidores selectivos de la serotonina, entre otros.(24–28) Por esta razón, es fundamental realizar una adecuada anamnesis antes de realizar cualquier procedimiento quirúrgico.

3.3 EL IMPLANTE DENTAL: MORFOLOGÍA, SUPERFICIE Y CONEXIÓN

Durante las últimas décadas, los implantes dentales han ido evolucionando. Los primeros diseños contaban con una superficie mecanizada (pulida) en toda su extensión y con una conexión protética hexagonal externa.(4)

La macrogeometría o morfología del implante también ha sufrido cambios para adaptarse a las distintas situaciones clínicas. Se pueden diferenciar los implantes dentales según el cuello del implante (pulido o rugoso), la forma o número de las espiras, la morfología del ápice, la forma del cuerpo (cilíndrico a cónico), etc. Todos estos factores influyen en la obtención de estabilidad primaria y tienen especial importancia en situaciones demandantes como la

colocación inmediata post-extracción.(29) En la figura 1 observamos implantes de una misma marca comercial pero con diferente macrogeometría.

Figura 1: Ejemplos de implantes con diferentes macrogeometría.

Imágenes cedidas por Avinent Implant System® S.L. Santpedor, España.

El diámetro y longitud de los implantes también han sufrido cambios debido a las mejoras introducidas respecto a las propiedades mecánicas y biológicas de las aleaciones de titanio. En este sentido, la utilización de implantes cortos (<8mm) o ultra-cortos (de hasta 4mm) es algo habitual en la práctica clínica.(30) Normalmente estos implantes se unen a otros implantes de longitud estándar para confeccionar restauraciones múltiples que repartan las fuerzas de forma adecuada. Los resultados clínicos de los implantes cortos son similares a los de los implantes de longitud estándar.(30,31) Si se comparan con implantes estándar que han requerido una regeneración ósea vertical previa, los resultados también son similares, si bien los implantes cortos parecen estar asociados a una menor morbilidad.(32) Por otro lado, los implantes estrechos (diámetro inferior a 3.3 mm) tienen varias indicaciones y sólo estarían

contraindicados en zonas de alta carga protética.(33–35) Estos implantes son especialmente adecuados para sustituir incisivos inferiores o incisivos laterales superiores.

Finalmente, existen otro tipo de implantes para situaciones concretas. Los implantes cigomáticos están indicados para rehabilitar pacientes con grandes atrofias óseas en maxilar superior y se anclan en la apófisis cigomática. Tienen una longitud muy superior al implante estándar, y presentan una angulación en la plataforma para facilitar la conexión protética.

Las superficies de los implantes oseointegrados, que como se ha indicado anteriormente, eran inicialmente de titanio pulido (mecanizado), también han evolucionado con el paso del tiempo. Hasta la década de los 90, se empleaba el torneado, el fresado o el pulido de la superficie.(2,36) Con el objetivo de reducir el tiempo de oseointegración, aumentar la superficie del implante en contacto con el hueso y mejorar la interacción biológica, se diseñaron superficies rugosas.(37,38) Una revisión sistemática concluyó que las mejores superficies eran las moderadamente rugosas (Sa 1-2 µm), en comparación con las superficies mecanizadas (Sa < 0.5 µm), las levemente rugosas (Sa 0.5-1 µm) y las altamente rugosas (Sa > 2 µm).(37) El desarrollo de las superficies busca promover la proliferación de células osteogénicas para mejorar la oseointegración, a la vez que minimizar la adhesión bacteriana.(2,36,37) La figura 2 muestra un ejemplo de superficie moderadamente rugosa de un implante dental. Otra conclusión importante extraída de dicha revisión sistemática es que las rugosidades y cambios a escala nanomolecular (1 a 100 nm) podrían tener un efecto en la oseointegración.(37,39) La nanotopografía podría influenciar en las interacciones célula-implante, así como en las proteínas de las propias células.(36,39)

Figura 2: Imagen de microscopía electrónica de barrido (500X) de la superficie Biomimetic® donde la rugosidad se consigue mediante el arenado, la oxidación anódica y la deposición de iones CaP.

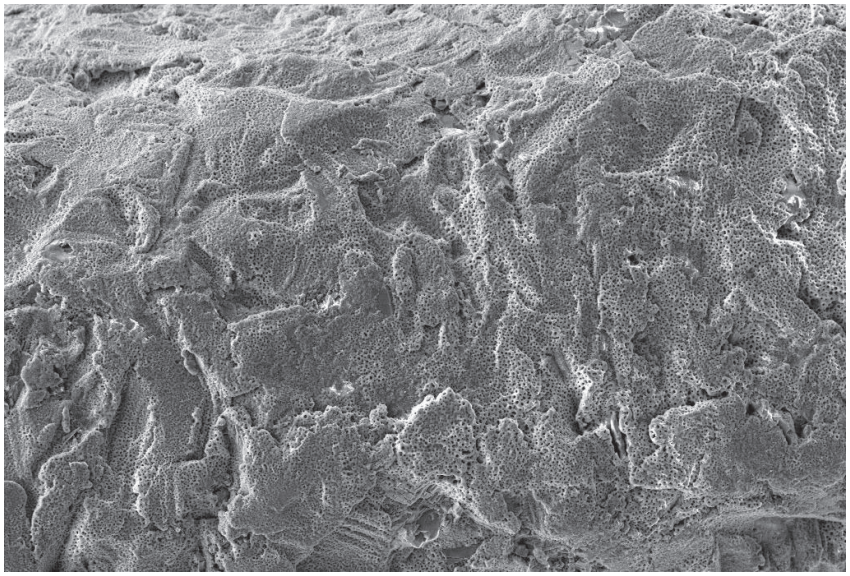


Imagen cedida por Avinent Implant System® S.L. Santpedor, España.

Existen diferentes técnicas para conseguir la rugosidad deseada y, además, las propiedades que beneficien la oseointegración.(36,37) Entre estos procedimientos se encuentran las técnicas de adición, que también permiten añadir un revestimiento (por ejemplo, de hidroxiapatita o de fosfato de calcio). A su vez, otro tipo de técnicas de modificación de la superficie de los implantes son las de sustracción, como el pulido o electropulido de la superficie, el arenado o granallado, el grabado ácido, o la oxidación anódica.(36) La aparición de implantes con aleación de titanio-zirconio con el objetivo de aumentar la resistencia a la fractura de los implantes también ha representado un avance.(36,40) Esta aleación, cuya superficie se trata mediante granallado y grabado ácido, permite la fabricación de implantes de diámetro estrecho, lo que puede reducir la necesidad de procedimientos de regeneración ósea en ciertas situaciones.(33) (36)

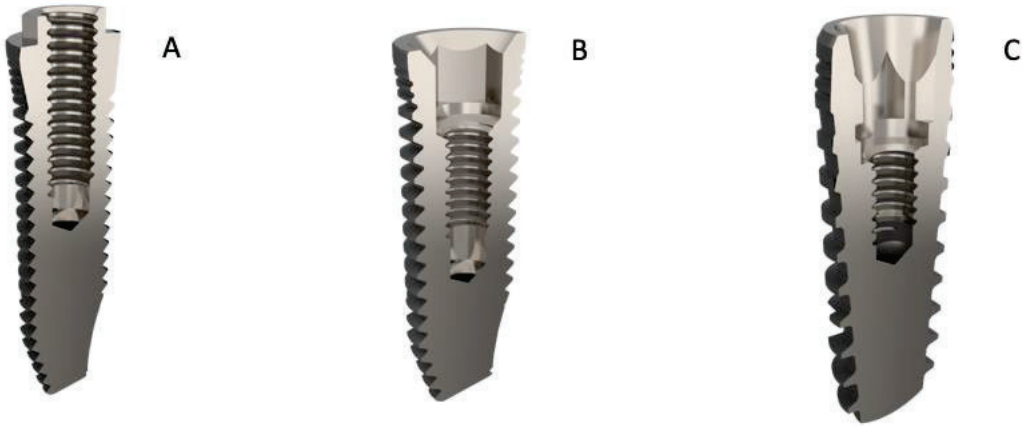
La humectabilidad de la superficie es otra propiedad importante a tener en cuenta. Se mide mediante el ángulo de contacto del agua con la superficie: las superficies hidrofóbicas tienen un ángulo superior a 90°, mientras que las hidrofílicas presentan un ángulo agudo, más cercano a 0°. Algunos autores han apuntado la hipótesis de que las superficies hidrofílicas parecen mantener la conformación y función de las proteínas, al contrario que las hidrofóbicas, que podrían desnaturalizarlas.(36) Las superficies hidrofílicas podrían promover la diferenciación y maduración de los osteoblastos y con ello acelerar la oseointegración.(36) Se ha explorado también la fotofuncionalización con rayos UV de las superficies, con el objetivo de incrementar la osteoconductividad de la superficie, aunque existen aún pocos datos al respecto.(36) Por otro lado, algunos autores han sugerido añadir factores de crecimiento (PDGF, TGF-ß o BMP-2), proteínas de la matriz extracelular (FGF), péptidos RGD que influyen en la formación de la misma matriz extracelular, moléculas mensajeras como la anti-esclerostina (la esclerostina media la interacción entre osteoblastos y osteoclastos y promueve la acción de estos últimos) o la adición de fármacos como los bifosfonatos para inhibir la acción de los osteoclastos.(36,41)

Actualmente existe mucho interés en la investigación de nuevas superficies, tanto a nivel nanomolecular como para transferir ciertas propiedades a las superficies de los implantes. No obstante, será necesario tiempo para poder emplear estos dispositivos de forma rutinaria y analizar sus resultados a largo plazo. (36,39,41)

También se han podido observar innovaciones en el diseño de las conexiones implante-protéticas. Inicialmente, la mayoría de los implantes tenían una conexión anti-rotatoria con forma de hexágono externo.(4) Actualmente, la tendencia parece ir hacia las conexiones anti-

rotatorias de tipo interno, sea de tipo poligonal (por ejemplo, un hexágono en el interior del núcleo del implante) o de diseño cónico (Figura 3).

Figura 3: Conexiones protésicas de los implantes dentales



A: Conexión externa, B: Conexión interna hexagonal, C: Conexión interna cónica. Imágenes cedidas por Avinent Implant System® S.L. Santpedor, España.

Las conexiones internas parecen tener ciertas ventajas sobre las externas. En primer lugar, parecen ser menos susceptibles a fenómenos de reabsorción ósea tras el periodo de cicatrización.(42,43) En segundo lugar, podrían reducir la filtración bacteriana, lo que reduciría el riesgo de enfermedades periimplantarias. Finalmente, podrían minimizar los aflojamientos de la prótesis, al reducir el micromovimiento. Algunos estudios han mostrado que la conexión cónica parece producir menos reabsorción ósea y un mejor sellado protético que la conexión interna, si bien el sellado no parece ser completo con ninguna conexión.(42–44) No obstante, las conexiones internas no están exentas de inconvenientes. Por ejemplo, para la realización de rehabilitaciones múltiples se requiere que los implantes estén colocados de forma paralela o utilizar pilares transepiteliales.(43)

3.4 ÉXITO Y COMPLICACIONES DE LOS IMPLANTES DENTALES

Para analizar el éxito de los implantes, el término supervivencia es muy utilizado en la literatura científica para describir los resultados de un implante. No obstante, este término puede ser engañoso, ya que se hace un recuento de todos los implantes que porta un paciente sin tener en cuenta su estado. Es decir, el implante podría estar infectado, ser móvil o no funcional y computaría favorablemente en porcentaje de supervivencia. Por esta razón, ya en la década de los 80, se definieron criterios de éxito en implantología. Los criterios de Albrektsson y Zarb son los más citados y siguen vigentes, aunque con alguna modificación.(12)

Los criterios de éxito originales son:(12)

- Inmovilidad del implante.
- Ausencia de dolor, neuropatía, incomodidad o infección debida al implante.
- Ausencia de imágenes radiotransparentes alrededor del implante.
- Pérdida ósea promedio inferior a 0.2 mm anuales después del primer año.

Existen también criterios estéticos de éxito, como el Pink Esthetic Score(45), que valora el aspecto de la encía, o el Pink Esthetic Score/White Esthetic Score(46), que también tiene en consideración la estética de la prótesis.

Muchos índices o criterios de éxito obvian la opinión de los pacientes. Sin embargo, cada vez son más los estudios que tienen en cuenta las PROM *(patient-reported outcome measures)*, es decir, cómo valoran los pacientes el resultado de su tratamiento.(47,48) Para ello se emplean preguntas o escalas que cuantifican la satisfacción de los pacientes con el resultado del tratamiento. Los PROM son una herramienta esencial, que puede no coincidir con los resultados basados en variables clínicas o radiológicas.

Aunque los implantes dentales son un tratamiento con un porcentaje elevado de éxito, pueden presentar diversas complicaciones, sobre todo de índole estético, mecánico y biológico.

Las complicaciones estéticas pueden comprometer el resultado de los implantes des del punto de vista del paciente, ya que una exposición de la superficie o una corona con anatomía anómala pueden no ser aceptables para el paciente. Como se ha mencionado anteriormente, existen distintos índices para evaluar estas complicaciones.(46,49)

Por otro lado, las fuerzas mecánicas a las que se someten los implantes pueden originar aflojamientos o roturas del tornillo de retención, fracturas de la cerámica o de la resina u otras complicaciones.(50,51) Algunas de estas complicaciones pueden ser de fácil solución, pero otras pueden requerir repetir el tratamiento. Por estas razones, la planificación, así como, el seguimiento periódico del paciente, son herramientas clave en la prevención de este tipo eventos.

Finalmente, existen complicaciones biológicas, que incluyen las enfermedades periimplantarias: la mucositis periimplantaria y la periimplantitis. Son alteraciones inflamatorias que afectan a los tejidos que rodean un implante y que se abordarán de forma detallada en el siguiente apartado de esta memoria.(52)

3.5 PATOLOGÍA PERIIMPLANTARIA

La definición de las patologías periimplantarias, es decir, la mucositis periimplantaria y la periimplantitis, ha ido cambiando con el tiempo. Varias reuniones de consenso y la publicación de nuevos datos han modificado los criterios diagnósticos de estas entidades. Los

criterios vigentes se decidieron en el Workshop mundial de periodoncia del 2017.(52) Dicho documento contiene las siguientes definiciones:

- Mucositis periimplantaria: inflamación de los tejidos periimplantarios con ausencia de pérdida ósea periimplantaria continua.(53)
- Periimplantitis: trastorno patológico que ocurre alrededor de los tejidos periimplantarios, caracterizado por inflamación de la mucosa implantaria y pérdida ósea progresiva del hueso de soporte periimplantario.(54)

Sin embargo, los criterios diagnósticos, la etiología y el tratamiento de las enfermedades periimplantarias son aún objeto de discusión, al contrario que en las enfermedades periodontales, mucho más estudiadas.(55,56) Esta divergencia se debe principalmente a las diferencias anatómicas, histológicas y bioquímicas que existen entre un implante oseointegrado y un diente. La ausencia de cemento y de ligamento periodontal en los implantes osteointegrados son los principales elementos diferenciadores. Dicho ligamento aporta propiocepción, ausente en los implantes oseointegrados, y aumenta la vascularización, ya que los implantes solo disponen de los vasos supraperiósticos e intraseptales.(52) Por otro lado, el epitelio alrededor de un implante es normalmente más extenso que el epitelio del surco de un diente natural y las fibras del tejido conectivo no se insertan en la superficie del implante:(52) alrededor de los implantes solamente se encuentran haces de fibras de colágeno circulares y alveolo-gingivales, mientras que en los dientes también existen haces de fibras dento-gingivales, fibras transeptales y fibras de Sharpey (estas últimas se insertan en el ligamento periodontal). A causa de la presencia de dichas fibras, es más difícil que la inflamación afecte al hueso marginal de los dientes. En cambio, en implantes osteointegrados el tejido conectivo no es una barrera tan efectiva.

3.5.1 Etiología

El workshop mundial de periodoncia de 2017 define las enfermedades periimplantarias como alteraciones asociadas a la presencia de biofilm bacteriano.(52) El hecho de tener un origen bacteriano muestra una cierta similitud con las patologías periodontales. No obstante, la periimplantitis tiene una evolución clínica más rápida, más agresiva y más difícil de controlar.(57) Una revisión sistemática mostró, a partir de estudios que realizaban identificación bacteriana de infecciones periimplantarias, que son heterogéneas y mixtas.(58) Se han encontrado más bacterias Gram negativas no cultivables, cocos entéricos, cocos Gram positivos asacarolíticos incultivables y *S. aureus* en los implantes con periimplantitis en comparación con implantes sanos. (58)

En cuanto a la presencia de citoquinas o quimioquinas proinflamatorias en el fluido crevicular de los implantes, se observó que la IL-1ß estaba aumentada significativamente en casos de patología periimplantaria.(59) No obstante, no se encontraros diferencias significativas entre casos de mucositis periimplantaria y periimplantitis.(59) Otros análisis no encontraron diferencias en los niveles de IL-4, IL-10 o RANKL entre tejido periimplantario sano o con periimplantitis.(60)

3.5.2 Criterios diagnósticos

En cuanto al diagnóstico de la patología periimplantaria, también ha habido disparidad de opiniones. Siguiendo el modelo de la patología periodontal, para realizar un diagnóstico periimplantario es esencial un sondaje y un estudio radiográfico.

El sondaje periimplantario es aún cuestionado por algunos autores debido al riesgo de romper los haces de colágeno entre implante y mucosa, lo que podría facilitar la aparición de

patología periimplantaria.(61) Esta idea subyace en el concepto “one abutment - one time”, que promulga la colocación de un pilar transepitelial definitivo tras la colocación del implante para disminuir el número de desconexiónes/reconexiones del pilar y limitar la reabsorción del hueso periimplantario.(62)

El sondaje periimplantario facilita 3 datos: la profundidad de sondaje, el sangrado al sondaje y la supuración al sondaje. El más importante a nivel clínico es el sangrado al sondaje, ya que tiene un elevado valor predictivo negativo.(63,64) Es decir, si no hay sangrado, es muy probable que haya salud periimplantaria. En cambio, la presencia de sangrado al sondaje indica inflamación y patología.(65) Se debe tener en cuenta que la fuerza ejercida debe ser mínima, de 0.25 N, ya que de lo contrario, podría provocar sangrado al sondaje en implantes sanos.(63,64) Recientemente se ha matizado que el sangrado, para ser indicativo de patología, debe ser profuso e ir acompañado de inflamación clínicamente detectable.(64)

Otro dato diagnóstico que aporta el sondaje es su profundidad. Debido otra vez a las particularidades anatómicas, existen diferencias con los dientes y se considera sana una profundidad de hasta 4 mm.(66) La profundidad de sondaje depende del grosor de la mucosa que rodea el implante y por eso debe ser analizado con precaución.(63,64) Sin embargo, un aumento en la profundidad de sondaje en el tiempo podría indicar la presencia de patología periimplantaria.(64) Por último, la supuración al sondaje es dato diagnóstico patognomónico de patología periimplantaria.(64)

Otro factor a tener en cuenta durante el sondaje periimplantario es que la presencia de la prótesis puede alterar los resultados. La forma de las prótesis implantosoportadas unitarias o parciales depende de la anatomía ósea, de la posición de los dientes adyacentes, de la cantidad de mucosa, del diámetro del implante o de la profundidad de la conexión del

implante. Además, en las rehabilitaciones de arco completo de metal-cerámica o metal-resina, la prótesis hace aún más complejo el acceso a los implantes. En un estudio reciente, se comprobó que el sondaje periimplantario sin prótesis es reproducible y estandarizable, al contrario que el sondaje con prótesis.(67) Además, parece que el sondaje de rehabilitaciones unitarias con corona protética subestima la profundidad real de sondaje.(68) Por ello, parece recomendable sondar sin prótesis aunque ello suponga un aumento de tiempo de sillón y del riesgo de complicaciones (por ejemplo, fractura o desgaste de los tornillos de retención).

El estudio radiológico es esencial para efectuar un correcto diagnóstico periimplantario. Se prefiere el uso de radiografías periapicales, debido a que ofrecen un detalle mejor que las ortopantomografías. La interpretación de las tomografías computadas de haz cónico (TCHC) puede ser problemática debido a artefactos generados por los implantes y la prótesis. En un estudio donde se compararon 3 tomógrafos, las mediciones del hueso vestibular fueron poco fiables, sobre todo en casos de grosores menores a 1mm o en defectos marginales.(69) No obstante, según estudios más recientes, la TCHC de alta definición podría permitir identificar la anatomía del defecto óseo.(70,71) El meta-análisis de Bohner y cols. (72), ha demostrado que tanto las radiografías periapicales como las TCHC parecen tener resultados aceptables para la detección de patología en implantes. Sin embargo, la fiabilidad depende del tamaño del defecto y la calidad de la imagen.(72)

Las radiografías periapicales deben realizarse de forma estandarizada con un paralelizador para obtener resultados comparables a lo largo de las visitas de seguimiento. En este sentido, la radiografía periapical en el momento de la carga protésica es fundamental para obtener un registro inicial que permita seguir la evolución de los niveles de hueso periimplantario. Sin embargo, las radiografías periapicales tampoco ofrecen unos resultados completamente

fiables. García-García y colaboradores(73) verificaron que, de media, los niveles óseos vestibulares son 1.4 ± 2 mm menores que los interproximales, que son los únicos valorables en la radiografía.(73) Por tanto, la radiografía periapical subestima la gravedad de la pérdida ósea en vestibular o lingual/palatino.

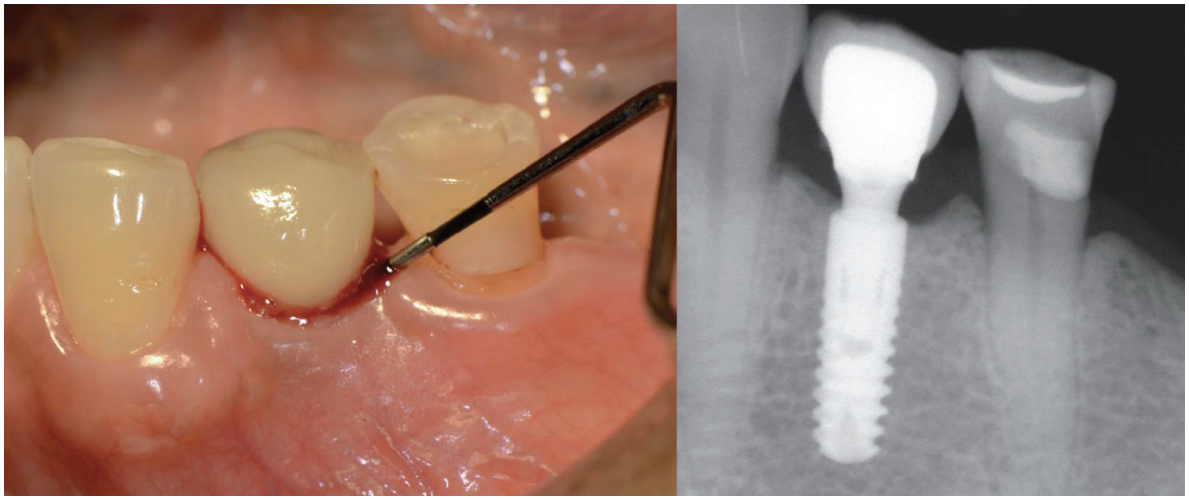
Según los criterios de Albrektsson y colaboradores (12) una pérdida ósea anual de 0.2 mm es normal y no compromete el éxito del implante. Actualmente, la pérdida ósea solo se considera periimplantitis si está asociada a una inflamación de los tejidos blandos de soporte (con sangrado al sondaje).(64) A su vez, la periimplantitis se caracteriza por pérdidas óseas progresivas que, en algunas ocasiones, pueden ser rápidas.(57) Por esto, son claves los mantenimientos y controles radiográficos periódicos, que permiten ver la evolución de esta pérdida ósea.

De forma resumida, existe cierto acuerdo sobre los siguientes criterios diagnósticos:(64)

- Mucositis periimplantaria: (Figura 4)
    - Inspección visual que muestre signos de inflamación periimplantaria: enrojecimiento de le mucosa, hinchazón del tejido con consistencia blanda.
    - Presencia de sangrado profuso y/o supuración al sondaje.
    - Aumento en la profundidad de sondaje en comparación con el momento basal.
    - Ausencia de pérdida ósea tras los cambios del remodelado inicial.
- Periimplantitis: (Figura 5)
    - Inspección visual que muestre signos de inflamación periimplantaria.
    - Presencia de sangrado profuso y/o supuración al sondaje.
    - Aumento en la profundidad de sondaje en comparación con el momento basal.

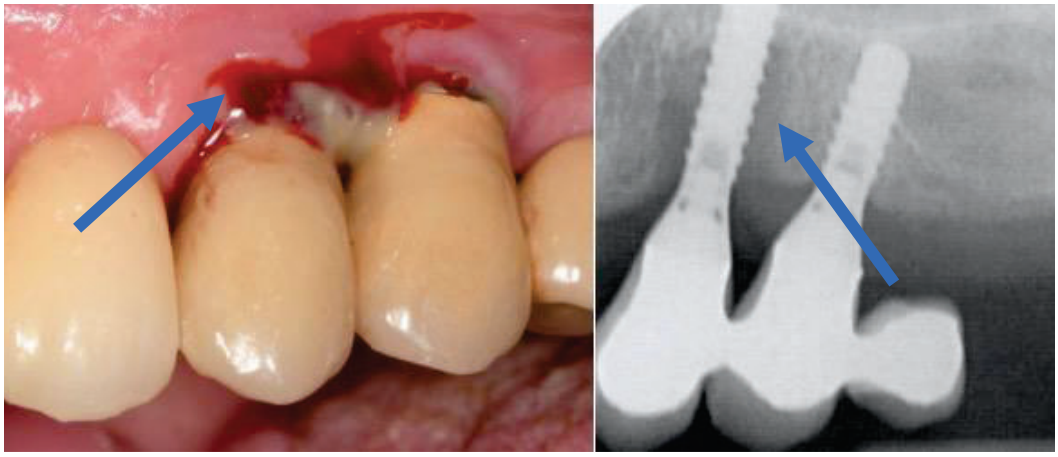
- Pérdida ósea progresiva en comparación con la situación 1 año tras la carga protésica.
- En ausencia de radiografía inicial y profundidades de sondaje, pérdida ósea radiográfica de ≥ 3mm y/o profundidad de sondaje ≥ 6mm junto a sangrado profuso.

Figura 4: Imagen y radiografía de un caso clínico de un implante con mucositis periimplantaria. En el examen clínico se aprecia sangrado al sondaje mientras que en la radiografía periapical no se aprecia pérdida de soporte óseo.



Imágenes cedidas por el Máster de Cirugía Bucal e Implantología Bucofacial de la Universitat de Barcelona.

Figura 5: Imagen y radiografía de un caso clínico de periimplantitis. El implante marcado con una flecha presenta periimplantitis, con sangrado y supuración al sondaje en el examen clínico y pérdida de soporte óseo en el examen radiográfico



Imágenes cedidas por el Máster de Cirugía Bucal e Implantología Bucofacial de la Universitat de Barcelona.

3.5.3 Epidemiología

Existen múltiples estudios en distintos entornos y poblaciones sobre la epidemiología de las enfermedades periimplantarias. Mir-Mari y colaboradores(74) analizaron la prevalencia de estas patologías en un total de 245 pacientes visitados en una clínica privada y con un seguimiento de 1-18 años. Un 38.8% de los pacientes (IC95%: 33.3-45-4%) tenía mucositis periimplantaria, mientras que un 16.3% (IC95%: 12.2-21.5%) padecían periimplantitis. Resultados similares se encontraron en otro estudio que seleccionó de forma aleatoria a 588 pacientes con un seguimiento de 9 años. En total, un 14.5% de los pacientes presentaba una periimplantitis moderada/severa, definida como sangrado o supuración al sondaje y pérdida ósea mayor de 2 mm.(75)

Un estudio realizado en España, donde diferentes profesionales seleccionaron 10 pacientes aleatorios, halló una prevalencia de enfermedades periimplantarias del 51%. Un 27% (IC95%: 22-32%) tenía al menos un implante con mucositis periimplantaria y un 24% (IC95%: 19-29%), con periimplantitis.(76)

Derks y Tomasi analizaron 11 estudios de prevalencia y observaron que el rango de mucositis periimplantaria estaba entre 19-65% (IC95%: 32-54%) y el de periimplantitis entre 1-47% (IC95%: 14-30%).(77)

Aunque los estudios de prevalencia aporten información relevante, muestran datos obtenidos en un momento determinado. En este sentido, cabe destacar que la periimplantitis parece tener una evolución no lineal (78,79) y un inicio temprano.(54,78) Derks y colaboradores detectaron signos clínicos iniciales de periimplantitis (pérdida ósea 0.5mm) en un 52% de los pacientes tras el segundo año de función.(78) La periimplantitis parece tener, pues, una progresión más rápida y agresiva que la periodontitis.(54,57)

3.5.4 Prevención

La elevada prevalencia de estas complicaciones asociada al gran número de pacientes portadores de implantes pone de manifiesto la necesidad de implementar estrategias de prevención y diagnóstico precoz. Además, es preciso tener en cuenta que el tratamiento de las patologías periimplantarias es complejo y, por ahora, tiene bajos porcentajes de éxito.(53)

La prevención primaria de una patología no solo debe actuar contra el principal factor etiológico, sino también contra otros factores de riesgo y desencadenantes.

El biofilm es el principal factor etiológico de estas patologías: su presencia es necesaria para la aparición de la mucositis periimplantaria o de la periimplantitis.(52) Por esta razón, la

higiene bucodental diaria por parte del paciente es imprescindible para su prevención.(80) Es esencial, por otro lado, que la rehabilitación protésica permita esta higiene. Es frecuente que pacientes rehabilitados con prótesis híbridas tengan dificultad de acceso a la zona periimplantaria, lo que dificulta la eliminación del biofilm. Según Serino y colaboradores, el acceso a la higiene de las prótesis sobre implantes disminuye el riesgo de enfermedad periimplantaria, con un valor predictivo negativo del 82%.(80)

Las visitas de mantenimiento periimplantario son imprescindibles para mantener una salud periimplantaria. Un estudio retrospectivo determinó que los pacientes que no acudían regularmente a las visitas de mantenimiento tenían una incidencia significativamente superior de periimplantitis y de presencia de biofilm alrededor de los implantes.(81) Más recientemente, un metaanálisis mostró que los mantenimientos parecen ser más eficaces en la reducción de la periimplantitis en comparación con la mucositis periimplantaria.(82) Existe cierto consenso en torno a la recomendación de realizar visitas de mantenimiento cada 6 meses en caso de no haber antecedentes de patología periimplantaria, o cada 3-4 meses de riesgo elevado.(82) Es importante remarcar que sin la retirada de la prótesis implantosoportada no se suele poder realizar un correcto mantenimiento periimplantario. (69)

Los antecedentes de periodontitis, el consumo de tabaco o alcohol, la presencia de ciertas patologías sistémicas o la predisposición genética también parecen ser importantes factores de riesgo asociados al paciente.

Los antecedentes de periodontitis se consideran un factor de riesgo de periimplantitis.(83–86) Ello apunta a una relación entre ambas patologías y, por tanto, a considerar una etiología bacteriana. De hecho, la presencia de bolsas periodontales es un factor de riesgo de mayor

profundidad de sondaje periimplantario, pérdida ósea y periimplantitis.(87) Por esta razón, es imprescindible controlar la patología periodontal antes de realizar cualquier tratamiento con implantes dentales.

El tabaco también es un factor de riesgo de la periimplantitis debido a sus agentes tóxicos, entre los que se encuentra la nicotina, que produce vasoconstricción. (85,88)

Existen diversas patologías sistémicas que hacen al paciente más susceptible de padecer periimplantitis, como la diabetes mal controlada.(89,90) Por otro lado, se ha apuntado a que ciertos factores genéticos (relacionados con la expresión de IL-1α, IL-1β y el TNF-α) podrían predisponer a padecer patologías periodontales y/o periimplantarias.(91,92)

También hay factores de riesgo o iniciadores ligados al tratamiento, ya sean relacionados con la colocación del implante (parte quirúrgica) o con la rehabilitación protésica. La planificación del tratamiento es fundamental para obtener una colocación del implante guiada protéticamente y evitar inclinaciones inadecuadas, que pueden comportar una rehabilitación protésica deficiente o provocar un remodelado óseo excesivo. Se recomienda mantener una distancia mínima de 1.5 mm entre diente e implante y de 3 mm entre implantes.(93) A su vez, el implante debe colocarse en una posición apico-coronal adecuada, generalmente a 3-4 mm mm por debajo del futuro margen de la corona.(93) Además, es conveniente disponer de un grosor de 1.8-2mm de hueso alrededor del implante debido al riesgo de reabsorción del hueso periimplantario, sobre todo en la vertiente vestibular, debido a la falta de irrigación sanguínea.(16)

En la actualidad, las superficies moderadamente rugosas parecen ofrecer mejores resultados en lo que respecta a la oseointegración.(37) No obstante, las superficies parecen ser una variable importante en cuanto a la respuesta en el tratamiento de la periimplantitis. Varios

estudios han comparado las superficies de distintas marcas comerciales tras el tratamiento quirúrgico, y han detectado diferencias estadísticamente significativas entre ellas.(94,95)

Una conexión cónica o interna puede ayudar a disminuir la discrepancia entre los aditamentos protésicos y la conexión.(42,43) A su vez, este tipo de conexión parece evitar el remodelado óseo disminuyendo el riesgo de exposición de la superficie del implante. (41) Las superficies rugosas tienen más propensión a ser colonizadas por bacterias y suelen ser más difíciles de higienizar.(96,97) Por otra parte, la pérdida ósea temprana podría estar asociada a una mayor pérdida ósea futura. Se ha observado que el nivel óseo a los 18 meses parece estar asociado a la pérdida ósea inicial: los implantes con pérdidas superiores a 2 mm ya presentaban reabsorciones de 0.4 mm o más tras 6 meses de carga.(98) No obstante, otra publicación mostró que los pacientes con mayor remodelado inicial tenían menos cambios en los niveles óseos en los controles posteriores.(99)

Existen otras variables quirúrgicas para tener en cuenta. La producción de calor durante el fresado puede conllevar a un sobrecalentamiento óseo, que podría producir un mayor remodelado.(100,101) Por esta razón, es necesario garantizar una correcta irrigación con suero salino, disponer de fresas en un estado óptimo y seguir las velocidades recomendadas por el fabricante. Además, el implante se debe colocar con un momento de fuerza adecuado. Un bajo momento de fuerza con carga temprana aumenta el riesgo de fracaso, pero un par de fuerza excesivo puede causar una compresión ósea que se traduzca en un mayor remodelado óseo.(102)

Existen diversos factores protésicos que pueden influir en el riesgo de padecer una patología periimplantaria. Por ejemplo, las prótesis atornillada ofrecen ciertas ventajas: (103) facilitan la retirada de la prótesis en las visitas de mantenimiento y evitan el uso de cemento, cuyos

restos pueden producir inflamación periimplantaria.(103,104) De hecho, incluso con una técnica de cementado muy cuidadosa pueden quedar restos microscópicos de cemento, que son difíciles de eliminar y que pueden originar complicaciones biológicas.(105)

Las prótesis atornilladas múltiples, ya sea en puentes o en arcos completos, especialmente si se emplean implantes de conexión interna o cónica, suelen requerir el uso de pilares intermedios. En efecto, la falta de alineación de los implantes con conexiones internas suele impedir el correcto asentamiento de la prótesis. Los pilares intermedios tienen múltiples ventajas entre las cuales se encuentran facilitar la inserción de la prótesis, permitir una retirada más cómoda de la misma y solucionar posibles fracturas del tornillo de retención. Asimismo, la evidencia científica ha establecido que el uso de pilares intermedios de ≥ 2 mm de altura actúa como factor protector de las enfermedades periimplantarias, ya que parece prevenir la reabsorción ósea.(106,107)

Un correcto diseño prótesico también parece ser una variable importante. Según Katafuchi y colaboradores, las prótesis con perfiles de emergencia con ángulos mayores de 30º y con perfiles convexos conllevan un mayor riesgo de periimplantitis.(108) Otro factor relevante es la presencia de puntos de contacto adecuados, ya que los espacios abiertos podrían ser un factor de riesgo de periimplantitis. (109)

Finalmente, un correcto asentamiento de la prótesis y un adecuado ajuste de la oclusión son fundamentales para evitar complicaciones mecánicas. (103,110)

Otro tema muy debatido actualmente es la necesidad de un grosor mínimo de la mucosa y de la presencia de mucosa queratinizada para la salud periimplantaria. Ya sea antes, durante o después de la colocación de implantes, se pueden llevar a cabo procedimientos de aumento de volumen o mejora de tejidos blandos.(111) La mucosa queratinizada se considera un factor

protector, pero no imprescindible, para que haya salud periimplantaria.(112) Es decir, puede haber implantes sanos sin banda de mucosa queratinizada. No obstante, una banda de mucosa queratinizada parece facilitar la higiene, lo que mejoraría el pronóstico de los implantes.(19,111,112) Un ensayo clínico aleatorizado comparó la evolución de implantes con menos de 2 mm de mucosa queratinizada a los que se les realizaba un injerto gingival libre (grupo experimental) o una profilaxis (grupo control) y observó una menor reabsorción ósea y menor índice gingival en el grupo experimental.(113) La decisión de realizar un aumento de mucosa queratinizada recae en el clínico, que debe evaluar el riesgo de cada paciente para desarrollar periimplantitis, y en el paciente, debido la morbilidad de la intervención y a su coste económico.

El aumento del grosor de encía mediante injertos de tejido conectivo se suele indicar cuando se colocan implantes inmediatos o en zonas estéticas, pero también podría tener un efecto sobre la pérdida ósea. Un metaanálisis concluyó que los implantes colocados en mucosas de biotipo grueso tenían menor pérdida ósea que los colocados en biotipos finos.(114) Sin embargo, un ensayo clínico aleatorizado no observó diferencias entre los implantes colocados en biotipos gruesos (> 2mm) o finos (≤ 2mm), aunque sí registró una mayor pérdida ósea a los 12 meses, cuando los pilares intermedios eran menores (1 vs. 3 mm).(115) Así, es importante valorar la necesidad de realizar injertos de tejido conectivo si existe un grosor delgado de la mucosa.

En definitiva, para la prevención de las patologías periimplantaria es necesaria una buena selección del paciente y una adecuada planificación, colocación y mantenimiento de los implantes y de la prótesis.

3.5.5 Tratamiento

El tratamiento de las patologías periimplantarias es secuencial y tiene dos partes diferenciadas: el tratamiento no quirúrgico y la terapia quirúrgica. Para el tratamiento de la mucositis periimplantaria se efectúa un tratamiento no quirúrgico, mientras que para tratar la periimplantitis se recomienda primero la terapia no quirúrgica y, después, un tratamiento quirúrgico.(53,54) Es importante remarcar que un tratamiento eficaz y temprano de la mucositis periimplantaria parece prevenir la progresión de la enfermedad hacía la periimplantitis.(53,116)

Los objetivos de la terapia no quirúrgica son eliminar el biofilm del implante, reducir la inflamación y modificar los factores de riesgo como, por ejemplo, alterar el diseño de la prótesis para mejorar el acceso a la higiene oral. Por otro lado, la función de la terapia quirúrgica es eliminar el tejido inflamatorio, acondicionar la superficie y reducir las bolsas periimplantarias.

Para efectuar una correcta terapia no quirúrgica es preciso eliminar el cálculo y el biofilm. Para esto, es muy recomendable retirar la prótesis implantosoportada para facilitar el acceso a todas las zonas y comprobar las zonas de acúmulo de biofilm bacteriano. En un ensayo clínico aleatorizado se comprobó que el remodelado de la prótesis para facilitar el acceso a la higiene comportaba una mejora clínica (disminución del sangrado al sondaje y de la profundidad de sondaje) a los 6 meses.(117)

Para retirar el cálculo se pueden utilizar tanto puntas de ultrasonido como curetas, que pueden ser de distintos materiales: plástico, teflón, fibra de carbono, titanio o acero inoxidable (Figura 6).(118) Las curetas plásticas tienen la ventaja de no dañar la superficie del implante, pero se fracturan con facilidad y son menos eficaces que las metálicas.(118) Por el

contrario, las de acero inoxidable tienen una mayor eficacia, pero producen alteraciones en las superficies rugosas y pulidas del implante.(118) Estas modificaciones podrían favorecer la adhesión bacteriana. En un estudio *in vitro* se comprobó que las curetas de acero inoxidable provocan una rugosidad mayor y dejan restos de titanio en la conexión.(119) A su vez, los ultrasonidos con punta de plástico no modificaron la superficie, pero dejaron restos de plástico en la conexión, debido al calentamiento.(119) Finalmente, las curetas de titanio obtuvieron una rugosidad significativamente menor en comparación con las de acero inoxidable y no se detectaron partículas de titanio en la conexión.(119) Otro estudio determinó que las curetas de fibra de carbono, de teflón o de titanio no parecen alterar la superficie y tienen mayor eficacia que las plásticas.(118)

El raspado mecánico es un paso fundamental en el tratamiento las enfermedades periimplantarias, ya que se ha comprobado que la utilización de productos antibacterianos no es suficiente para detener su progresión.(120–122) Así, los agentes químicos deben ser considerados elementos coadyuvantes. Los antisépticos locales como la clorhexidina o la povidona iodada al 10% son 2 de los más utilizados.(118,121,122) La clorhexidina es recomendable incluso después de la terapia no quirúrgica en forma de enjuagues, aplicación de gel o incluso de irrigación subgingival.(118) El uso sistémico de antibióticos no suele estar indicado, mientras que su aplicación local muestra resultados positivos, si bien los datos son escasos.(118) Los sistemas de pulido por aire, como los aerosoles de glicina o eritritol, parecen ser también una buena opción para eliminar el biofilm, pero no sustituyen el tratamiento mecánico estándar (Figura 7).(123–125)(126,127) La aplicación de láser (diodos, CO_2 o Er:YAG) también puede ser útil para eliminar el biofilm, aunque el láser Er:YAG altera la superficie del implante si se emplea a más de 300mJ y 10Hz.(128,129)

Figura 6: Curetas de titanio (A) y de plástico (B) utilizadas en la terapia no quirúrgica de la periimplantitis

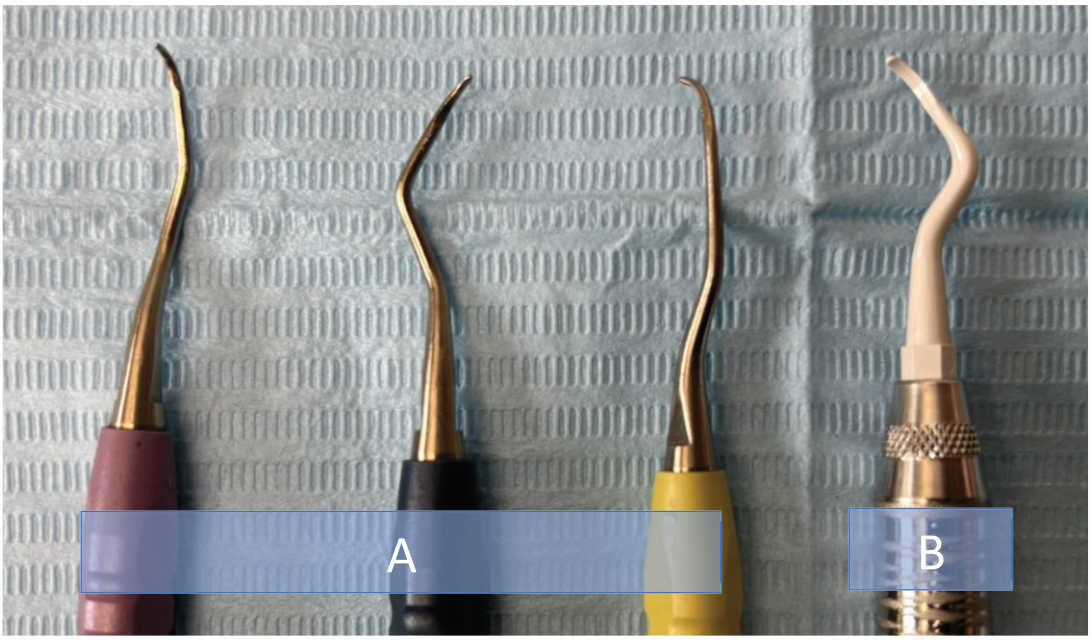


Imagen cedida por el Máster de Cirugía Bucal e Implantología Bucofacial de la Universitat de Barcelona.

Figura 7: Ejemplo de un espray abrasivo utilizado en la terapia no quirúrgica de la periimplantitis junto a imagen clínica de su uso en el mantenimiento de implantes dentales.

Imágenes cedidas por el Máster de Cirugía Bucal e Implantología Bucofacial de la Universitat de Barcelona.

En definitiva, el desbridamiento mecánico es fundamental y la utilización de algún tratamiento coadyuvante parece mejorar la evolución de la patología periimplantaria.(130–132) Finalmente, es imprescindible dar instrucciones de higiene oral al paciente para que pueda mantener la zona limpia, y comprobar que la prótesis permita un correcto acceso a los dispositivos de higiene oral.

En general, tras la terapia no quirúrgica es necesario realizar una reevaluación de la situación y elaborar un plan de tratamiento. Los pacientes inicialmente diagnosticados de mucositis periimplantaria suelen responder adecuadamente y deben ser incluidos en un programa de mantenimiento periimplantario.(53) No obstante, si la inflamación de los tejidos persiste, puede ser necesario un tratamiento adicional y una nueva valoración de los factores de riesgo. También es importante determinar la frecuencia de los mantenimientos periimplantarios que, en casos de riesgo, se pueden efectuar cada 3 meses.(53)

En los casos de periimplantitis, la reevaluación también es el momento de valorar la viabilidad y el pronóstico de los implantes. Los implantes viables pueden ser sometidos a un tratamiento quirúrgico y su pronóstico depende de varios factores como su situación clínica inicial, ya que, los implantes con defectos iguales o menores de 4mm suelen responder de forma más favorable al tratamiento.(133,134) Según Serino y colaboradores, el 76% de los implantes tratados con defectos óseos iguales o menores de 4mm se mantuvieron estables durante 2 años.(133) No obstante, el 40% de los implantes con defectos iguales o mayores de 7 mm, se tuvieron que retirar poco tiempo tras el tratamiento.(133) Otra variable relevante es la anatomía del defecto: los defectos contenidos parecen ser más favorables de tratar.(135) La superficie pulida o mecanizada parece mejorar el pronóstico de los tratamientos periimplantarios, ya que las superficies rugosas parecen favorecer el acúmulo de

biofilm.(136,137) Además, la experiencia del cirujano(134), la ausencia de bolsas tras la cirugía(138) y los mantenimientos periódicos(82,138) son factores que mejoran los resultados terapéuticos. Debido a esto, el diagnóstico y tratamiento precoces son fundamentales, ya que, de esta manera, los defectos serán menores y su tratamiento y evolución, más favorables.(133)

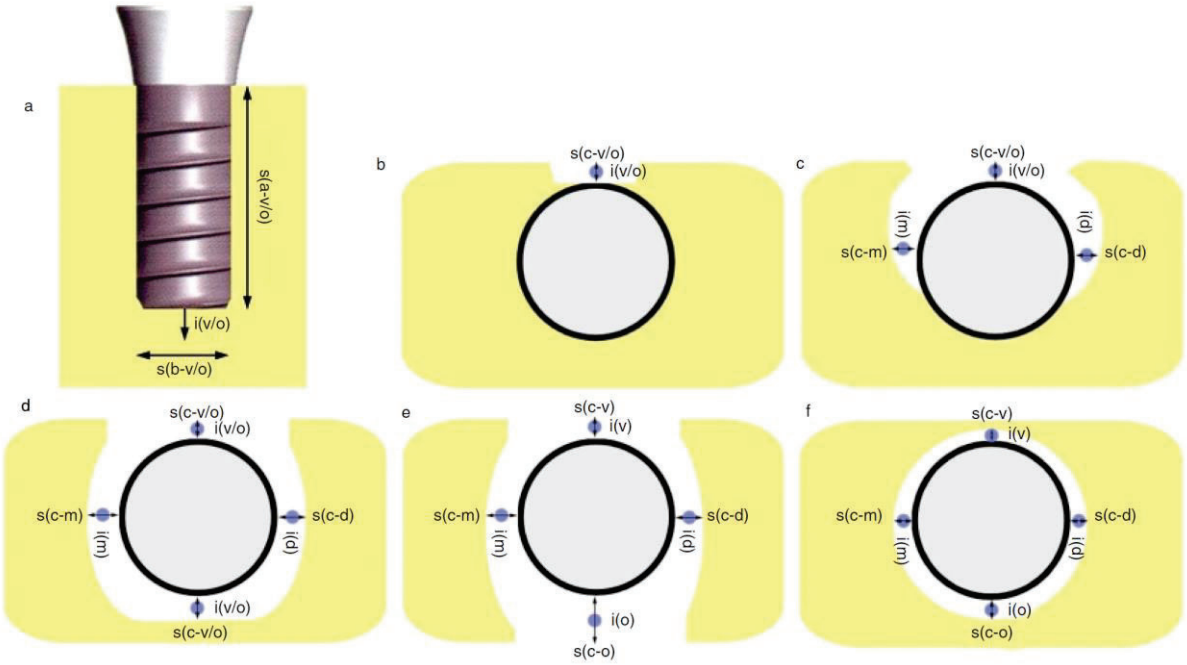
La retirada de los implantes (explantación) se debe efectuar en casos con mal pronóstico o cuando los implantes no se encuentran en una posición tridimensional ideal. Por otro lado, existe un cierto consenso en torno a que en defectos óseos que abarcan más del 50% de la longitud del implante, la retirada del implante debería ser valorada, pues la terapia quirúrgica tiene un pronóstico muy dudoso en estos casos.(134) Para realizar la retirada de los implantes se pueden utilizar fórceps dentales (si tienen movilidad o poca inserción ósea), sistemas específicos de retirada de implantes o efectuar una ostectomía circunferencial de los implantes (por ejemplo, con fresas huecas para hueso).(139) Es importante destacar que la explantación suele producir un defecto óseo que, en muchas ocasiones, impide recolocar el implante si no se hace antes una regeneración ósea. Por esta razón, antes de la explantación es recomendable hacer un plan de tratamiento que valore, entre otras medidas, la preparación de prótesis provisionales, regeneraciones óseas o injertos de tejidos blandos, entre otras medidas.

En general, el tratamiento quirúrgico se considera imprescindible para abordar los casos de periimplantitis.(140–142) Esta afirmación actualmente está en entredicho ya que un estudio reciente ha mostrado una estabilización de la periimplantitis con un enfoque no quirúrgico.(143) En caso de tratamiento quirúrgico, se ha evidenciado que la administración

postoperatoria de antibióticos sistémicos parece mejorar los resultados cuando se tratan implantes de superficie rugosa.(144)

Existen cuatro tipos de enfoques quirúrgicos y la elección vendrá condicionada principalmente por la anatomía del defecto, pero también por otros factores como la estética o la presencia de mucosa queratinizada. La anatomía del defecto es clave para escoger el tratamiento, ya que uno de los objetivos principales de la terapia quirúrgica es eliminar las bolsas periimplantarias. Los defectos periimplantarios definidos por Schwarz y colaboradores son de 2 tipos(145): tipo I o defectos intraóseos y tipo II o defectos supracrestales (Figuras 8 y 9).

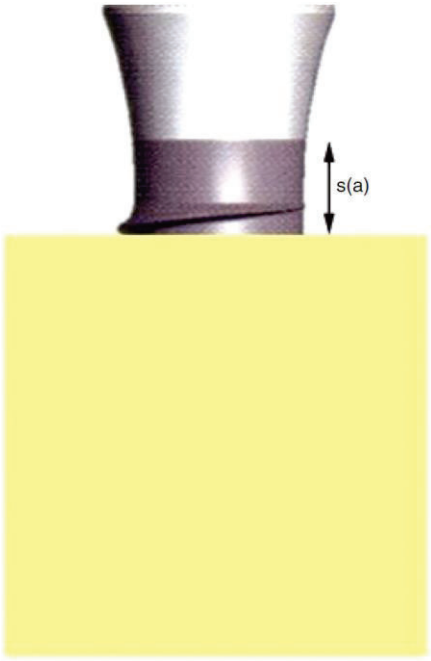
Figura 8: Defectos periimplantarios intraóseos (Tipo I)



a: Visión vestibular del defecto tipo Ia; b: Visión oclusal del defecto tipo Ia; c: Visión oclusal del defecto tipo Ib; d: Visión oclusal del defecto tipo Ic; e: Visión oclusal del defecto tipo Id; f: Visión oclusal del defecto tipo Ie. Imagen cedida por John Wiley and Sons© del artículo de Schwarz y colaboradores.(146)

Dentro de los defectos intraóseos existen diversas categorías: tipo Ia (defecto en una pared, normalmente vestibular), tipo Ib (defecto en las paredes vestibular, mesial y distal), tipo Ic (defectos en las paredes vestibular, mesial, distal y lingual, pero sin pérdida de la cortical lingual), tipo Id (igual que el Ic, pero con afectación de la cortical lingual) y tipo Ie (defecto circunferencial en forma de cráter). En el estudio de García-García y colaboradores(73) se observó que el 87% de los implantes con periimplantitis operados presentaba un defecto supracrestal (tipo II) y que el defecto intraóseo más frecuente era de tipo circunferencial (Ie) con un 32.6% de los casos, seguido del Ic, con un 26.1%.(73) La gran mayoría de los casos (87.4%) presentaba defectos combinados, tipo I y II.(73)

Figura 9: Defectos periimplantarios supraóseos (Tipo II)



Visión vestibular de un defecto tipo II. Imagen cedida por John Wiley and Sons© del artículo de Schwarz y colaboradores.(146)

La anatomía de este defecto, dependiendo de si es supracrestal o intraóseo, del número de paredes y su anchura, marcará el tipo de tratamiento quirúrgico a realizar.(145) Se deben tener en cuenta también los factores estéticos, ya que los tratamientos con enfoque resectivo suelen exponer parte del implante. A su vez, la presencia o ausencia de mucosa queratinizada puede influir en el tipo de enfoque a realizar.

Básicamente existen 4 enfoques de tratamiento quirúrgico: cirugía de acceso, cirugía resectiva, cirugía regenerativa y cirugía combinada. La cirugía de acceso (elevación de colgajo y eliminación del tejido inflamatorio) parece tener resultados poco satisfactorios. Renvert y colaboradores solo consiguió un 58% de éxito con este tipo de abordaje.(146) Así, parece recomendable añadir otro tratamiento al mero desbridamiento para mejorar el pronóstico final.(147)

El tratamiento quirúrgico resectivo, (Figura 10) similar al que se realiza en el tratamiento de la periodontitis, tiene como objetivo principal la reducción de las bolsas periimplantarias.(133) Se realizan colgajos de desplazamiento apical junto con remodelado óseo para así obtener una zona de fácil acceso a la higiene. Esta opción de tratamiento debe ser usada en los casos con defectos tipo II (supraóseos), ya que, en estos casos, no se suele esperar que exista regeneración ósea.(145) Sin embargo, el tratamiento resectivo deberá reservarse para zonas posteriores o en casos de arcos completos donde la estética no se vea afectada. En caso de ausencia o falta de grosor de mucosa queratinizada es recomendable efectuar técnicas de injerto de tejido blando.(111) Serino y colaboradores publicaron un porcentaje de éxito a los 2 años del 76% en los implantes con defectos de 2-4mm, del 55% en defectos de 5-6mm y del 22% en defectos mayores de 7mm con este tipo de enfoque.(133) La realización de una cirugía resectiva propicia la exposición de la superficie rugosa al medio

bucal, lo que puede facilitar la adhesión del biofilm oral.(97,148,149) Por esta razón, se ideó la implantoplastia, que consiste en pulir la zona rugosa del implante con la finalidad de evitar o reducir la colonización bacteriana.(150) Estudios recientes que han empleado implantoplastia han mostrado buenos resultados a corto plazo. En el estudio prospectivo de Englezos y colaboradores se obtuvo una reducción de la profundidad de sondaje de 8.7 a 3.3mm y una estabilidad de la pérdida ósea en el 92.5% de los implantes tras dos años de seguimiento.(151) Si bien una revisión sistemática concluyó que las técnicas quirúrgicas no regenerativas tienen una evidencia limitada para la resolución de la periimplantitis,(152) se ha observado que la implantoplastia parece reducir la profundidad de sondaje y la inflamación del tejido periimplantario.(152)

Figura 10: Caso clínico de abordaje resectivo con implantoplastia en el tratamiento de la periimplantitis. Detalle de la ostectomía para mejorar la anatomía del defecto.

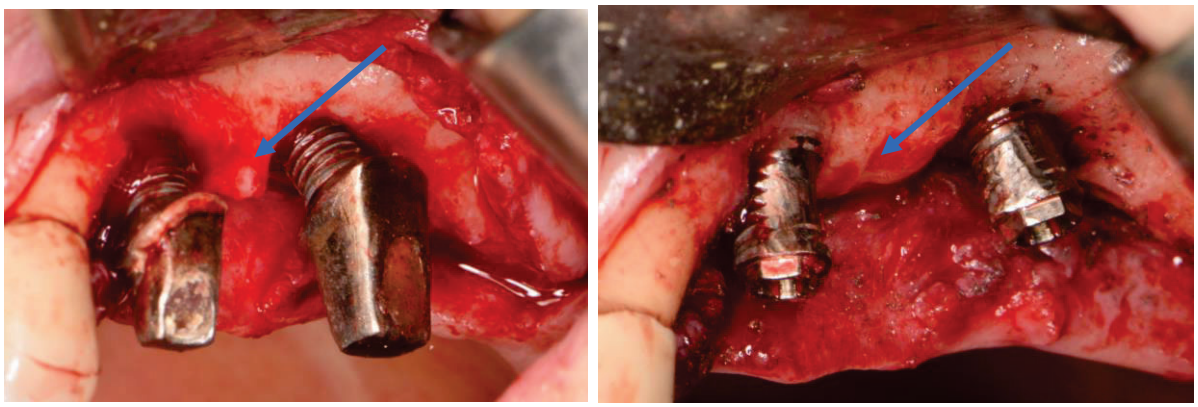


Imagen cedida por el Máster de Cirugía Bucal e Implantología Bucofacial de la Universitat de Barcelona.

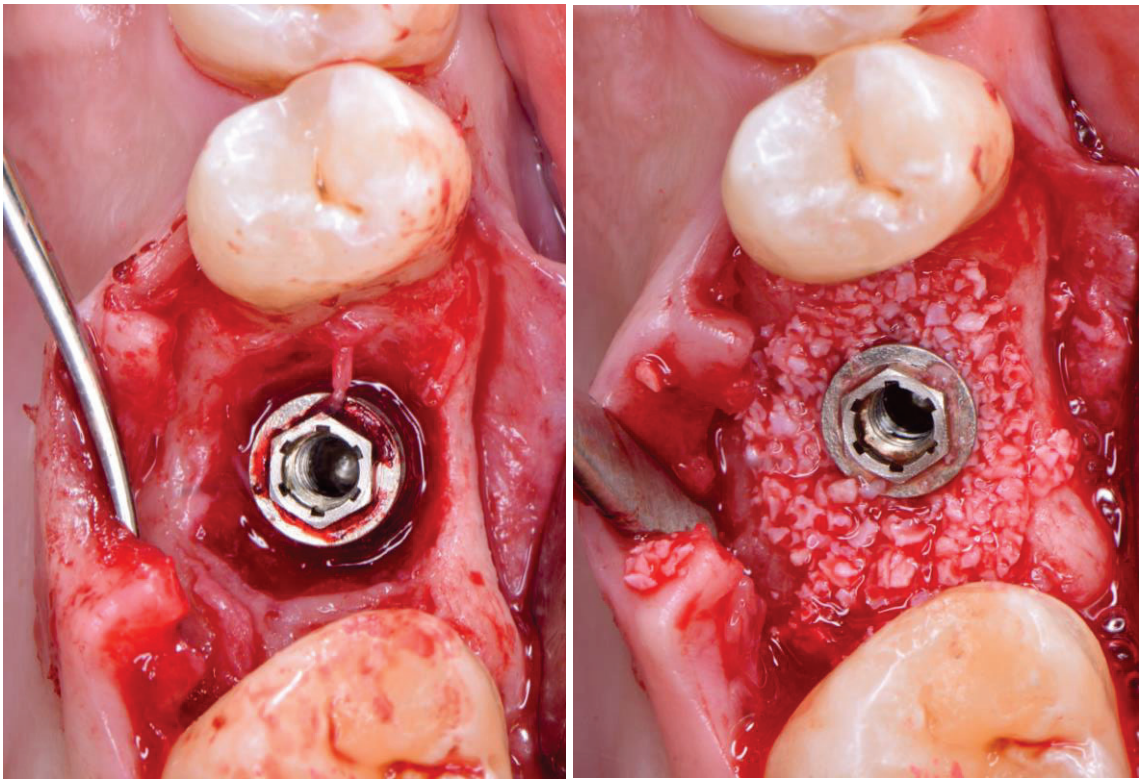
El tratamiento quirúrgico con enfoque regenerativo (Figura 11) es otra opción para los pacientes con periimplantitis. Consiste en rellenar el defecto para reducir la bolsa periimplantaria y descontaminar la superficie del implante.(146) Esta alternativa se debe

utilizar en casos de defectos favorables a la regeneración ósea. En concreto, estaría indicada en los defectos intraóseos (tipo I), sobre todo en el defecto circunferencial (Ie), que es de los más frecuentes en periimplantitis.(145,153) No obstante, es importante también tener en cuenta la profundidad y la anchura del defecto.(146) Aunque el término regenerativo induce a pensar que el objetivo es la re-oseointegración, esta es poco probable en un entorno clínico. Sin embargo, se han realizado estudios en modelo animal que sugieren que una re-oseointegración es posible tras la descontaminación de la superficie del implante y la aposición de un biomaterial.(154,155) Por otro lado, se ha documentado un caso clínico de un paciente fallecido 12 meses tras la terapia regenerativa, que mostró esta regeneración en la autopsia.(156) A pesar de esto, el objetivo del relleno del defecto es la reducción de la bolsa periimplantaria para facilitar la higiene y reducir la presencia de biofilm en zonas más apicales no accesibles a la higiene. A diferencia de una regeneración ósea convencional, donde el "gold standard" suele ser el hueso autólogo, en la cirugía periimplantaria los biomateriales con una baja tasa de reabsorción, como los xenoinjertos, parecen tener buenos resultados.(153) Por otro lado, la colocación de una membrana de colágeno no parece influir en los resultados.(157) Una forma de evaluar el resultado del tratamiento es mediante el denominado relleno radiográfico. Si se observa una radioopacidad en la zona del defecto, podría indicar que el xenoinjerto está limitando la extensión de la bolsa periimplantaria.(153)

En el ensayo clínico de Isler y colaboradores se observaron mejoras significativas de la profundidad de sondaje, nivel de inserción clínico, recesión y índice gingival 12 meses tras el tratamiento regenerativo.(158) En cuanto a la comparación entre grupos, el uso de xenoinjerto más la colocación de una membrana de colágeno ofreció mejores resultados en comparación con una membrana a base de concentrados de factores de crecimiento.(158)

Otro estudio de cohortes mostró los buenos resultados a los 3 años del uso de un xenoinjerto con doxiciclina y células derivadas de la matriz del esmalte.(159) Hubo reducciones significativas de la profundidad de sondaje (8.9 ± 1.9mm vs. 3.50 ± 0.50 mm) y una mejoría en el nivel de la cresta ósea (6.92 ± 1.26mm vs. 2.60 ± 0.73mm).(159) Utilizar biomateriales comporta un lógico aumento del coste del tratamiento, por lo que es preciso seleccionar los casos, analizando debidamente el pronóstico de los implantes.

Figura 11: Caso clínico de abordaje regenerativo en el tratamiento de la periimplantitis. Utilización de xenoinjerto de origen bovino.



Imágenes cedidas por el Máster de Cirugía Bucal e Implantología Bucofacial de la Universitat de Barcelona.

Por último, la cirugía combinada se utiliza en los implantes con defectos mixtos: intraóseos (tipo I) y supraóseos (tipo II).(145) Como su nombre indica, combina la técnica resectiva para tratar la parte del defecto supraósea y la técnica regenerativa para la parte del defecto intraóseo.(160) Al igual que en la técnica regenerativa, la utilización de xenoinjertos en la

componente favorable del defecto parece ofrecer buenos resultados. Por otro lado, en la parte no contenida del defecto (supracrestal), la terapia resectiva se suele acompañar de implantoplastia para reducir la adhesión bacteriana.(160) Dicha implantoplastia se suele llevar a cabo en la parte vestibular y crestal del implante con defecto supraóseo.(160) Un estudio que comparó 2 métodos de descontaminación (láser Er:YAG vs. curetas de plástico más suero salino) observó remarcables reducciones del sangrado al sondaje (89.99 ± 11.65% vs. 86.66 ± 18.26%) y ganancia en el nivel de inserción clínica (2.76 ± 1.92mm vs. 2.06 ± 2.52mm) en ambos grupos tras 7 años de seguimiento.(160) Estudios del mismo grupo de investigación han mostrado que se puede realizar un injerto de tejido conectivo en el mismo acto quirúrgico, con buenos resultados a los 6 meses.(161)

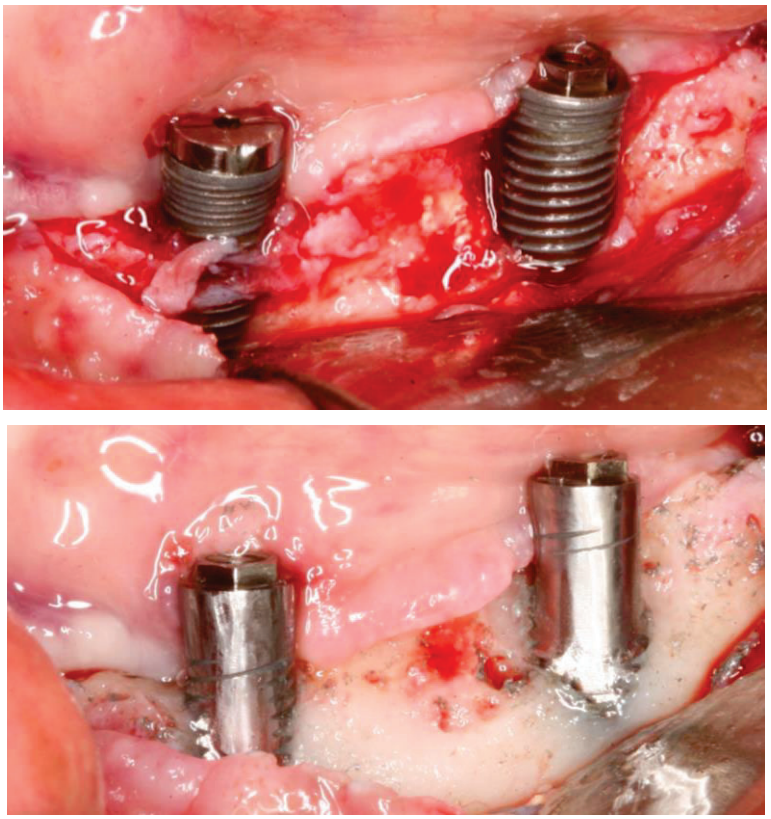
Finalmente, es imprescindible realizar un mantenimiento en todos los casos de patología periimplantaria. Según el estudio de Costa y colaboradores, los pacientes que no acuden a las visitas de mantenimiento tienen un riesgo 25% superior de tener periimplantitis.(162) Por esta razón, es de vital importancia que los pacientes entiendan que el tratamiento no finaliza en el momento de la colocación de la prótesis implantosoportada. Es preciso remarcar la importancia de las visitas de mantenimiento para evitar futuras complicaciones.

3.6 IMPLANTOPLASTIA

La implantoplastia es la técnica quirúrgica periimplantaria que consiste en pulir y alisar la superficie rugosa de un implante que queda expuesta tras una intervención quirúrgica con enfoque resectivo (Figura 12) o combinado (Figura 13).(150,160) Los objetivos de la implantoplastia son retirar el biofilm existente en la superficie del implante y conseguir una superficie lisa y pulida para facilitar la limpieza y reducir la adhesión bacteriana. Para esto, se

deben eliminar las espiras de los implantes y convertir la superficie rugosa en una superficie pulida.

Figura 12: Caso clínico de abordaje resectivo con implantoplastia en el tratamiento de la periimplantitis.



Imágenes cedidas por el Máster de Cirugía Bucal e Implantología Bucofacial de la Universitat de Barcelona.

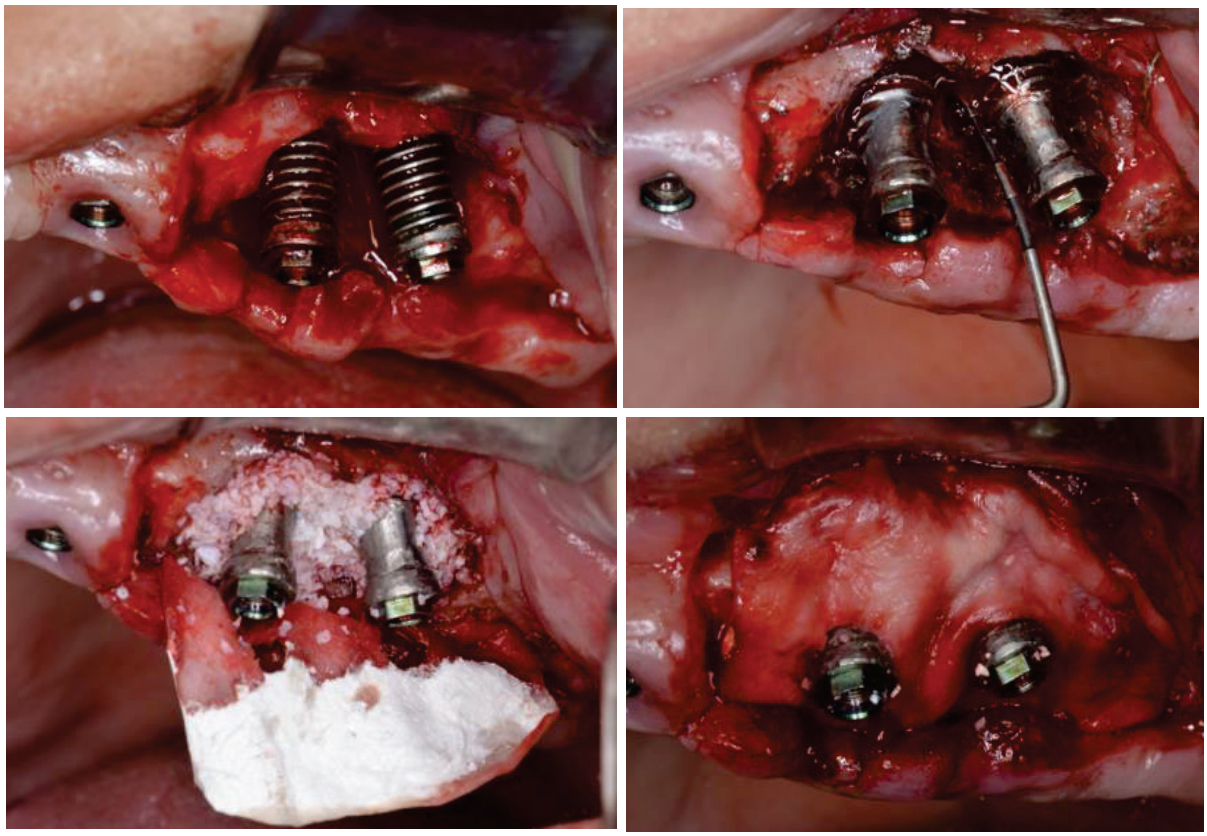
En la revisión de Lang y colaboradores del año 2000 (163) se puede leer que "ocasionalmente, el clínico puede encontrar apropiado alisar y pulir la parte supra-alveolar de la superficie del implante". No obstante, no se cita ningún protocolo concreto ni tampoco resultados del tratamiento. En el mismo año, Rimondini y colaboradores (164) realizaron el primer estudio *in vitro* de la implantoplastia. Compararon hasta 15 protocolos diferentes de fresado y

evaluaron la superficie con análisis del perfil de rugosidad y microscopía electrónica de barrido (SEM). Se obtuvieron superficies más lisas con la retirada de la primera capa de plasma de titanio pulverizado.(164) Tras estos estudios, se publicaron varios casos clínicos de pacientes sometidos a implantoplastia. (165)

No obstante, no fue hasta que se publicó el ensayo clínico de Romeo y colaboradores (150,166) que la técnica se popularizó. Se compararon casos intervenidos mediante cirugía resectiva periimplantaria con y sin implantoplastia. La supervivencia a los 3 años fue significativamente mayor en el grupo de implantoplastia que en el grupo control. Además, los implantes del grupo control obtuvieron unos peores resultados clínicos en cuanto a profundidad de sondaje e índice de sangrado. Según el mismo estudio, los niveles óseos eran estables tras la implantoplastia, mientras que los implantes del grupo control mostraron una progresión de la pérdida ósea.

Actualmente, el uso de la implantoplastia está extendido en casos de cirugía periimplantaria resectiva, así como en el abordaje combinado.(167) Por ahora, no existen ensayos clínicos que evalúen específicamente el impacto de la implantoplastia. No obstante, se han publicado algunos estudios sobre la utilización de esta técnica.(168,169) Por ejemplo, Schwarz y colaboradores han obtenido buenos resultados tras 7 años de seguimiento en las cirugías combinadas con el uso de implantoplastia junto a otros métodos de descontaminación. (160)

Figura 13: Caso clínico de abordaje combinado en el tratamiento de la periimplantitis. Utilización de xenoinjerto de origen bovino y membrana de colágeno de origen porcino.



Imágenes cedidas por el Máster de Cirugía Bucal e Implantología Bucofacial de la Universitat de Barcelona.

Actualmente existen varios protocolos para realizar implantoplastias. Generalmente, se suelen utilizar fresas de diamante o de carburo de tungsteno multilaminadas como primer paso. A continuación, se puede realizar el pulido con copas de silicona con las denominadas Brownie® y Greenie® (Komet Dental®,Lemgo, Alemania) o con fresas de piedra de Arkansas. Ramel y colaboradores(170) compararon diferentes protocolos con fresas diamantadas y de pulido y observaron que los mejores resultados se obtuvieron con una combinación de 3 fresas diamantadas de grano 106 µm, 40 µm y 15 µm, seguidas de una fresa de Arkansas o de copas de silicona Brownie® y Greenie® (Komet Dental®,Lemgo, Alemania). (170) Por otro lado,

el estudio de Costa-Berenguer y colaboradores (171) utilizó una secuencia de 3 fresas: 1 de carburo de tungsteno multilaminada y 2 copas de silicona para pulido y consiguió una rugosidad muy similar a una superficie pulida mecanizada con un valor de Sa de 0.1 ± 0.02 μm.

La implantoplastia parece aportar ciertas ventajas, como la reducción de la adhesión bacteriana y una eliminación más sencilla del biofilm por parte del paciente.(172) A su vez, parece ser más efectiva para descontaminar la superficie del implante en comparación con el uso de curetas.(173)

No obstante, la implantoplastia tiene ciertas desventajas. Cabe destacar que se trata de un tratamiento con una cierta complejidad quirúrgica. En estudios *in vitro* con condiciones ideales de visibilidad y acceso, un operador experimentado suele tardar aproximadamente 10 minutos por implante.(171,174) Además, la posición del implante, la presencia de dientes proximales y la anatomía del defecto también pueden dificultar la visibilidad y el acceso del cirujano, haciendo que el procedimiento sea más largo y menos preciso. A su vez, es importante evitar dañar la conexión del implante para no perder retención de la corona protésica y comprometer el sellado biológico.

La implantoplastia produce una reducción del diámetro del implante, lo que podría disminuir su resistencia a la fractura.(175) Estudios biomecánicos concluyen que este procedimiento puede estar indicado en implantes de diámetro ancho o estándar, pero debería excluirse de los implantes estrechos.(175) Contrariamente, otro estudio demostró que la reducción del grosor es mínima y la fuerza de resistencia máxima es similar a la del implante original.(171) El tipo de conexión del implante podría influir en el riesgo de fractura tras la implantoplastia.

En concreto, los implantes de conexión cónica parecen tener cierta ventaja en comparación con las conexiones externas e internas.(176)

Para realizar la implantoplastia se suelen emplear instrumentos rotatorios a alta velocidad y fresas de tungsteno o diamantadas, lo que puede producir un aumento de la temperatura del implante y del hueso periimplantario.(177) No obstante, según una revisión reciente de Stavropoulos y colaboradores, estos cambios de temperatura parecen no tener consecuencias negativas. (178) En la misma revisión citada, se concluye que la implantoplastia no se relaciona con ninguna complicación remarcable, tanto a nivel mecánico como biológico, al menos, a corto y medio plazo.(178) Los estudios clínicos revisados presentaron resultados positivos y no se encontraron fracturas de implantes tras la implantoplastia durante el período de seguimiento de 3-126 meses.(178) Sin embargo, los autores también remarcan la necesidad de comprobar estos hallazgos con estudios clínicos con un bajo riesgo de sesgo y con un seguimiento a largo plazo.

Estudios recientes han valorado las posibles consecuencias del desprendimiento de partículas que produce la implantoplastia. Estas micro y nanopartículas de distintos elementos (titanio, aluminio y vanadio) provienen de los implantes y de los instrumentos de pulido, pueden encontrarse en los tejidos periimplantarios y podrían producir una reacción inflamatoria a cuerpo extraño.(179–181)

3.7 JUSTIFICACIÓN

La literatura científica sobre la implantoplastia es muy escasa y se basa sobre todo en estudios *in vitro*. Además, existen múltiples aspectos que aún generan muchas dudas. Por un lado, no existe un consenso sobre el protocolo de fresado idóneo para obtener una superficie pulida.

Los diversos estudios publicados al respecto no han demostrado una superioridad clara de un material de fresa de corte (diamante o carburo de tungsteno) ni de pulido (piedra de Arkansas o silicona). A su vez, tampoco existe un consenso en torno a los efectos que pueda tener la implantoplastia sobre la superficie del implante. Es fundamental que ésta conserve su biocompatibilidad tras la implantoplastia para poder conseguir una estabilidad en los tejidos periimplantarios. Asimismo, la colonización bacteriana y la formación de un nuevo biofilm tras la implantoplastia también deben ser estudiadas y comparadas con una superficie rugosa estándar o tratada con otros métodos de descontaminación. Otro aspecto para tener en cuenta es que la mayoría de la información disponible proviene de estudios que se realizan en condiciones ideales, con buen acceso y visibilidad para realizar la implantoplastia. Incluso, en algunos estudios, el procedimiento es llevado a cabo de forma estandarizada por una máquina. Tal y como se ha comentado anteriormente, la implantoplastia es un procedimiento complejo y existen múltiples variables (posición del implante, presencia de dientes proximales, profundidad del defecto, entre otros) que pueden afectar significativamente al resultado final del procedimiento. Por esta razón, es necesario recrear situaciones clínicas reales, con el fin de verificar qué nivel de rugosidad/pulido se pueden alcanzar en los pacientes. Por otro lado, ningún estudio ha comprobado si la implantoplastia produce deformaciones en la plataforma de los implantes. Estas deformaciones podrían tener un impacto clínico muy relevante pues un desajuste entre la plataforma del implante y el aditamento protésico podría incrementar significativamente la incidencia de complicaciones mecánicas (por pérdida de la capacidad de retención) y biológicas (por pérdida del sellado biológico).

3.8 REVISIÓN SISTEMÁTICA

INFLUENCIA DE LA IMPLANTOPLASTIA EN LA RUGOSIDAD DE LA SUPERFICIE, LA FORMACIÓN DEL BIOFILM Y LA BIOCOMPATIBILIDAD DE LOS IMPLANTES DE TITANIO: REVISIÓN SISTEMÁTICA.

Autores: Burgueño-Barris G, Camps-Font O, Figueiredo R, Valmaseda-Castellón E.

Título original: The influence of implantoplasty on surface roughness, biofilm formation, and biocompatibility of titanium implants: A systematic review.

Revista: International Journal of Oral and Maxillofacial Implants.

Factor de impacto 2021: 2.912

Posición JCR (Dentistry, Oral Surgery and Medicine) 2021: 44/92 (2º cuartil)

Referencia completa: Burgueño-Barris G, Camps-Font O, Figueiredo R, Valmaseda-Castellón E. The influence of implantoplasty on surface roughness, biofilm formation, and biocompatibility of titanium implants: A systematic review. Int J Oral Maxillofac Implants. 2021;36(5):111–9.

DOI: 10.11607/jomi.8785

El objetivo principal de la revisión sistemática fue determinar la rugosidad de la superficie implantaría tras la implantoplastia. Los objetivos secundarios fueron reportar el crecimiento de biofilm y la biocompatibilidad de la superficie tras la implantoplastia.

3.8.1 Material y método

La revisión siguió los criterios de la guía PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) y fue registrada en la International Database of Prospectively Registered Systematic Reviews in Health and Social Care (PROSPERO) con el número CRD42020162347.(182)

Se aplicaron los siguientes criterios de inclusión: estudios clínicos o preclínicos que analizaron la implantoplastia como parte del tratamiento de la periimplantitis. Además, se incluyeron estudios *in vitro* que investigasen las propiedades de la superficie de los implantes tras la implantoplastia.

Las variables respuesta principal fueron:

- Rugosidad de la superficie, definida según parámetros de rugosidad en dos y tres dimensiones:
    - 2 dimensiones:
        - Ra: media aritmética de los valores absolutos de las coordenadas de los puntos del perfil de rugosidad.
        - Rz: media aritmética de las diferencias entre los cinco puntos más altos y más bajos del perfil de rugosidad.
    - 3 dimensiones:
        - Sa: media aritmética de la altura.

- Sz: promedio de la altura máxima.

Las variables respuesta secundaria fueron:

- Biocompatibilidad, determinada a través de estudios de viabilidad celular (cuantificación del metabolito trifosfato de adenosina y/o la actividad de la fosfatasa alcalina).
- Composición química de la superficie del implante determinada a través de los porcentajes de elementos químicos dentro de la superficie del implante medidos con espectroscopia de rayos X usando energía dispersiva.
- Retirada del biofilm, medida mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) para evaluar el biofilm remanente (porcentaje de la superfície recubierta y espesor del biofilm).
- Formación del biofilm tras implantoplastia medido con SEM o espectofotometría para determinar el espesor del biofilm.

Se realizó una búsqueda electrónica en las bases de datos de PubMed (OVID), Scopus, Web of Science y en The Cochrane Library (Wiley) hasta el 15 de abril de 2020 para identificar todos los estudios sin restricción del año de publicación. Solo se revisaron artículos en inglés. Se emplearon los siguientes términos de búsqueda: implantoplasty OR ((peri-implant OR periimplant) AND "implant surface modification" OR "implant surface debridement"). La búsqueda fue completada con un cribado manual a través de las referencias citadas en artículos seleccionados y revisiones previas.

Dos examinadores (G.B.B. y O.C.F.) seleccionaron y analizaron de forma independiente los estudios empleando los criterios de selección. Los casos de discrepancia se resolvieron mediante consenso. Tras descartar los estudios duplicados, se eliminaron los artículos

irrelevantes tras el análisis del título y resumen y, posteriormente, se procedió a la lectura completa de los restantes artículos. En los casos en que la información era incompleta o poco clara, se contactaron los autores.

3.8.2 Resultados

La búsqueda electrónica inicial obtuvo 226 estudios, y se encontró un estudio tras la búsqueda manual. Tras la eliminación de los duplicados y el descarte de artículos según su título y/o resumen, 14 artículos fueron seleccionados para análisis completo. Finalmente, se incluyeron 13 artículos en la revisión final (Figura 14).(164,170,187–189,171–174,183–186)

Once de estas publicaciones eran estudios *in vitro* (164,170,188,171,173,174,183–187) y los 2 restantes eran estudios *in vivo* de implantes dentales retirados a pacientes (172,189).

Los datos se pueden observar en 3 tablas: análisis de rugosidad de superficie (Tabla 1), formación de biofilm (Tabla 2) y análisis de biocompatibilidad (Tabla 3). Los datos de un artículo no se pudieron extraer de la publicación y los autores no contestaron a los correos electrónicos enviados en 2 ocasiones.(184)

Todos los protocolos de la implantoplastia redujeron la rugosidad de la superficie de los implantes (164,169–171,173) excepto en un estudio(183) (Tabla 1).No obstante, la rugosidad fue superior a la de las superficies mecanizadas.(164,170,188) Dentro de los estudios *in vitro*, la superficie más lisa se obtuvo con una fresa de carburo de tungsteno seguida de dos pulidores de silicona denominados Brownie® y Greenie® (Komet Dental®,Lemgo, Alemania).(171,188)

La implantoplastia presentó un efecto anti-biofilm y pareció reducir la recolonización de la superficie del implante (Tabla 2).(172,173,189) Por otro lado, la evidencia no fue concluyente

cuando se comparó la capacidad de desinfección de la implantoplastia con otros métodos. Si bien Chaar y colaboradores (189) observaron que la implantoplastia es el único método que puede conseguir la eliminación completa del biofilm, otro estudio *in vitro* registró resultados similares al comparar la implantoplastia, el cepillo de titanio Ti Brush® (Straumann®, Basilea, Suiza) y los sistemas de aire-polvo abrasivo.(173)

La implantoplastia no parece afectar a la viabilidad celular (Tabla 3).(186,187) Se realizaron cultivos en superficies con implantoplastia y se observó que los fibroblastos gingivales tenían actividad del trifosfato de adenosina y que los osteoblastos mantenían la actividad de la fosfatasa alcalina.(186,187) Además, las superficies más pulidas (con valores reducidos de Sa) parecen promover el crecimiento de fibroblastos gingivales humanos y reducir los niveles de citoquinas.(188) Es importante remarcar que las superficies de los implantes tras implantoplastia tienen diferentes proporciones de elementos químicos en comparación con las superficies mecanizadas (titanio, aluminio o nitrógeno) o de las superficies moderadamentes rugosas (titanio, oxígeno, carbono, aluminio o sodio).(186,187)

Figura 14: Diagrama de flujo según la guía PRISMA (182).

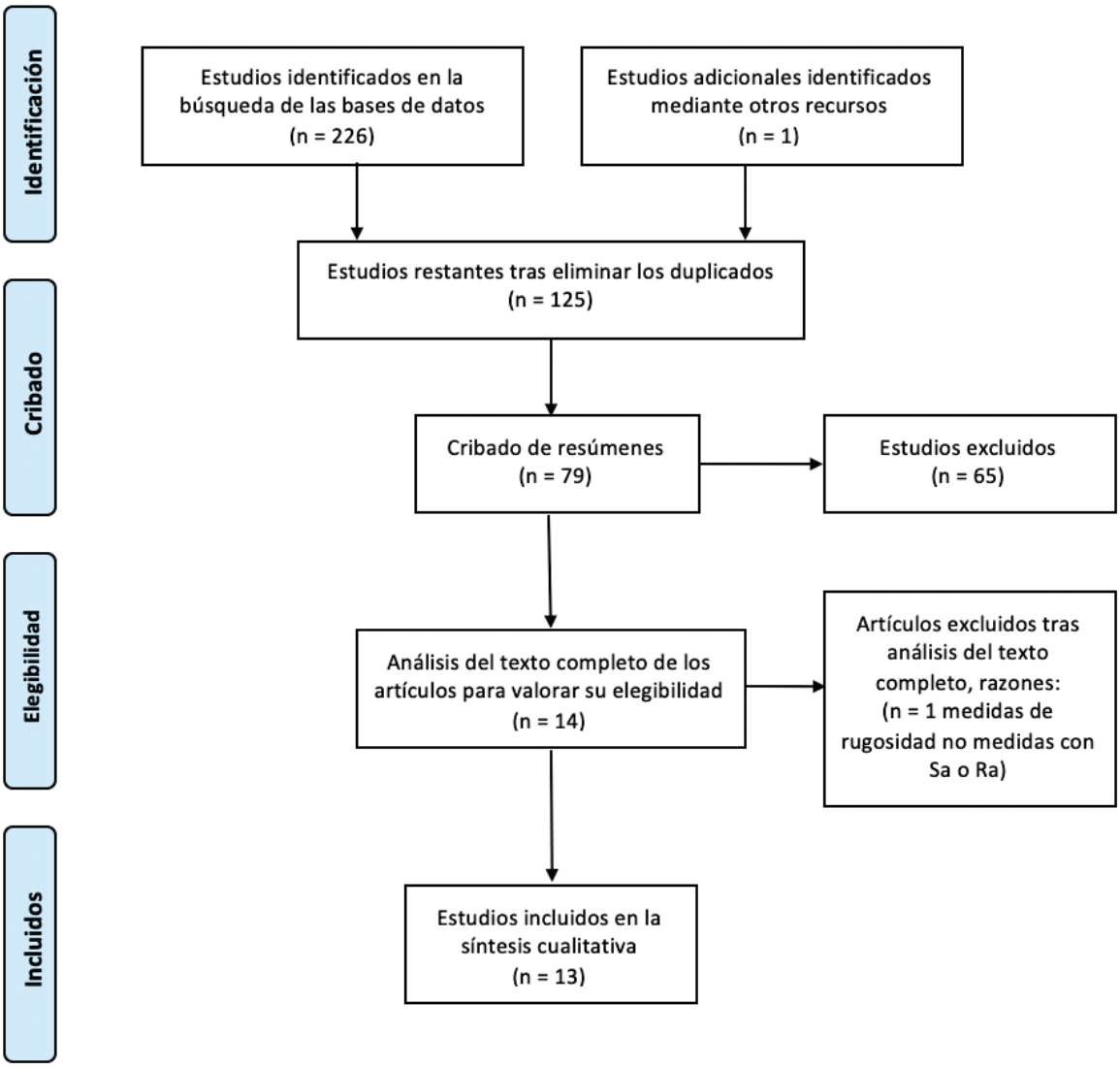


Tabla 1: Análisis de la rugosidad de superficie tras implantoplastia.

Estudios (Año)	Tipo de estudio	Muestra	Protocolo de la implantoplastia y grupos de estudio	Rugosidad de superficie	Conclusiones
Beheshti Maal y cols. (2020)(188)	*In vitro*	48 discos de titanio grado IV. 36 discos test con superficie rugosa mediante anodización catódica. 6 controles con superficie arenada y grabada con ácido. 6 controles con superficie pulida.	G1: 3 fresas de diamante: 105 µm, 40 µm, 8 µm G2: 3 fresas de diamante: 105 µm, 40 µm, 8 µm + piedra de Arkansas G3: fresas de diamante: 105 µm, 40 µm, 8 µm + 2 pulidores de silicona: Brownie® y Greenie® G4: Fresa de carburo de tungsteno G5: Fresa de carburo de tungsteno + piedra de Arkansas G6: Fresa de carburo de tungsteno + 2 pulidores de silicona: Brownie® y Greenie® CR: control superficie rugosa CP: control superficie pulida	Sa: CP: 0.05 ± 0.02 µm CR: 1.74 ± 0.15 µm G1: 1.74 ± 0.62 µm G2: 0.69 ± 0.48 µm G3: 0.42 ± 0.09 µm G4: 0.74 ± 0.28 µm G5: 0.54 ± 0.07 µm G6: 0.41 ± 0.13 µm Sz: CP: 2.37 ± 1.92 µm CR: 17.92 ± 1.34 µm G1: 14.98 ± 3.46 µm G2: 7.06 ± 3.26 µm G3: 6.73 ± 2.38 µm G4: 12.16 ± 6.65 µm G5: 13.96 ± 2.53 µm G6: 6.08 ± 2.78 µm	El uso de fresas de carburo de tungsteno en la implantoplastia consigue mejores resultados que el uso de fresas de diamante. El pulido adicional con pulidores de silicona (Brownie® y Greenie®) consigue mejores resultados que el uso de las piedras de Arkansas.
Costa-Berenguer y cols. (2017)(171)	*In vitro*	20 implantes Implantes con superficie moderadamente rugosa mediante arenado y grabado ácido.	Profesional con experiencia: Fresas de carburo de tungsteno + 2 pulidores de silicona: Brownie® y Greenie® Test: Implantoplastia Control: Superficie moderadamente rugosa	Sa: Test: 0.1 ± 0.02 µm* Control: 0.76 ± 0.08 µm Sz: Test: 3.67 ± 1.28 µm* Control: 10.92 ± 0.94 µm	Buena calidad del pulido de la superficie tras la implantoplastia con fresas de tungsteno y pulidores de silicona.
de Souza Júnior y cols. (2016)(183)	*In vitro*	36 implantes con superficie del implante: grabado ácido dual	Profesional con experiencia mediante instrumentos con control estandarizado de presión. G1: Diamante G2: Tungsteno G3: Multilaminar C: Superficie mecanizada	Ra: G1: 4.12 µm G2: 4.88 µm G3: 5.01 µm C: 1.92 µm*	Rugosidad similar entre grupos, pero menor incremento de temperatura con el uso de las fresas de tungsteno.
Meier y cols. (2012)(184)	*In vitro*	22 implantes Implantes con superficie moderadamente rugosa mediante arenado y grabado ácido.	Profesional con experiencia: 11 grupos: 10 fresas de carburo de tungsteno de diferentes formas 1 fresa de diamante	Datos no disponibles	Mayor pulido con el uso de fresas de tungsteno de forma cónica. Menor pulido con la fresa redonda de tungsteno del número 6. Mejores resultados con fresas sin muescas.

Ramel y cols. (2016)(170)	*In vitro*	42 implantes Implantes con superficie moderadamente rugosa mediante arenado y grabado ácido.	Profesional con experiencia: G1: 3 fresas de diamante: 105 µm, 40 µm, 15 µm + 2 pulidores de silicona Brownie® y Greenie® G2: 3 fresas de diamante: 105 µm, 40 µm, 15 µm + piedra de Arkansas G3: 3 fresas de diamante: 105 µm, 40 µm, 4 µm G4: 3 fresas de diamante: 105 µm, 40 µm, 4 µm + 1 pulidor de silicona: Greenie® G5: 5 fresas de diamante: 105 µm, 40 µm, 15 µm, 8 µm, 4 µm G6: 5 fresas de diamante: 105 µm, 40 µm, 15 µm, 8 µm, 4 µm + 1 pulidor de silicona: Greenie® CP: Control pulido CR: Control superficie moderadamente rugosa	Ra: G1: 0.32 ± 0.14 µm G2: 0.39 ± 0.13 µm G3: 0.71 ± 0.22 µm G4: 0.59 ± 0.19 µm G5: 0.98 ± 0.30 µm G6: 0.75 ± 0.26 µm CP: 0.1 ± 0.01 µm CR: 1.94 ± 0.47 µm Rz: G1: 2.31 ± 0.95 µm G2: 3.19 ± 1.17 µm G3: 5.39 ± 1.84 µm G4: 4.35 ± 1.37 µm G5: 6.86 ± 2.20 µm G6: 5.21 ± 1.77 µm CP: 0.81 ± 0.19 µm CR: 13.15 ± 3.09 µm	El uso de 3 fresas de diamante junto a la piedra de Arkansas es una buena opción debido al tiempo invertido y al pulido conseguido. El uso de 3 fresas de diamante junto a 2 pulidores de silicona obtuvo las superficies más pulidas.
Rimondini y cols. (2000)(164)	*In vitro*	22 implantes con superficie recubierta de plasma. 2 cilindros de titanio mecanizado como control.	G1: Fresa de carburo número 6 cónica G2: Fresa de carburo número 6 de corte transversal larga G3: Fresa de carburo número 6 de corte transversal fina G4: Fresa de carburo número 8 de hoja G5: Fresa de carburo número 16 de hoja G6: Fresa de carburo número 30 de hoja G7: Fresa de diamante de 30 µm G8: Fresa de diamante de 15 µm G9: Fresa de diamante de 8 µm G10: 2 fresas de carburo número 8 y 16 de hoja G11: 3 fresas de carburo número 8, 16 y 30 de hoja G12: 2 fresas de carburo número 16 y 30 de hoja	Ra: G1: 1.18 ± 0.39 µm G2: 0.90 ± 0.19 µm G3: 1.10 ± 0.53 µm G4: 0.93 ± 0.52 µm G5: 1.26 ± 0.42 µm G6: 1.03 ± 0.29 µm G7: 1.02 ± 0.15 µm G8: 1.00 ± 0.19 µm G9: 1.11 ± 0.29 µm G10: 1.16 ± 0.26 µm G11: 1.34 ± 0.59 µm G12: 1.37 ± 0.48 µm G13: 1.04 ± 0.14 µm G14: 1.21 ± 0.40 µm G15: 1.60 ± 0.41 µm CP: 0.60 ± 0.20 µm CR: 3.20 ± 0.37 µm Rz: G1: 6.01 ± 1.69 µm G2: 4.48 ± 0.89 µm G3: 4.99 ± 1.60 µm	Todas las superficies tratadas producen superficies más pulidas que las originales de titanio recubierta de plasma. El tratamiento más efectivo es el uso de 2 fresas de diamante de grano de 30 µm y 15 µm.

			G13: 2 fresas de diamante de 30 µm y 15 µm G14: 3 fresas de diamante de 30 µm, 15 µm y 8 µm G15: 2 fresas de diamante de 15 µm y 8 µm CP: Control pulido CR: Control rugoso	G4: 3.34 ± 2.07 µm G5: 4.64 ± 1.35 µm G6: 3.99 ± 1.00 µm G7: 5.21 ± 0.69 µm G8: 4.46 ± 0.91 µm G9: 4.43 ± 1.28 µm G10: 4.04 ± 0.83 µm G11: 4.12 ± 1.32 µm G12: 4.33 ± 1.28 µm G13: 4.86 ± 0.57 µm G14: 5.84 ± 1.17 µm G15: 7.65 ± 2.04 µm CP: 2.97 ± 1.11 µm CR: 16.25 ± 1.40 µm	
Sahrmann y cols. (2019)(174)	*In vitro*	30 implantes colocados en fantomas simulando la cabeza de un paciente.	Profesional con experiencia: G1: 2 fresas de diamante de 106 µm, 40 µm + piedra de Arkansas G2: Piedra de silicato de carburo + piedra de Arkansas + 2 pulidores de silicona (Brownie® y Greenie®)	Ra: G1: 0.76 ± 0.14 µm G2: 0.38 ± 0.15 µm* Rz: G1: 4.12 ± 0.72 µm G2: 1.87 ± 0.69 µm*	El uso de la piedra de silicato de carburo + Arkansas + 2 pulidores de silicona parecen una combinación mejor que el uso de 3 fresas de diamante y piedra de Arkansas.
Tawse-Smith y cols. (2016)(185)	*In vitro*	40 discos de titanio (20 con superficie mecanizada y 20 con superficie rugosa).	Implantoplastia hecha a medida mediante aparatología. Fresas de diamante de grano regular Fresas de diamante de grano fino Pulidores de silicona: Brownie® y Greenie®: G1: superficie mecanizada G2: superficie moderadamente rugosa	G1: Disco mecanizado Antes implantoplastia: 4.00 ± 0.52 µm Después implantoplastia: 3.09 ± 0.29 µm G2: Disco moderadamente rugoso Antes implantoplastia 4.50 ± 0.4 µm Después implantoplastia: 2.02 ± 0.73 µm	Este protocolo de fresado para implantoplastia no ha alcanzado los resultados de pulido esperado ya que la reducción se produjo en ambos grupos.

Toma y cols. (2018)(173)	*In vitro*	250 discos de titanio moderadamente rugosos colonizados con *S.gordonii.*	Profesional con experiencia: G1: Cureta de plástico G2: Sistema de aire abrasivo a presión G3: Ti Brush G4: Implantoplastia mediante fresa de diamante C: Control superficie moderadamente rugosa	Ra: G1: 1.61 ± 0.17 µm G2: 1.31 ± 0.14 µm G3: 1.22 ± 0.31 µm G4: 0.98 ± 0.12 µm* C: 1.65+-0.107 µm Rz: G1: 9.98 ± 0.24 µm G2: 9.22 ± 0.27 µm G3: 8.76 ± 0.15 µm G4: 7.26 ± 0.022 µm* C: 9.79 ± 0.34 µm	La implantoplastia produce la superficie más pulida en comparación con los otros tratamientos.

*Diferencias estadísticamente significativas. C: Grupo control. CP: Grupo control de superficie pulida. CR: grupo control superficie rugosa. G: Grupo. Brownie® y Greenie® (Komet Dental®, Lemgo, Alemania). Ti Brush® (Straumann®, Basilea, Suiza)

Tabla 2: Análisis de la retirada del biofilm y recolonización tras la implantoplastia.

Estudios (Año)	Tipo de estudio	Muestra	Protocolo de la implantoplastia y grupos de estudio	Eliminación del biofilm	Recolonización del biofilm
El Chaar y cols. (2020)(189)	*In vivo*	7 implantes con periimplantitis explantados. Superficie moderadamente rugosa y contaminada.	G1: Suero salino G2: Peróxido de hidrógeno al 3% G3: Gel de ácido fosfórico al 35% G4: Gluconato de chlorhexidina al 0.12% G5: Ácido cítrico al 40% G6: Abrasión mediante spray de partículas G7: Ti Brush® G8: Implantoplastia (fresa de diamante + fresa de carburo) G9: Láser Er: YAG	Estudiada mediante microscopía electrónica de barrida (SEM) G1: Sin remoción G2: Sin remoción G3: Sin remoción G4: Sin remoción G5: Sin remoción G6: Remoción incompleta G7: Remoción incompleta G8: Remoción completa G9: Remoción incompleta	-
Geremias y cols. (2017)(172)	*In vivo*	3 implantes con periimplantitis explantados 4 meses tras tratamiento periimplantario (desbridamento a colgajo abierto; desbridamento a colgajo abierto + descontaminación química; implantoplastia. Implantes con superficie moderadamente rugosa mediante arenado y grabado ácido contaminada)	Profesional con experiencia: G1: desbridamiento mecánico (curetas de plástico) G2: desbridamiento mecánico + descontaminación química (ácido cítrico) G3: Implantoplastia: Fresas de diamante y piedra de Arkansas	-	Crecimiento de *S. mutans* Espectrofotometría y SEM G1: 0.21 mm* G2: 0.16 mm G3: 0.15 mm
Toma y cols. (2018)(173)	*In vitro*	250 discos de titanio moderadamente rugosos colonizados con *S.gordonii* Estudio mediante microscopía electrónica de barrido.	Profesional con experiencia: G1: Cureta de plástico G2: Sistema de aire-polvo abrasivo G3: Ti Brush G4: Implantoplastia mediante fresa de diamante	Sin diferencias significativas control vs. curetas de plástico. Diferencias significativas control-curetas de plástico vs. Sistema de aire-polvo abrasivo-Ti Brush-Implantoplastia	Sin diferencias significativas control vs. curetas de plástico. Diferencias significativas control-curetas de plástico vs. Sistema de aire-polvo abrasivo-Ti Brush-Implantoplastia.

*Diferencia estadísticamente significativa, G = Grupo, SEM = Scanning electron microscopy (microscopía electrónica de barrido). Ti Brush® (Straumann®, Basilea, Suiza)

Tabla 3: Análisis de la biocompatibilidad tras la implantoplastia.

Estudios (Año)	Tipo de estudio	Muestra	Protocolo de la implantoplastia y grupos de estudio	Biocompatibilidad: viabilidad celular	Composición química de la superficie del implante
Behesti Maal y cols. (2020)(188)	*In vitro*	48 discos de titanio grado IV. 36 discos tests con superficie rugosa mediante anodización catódica. 6 controles con superficie arenada y grabada con ácido (CR). 6 controles con superficie pulida (CP).	G1: 3 fresas de diamante: 105 µm, 40 µm, 8 µm G2: 3 fresas de diamante: 105 µm, 40 µm, 8 µm + piedra de Arkansas G3: fresas de diamante: 105 µm, 40 µm, 8 µm + 2 pulidores de silicona: Brownie® y Greenie® G4: Fresa de carburo de tungsteno G5: Fresa de carburo de tungsteno + piedra de Arkansas G6: Fresa de carburo de tungsteno + 2 pulidores de silicona: Brownie® y Greenie® CR: control superficie rugosa CM: control superficie mecanizada	Se obtuvieron fibroblastos gingivales humanos de donantes. Mayor incremento de los fibroblastos a los 15 y 30 días en todos los grupos en comparación con el grupo control de superficie moderadamente rugosa. Correlación reversa entre el valor Sa y el número de fibroblastos a los días 3, 15 y 30. Menor presencia de citoquinas (VEGF, IL-6, MCP1, MCP3 y IP-10) y fibronectina al día 30 en todos los grupos en comparación con el grupo control de superficie moderadamente rugosa.	-
Schwarz y cols. (2017)(186)	*In vitro*	40 implantes con superficie moderadamente rugosa mediante arenado y grabado ácido.	Profesional con experiencia: Fresas de diamante y piedra de Arkansas	Viabilidad celular ininterrumpida: fibroblastos gingivales con actividad del trifosfato de adenosina a los 6 días de incubación	Implantoplastia vs. superficie mecanizada: porcentajes comparables de C, O, Na, Cl, K y Si pero diferencias en N, Ti y Al Implantoplastia vs. superficie moderadamente rugosa: porcentajes diferentes de C, O, Na, Ti y Al

Toma y cols. (2016)(187)	*In vitro*	40 discos de titanio moderadamente rugosos.	Profesional con experiencia: G1: Cureta de plástico G2: Sistema de aire-polvo abrasivo G3: Ti Brush G4: Implantoplastia: fresa de diamante	Células osteblásticas Saos-2 mantienen la actividad de la fosfatasa alcalina en todos los grupos, sin diferencias entre ellos.	G4: Porcentaje significativamente mayor de Ti y menor de O, C y Al

G = Grupo, CM = Control mecanizado, CR = control rugoso, HGF = fibroblastos gingivales humanos, VEGF = Factor de crecimiento endotelial vascular, IL-6 = interleuquina 6, MCP1 = Proteína quimiotáctica de monocitos 1, MCP3 = Proteína quimiotáctica de monocitos 3, IP-10 = interferón gamma-proteína inducible 10, C = carbono, O = oxígeno, Na = sodio, Cl = cloro, K = potasio, Si = silicio, N = nitrógeno, Ti = titanio, Al = aluminio. Ti Brush® (Straumann®, Basilea, Suiza)

The Influence of Implantoplasty on Surface Roughness, Biofilm Formation, and Biocompatibility of Titanium Implants: A Systematic Review

Genís Burgueño-Barris, DDS[1]/Octavi Camps-Font, DDS[1]/Rui Figueiredo, DDS, MS, PhD[2]/
Eduard Valmaseda-Castellón, DDS, MS, PhD[2]

Purpose: A review was done to evaluate the effect of implantoplasty on surface roughness, biofilm formation, and biocompatibility of dental implants. ***Materials and Methods:*** Electronic searches were done in PubMed (OVID), Scopus, Web of Science, and The Cochrane Library to identify all relevant articles published up to April 2020. All publications evaluating changes in implant surfaces after implantoplasty were included. The primary outcome variable was roughness of the implant surface. The secondary outcome variables were biofilm elimination and regrowth, changes in surface elements, and cell viability. ***Results:*** A total of 11 in vitro studies and two in vivo publications were included. Implantoplasty reduced surface roughness of the implant. The final outcome depended on the bur protocol, with tungsten carbide burs providing the smoothest surfaces, followed by silicone polishers. Implantoplasty did not affect cell viability, and roughness was inversely correlated to human gingival fibroblast growth. The technique also proved effective in removing biofilm and preventing its regrowth. ***Conclusion:*** Implantoplasty reduces the surface roughness of dental implants, which in turn inhibits biofilm formation without affecting the biocompatibility of titanium implants. Since most of the included studies were made in an in vitro setting, further clinical trials are necessary to confirm these outcomes. *Int J Oral Maxillofac Implants 2021;36:e111–e119. doi: 10.11607/jomi.8785*

Keywords: biofilm, implantoplasty, peri-implantitis, surface roughness, systematic review

Peri-implantitis is a chronic disease characterized by peri-implant soft tissue inflammation (bleeding on probing and/or suppuration) in conjunction with progressive peri-implant bone loss.[1] The management of peri-implantitis is complex and usually involves sequential treatment: a first stage of nonsurgical cleaning, followed by a surgical procedure.[2,3] Several surgical techniques have been described. In this regard, clinicians should choose the most appropriate approach, taking into account variables such as bone defect anatomy, esthetics, and the presence or absence of keratinized mucosa.[3–7] Some authors recommend smoothening the supracrestal nonosseointegrated portion of the implant surface in order to reduce biofilm growth.[8,9] This technique, known as implantoplasty (IP), is mainly indicated in resective or in combined surgical approaches.[8–12]

The composition and development of biofilms is influenced by surface properties such as chemical composition, surface free energy, and topography. Accordingly, surface roughness and other physicochemical features render dental implants susceptible to bacterial adhesion and proliferation.[13] After 14 days of exposure to the oral cavity, rough implant surfaces are already recovered by a mature biofilm.[14] These findings seem to justify the need to modify the surface of dental implants once they experience bone loss.

However, some reports have expressed concerns regarding implantoplasty. On one hand, the reduction of the implant diameter could potentially decrease its strength, which might be especially critical in the case of narrow implants[15,16] and internal connections.[17] On the other hand, implantoplasty generates titanium debris, which is difficult to remove from hard and soft tissues, and can induce an inflammatory reaction.[18,19] Last but not least, polishing the implant surface can modify its physicochemical properties and affect cell attachment and therefore biocompatibility.[20]

[1]Master degree program in Oral Surgery and Implantology, Faculty of Medicine and Health Sciences, University of Barcelona, Barcelona, Spain.
[2]Master degree program in Oral Surgery and Implantology, Faculty of Medicine and Health Sciences, University of Barcelona; IDIBELL Institute, Barcelona, Spain.

Correspondence to: Dr Rui Figueiredo, Faculty of Medicine and Health Sciences, University of Barcelona, Campus de Bellvitge, Facultat de Medicina i Ciències de la salut, Despatx de Cirugía e Implantología Bucal, C/ Feixa Llarga s/n; Pavelló Govern, 2ª planta, 08907 - L'Hospitalet de Llobregat, Barcelona, Spain.
Email: ruipfigueiredo@hotmail.com

Submitted June 26, 2020; accepted September 1, 2020.
©2021 by Quintessence Publishing Co Inc.

Many implantoplasty protocols have been described in the literature. The implant threads are usually removed using diamond burs or carbide drills, and the surface is polished using Arkansas stone or silicone polishers to obtain a smooth and shiny surface.[8–12,21–23] There is no universally accepted protocol, however.[21–23]

The present systematic review was carried out to determine the effect of implantoplasty on surface roughness as the primary outcome. The secondary outcomes were biofilm growth and the biocompatibility of titanium dental implants.

MATERIALS AND METHODS

The present systematic review followed the PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) guidelines.[24]

The inclusion criteria were as follows: clinical or preclinical studies using implantoplasty for the treatment of peri-implantitis. In vitro studies assessing the proprieties of the implant surface were also included.

The primary outcome measure was:

- *Surface roughness, defined using roughness parameters:* Ra (mean of the absolute values of the modified roughness profile, based on the central line to a reference route) and Rz (arithmetic mean of the differences between the five highest and five lowest points of a profile within a sample route on the measured surface) or three-dimensional (3D) measurements: Sa (arithmetic mean height) and Sz (average maximum height).

The secondary outcome measures were:

- *Biocompatibility:* Assessed through cell viability assays (quantification of adenosine triphosphate metabolite and/or alkaline phosphatase activity).
- *Chemical composition of the implant surface:* Percentages of chemical elements included in the composition of the implant surface. Measurements were made using energy-dispersive x-ray spectroscopy.
- *Biofilm removal:* Assessed with scanning electron microscopy (SEM) to determine the remaining biofilm (percentage of the surface or biofilm width) on the implant surface.
- *Biofilm regrowth:* Bacterial growth over implant surfaces after implantoplasty. Measurements were made using SEM or spectrophotometry to determine biofilm thickness.

An electronic search was made of the PubMed (OVID), Scopus, Web of Science, and The Cochrane Library (Wiley) databases up until April 15, 2020, without year restrictions. Only articles in English were reviewed. The following search term was applied: implantoplasty OR ((peri-implant OR periimplant) AND "implant surface modification" OR "implant surface decontamination" OR "implant surface debridement"). The search was completed by manual screening of the references cited in the selected papers.

Two examiners (G.B.B. and O.C.F.) independently selected the studies in accordance with the inclusion criteria and extracted all data. Initially, duplicates or irrelevant studies (based on the title) were excluded, and the abstracts were examined. Then, the full texts of all the remaining papers were assessed. Disagreements were solved by consensus. The authors were contacted when necessary for clarification of missing information.

RESULTS

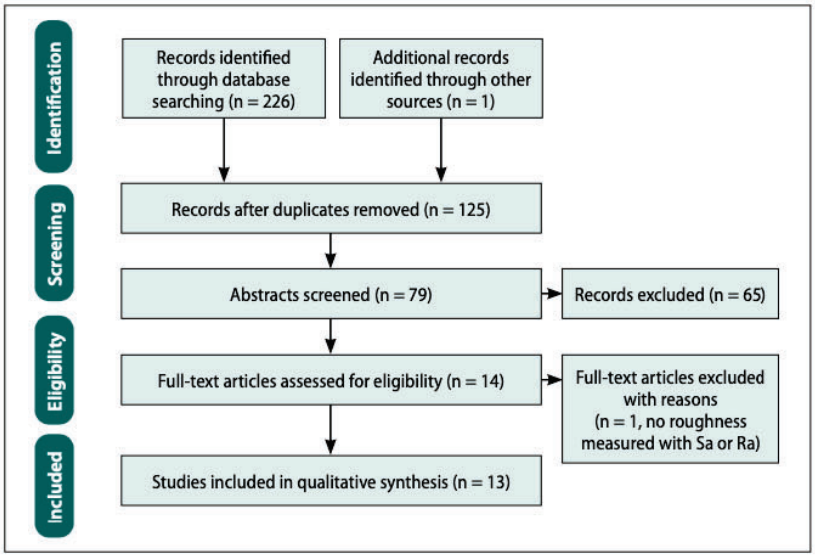
The initial electronic search yielded 226 studies, and one additional paper[25] was included after manual searching through cited references. After duplicate removal and evaluation of both the title and abstract, 14 potential papers were finally assessed for full-text analysis. One of these papers was rejected since the roughness determinations did not include either Sa or Ra measurements.[26] Thus, 13 articles were finally selected for analysis (Fig 1).[21–23,25,27–35]

Eleven of the publications were in vitro studies,[21–23,25,27–33] while the other two were in vivo studies that analyzed biofilm in implants that had been retrieved from humans.[34,35] The data of all the studies were summarized in tables according to the outcome measure: surface roughness assessment (Table 1), biofilm formation (Table 2), and biocompatibility assessment (Table 3). In one study,[28] some data could not be retrieved from the article, and this information was moreover not supplied by the authors (two emails were sent to the corresponding author).

All implantoplasty procedures reduced the surface roughness of the implants,[21,23,25,27,32] except in one study.[22] However, roughness was greater than that of a machined surface.[21,23,25] The smoothest surface in the in vitro studies was obtained using tungsten carbide drills and two different grid silicone polishers (Brownie and Greenie).[23,27]

Implantoplasty did not affect cell viability.[31,33] Gingival fibroblasts exhibited adenosine triphosphate activity, and osteoblasts showed alkaline phosphatase activity on incubated surfaces after implantoplasty.[31,33] Also, smoother surfaces (with lower Sa) enhanced human gingival fibroblast growth and reduced the cytokine levels.[23] Surfaces after implantoplasty had a different proportion of chemical elements in

Fig 1 PRISMA search flowchart.



comparison to machined surfaces (titanium, aluminum, or nitrogen) or moderately rough surfaces (titanium, oxygen, carbon, aluminum, or sodium).[31,33]

Implantoplasty exhibited an anti-biofilm effect and seemed to reduce biofilm regrowth.[32,34,35] On the other hand, the evidence is inconsistent regarding the disinfection efficacy of implantoplasty compared with other treatment strategies. El Chaar et al[35] concluded that implantoplasty was the only therapy to achieve complete biofilm removal. However, another in vitro study found biofilm removal and regrowth to be comparable among implantoplasty, air-powder abrasive systems, and Ti Brush.[32]

DISCUSSION

The aim of the present review was to assess the implant surface properties after implantoplasty, taking into account surface roughness, biofilm formation, and biocompatibility. Based on the findings of the systematic review, it can be assumed that implantoplasty produces a smoother surface in comparison with unmodified moderately rough–surfaced implants.[21,23,25,27,32] Also, implantoplasty appears to reduce biofilm formation and regrowth, without significantly modifying the biocompatibility of the implants.[23,31–35]

The degree of surface roughness directly depends on the implantoplasty protocol used. According to the analyzed papers, tungsten carbide burs followed by two silicone carbide polishers seem to provide the smoothest surfaces.[23,27] Nevertheless, other options, such as the use of three diamond drills (106, 40, and 15 µm) followed by an Arkansas stone, have also exhibited good results.[21,29] The selection of the final burs seems to be a key factor. Indeed, de Souza Júnior et al[22] obtained disappointing results probably because they did not include a final polishing step in their protocol. Comparison between the different polishing options seems to result in the recommended use of two silicone carbide polishers.[21,23,27] However, in most in vitro studies, implantoplasty was performed under ideal conditions. In fact, only one paper used a model (without soft tissues) placed in a phantom head to simulate the clinical scenario.[29] Thus, the in vitro roughness values (Table 1) might prove very difficult to achieve in clinical practice, especially in areas of difficult access or when the restoration cannot be removed. Future studies therefore should focus on improving the external validity of the results.

Exposed dental implant surfaces seem to favor the development of oral biofilms.[14,36] Furthermore, biofilm is attached to the rough surface, so standard decontamination methods used in teeth might fail to remove the microbiota.[35,37] Implantoplasty removed biofilm better than other treatments,[35] and significantly reduced initial biofilm attachment, in comparison with mechanical debridement.[32,34] It is important to stress that the two in vivo studies included in the present review[34,35] used failed dental implants, and this might limit the generalization of the data. On the other hand, two reports[32,34] obtained similar results regarding biofilm elimination and regrowth using implantoplasty and chemical decontamination,[34] Ti Brush,[32] or an air-powder abrasive system.[32] Thus, implantoplasty seems to accomplish its main goal of reducing biofilm formation after surgical

Table 1 Data of Studies That Assessed the Effect of Implantoplasty on Surface Roughness

Studies (year)	Study type	Sample	Implantoplasty protocol and study groups	Surface roughness results	Main outcomes
Beheshti Maal et al (2020)[23]	In vitro	48 titanium-grade IV disks 36 test disks with moderately rough sandblasted and acid-etched surface 6 control sandblasted and acid-etched (CR) 6 control polished (CP)	G1: 3 Diamond burs: 105 µm, 40 µm, 8 µm G2: 3 Diamond burs: 105 µm, 40 µm, 8 µm + Arkansas stone G3: 3 Diamond burs: 105 µm, 40 µm, 8 µm + 2 silicone polishers: Brownie and Greenie G4: 2 Carbide cutting burs G5: 2 Carbide cutting burs + Arkansas stone G6: 2 Carbide cutting burs + 2 silicone polishers: Brownie and Greenie CR: control moderately rough CP: control polished	Sa CP: 0.05 ± 0.02 µm CR: 1.74 ± 0.15 µm G1: 1.74 ± 0.62 µm G2: 0.69 ± 0.48 µm G3: 0.42 ± 0.09 µm G4: 0.74 ± 0.28 µm G5: 0.54 ± 0.07 µm G6: 0.41 ± 0.13 µm Sz CP: 2.37 ± 1.92 µm CR: 17.92 ± 1.34 µm G1: 14.98 ± 3.46 µm G2: 7.06 ± 3.26 µm G3: 6.73 ± 2.38 µm G4: 12.16 ± 6.65 µm G5: 13.96 ± 2.53 µm G6: 6.08 ± 2.78 µm	Carbide cutting burs achieved smoother surfaces than diamond burs. Silicone polishers (Brownie and Greenie) yielded better results than the use of Arkansas stone.
Costa-Berenguer et al (2018)[27]	In vitro	20 implants Implant surface: Moderately rough Sandblasted and acid-etched	Experienced professional: Tungsten carbide burs; silicone carbide polishers: Brownie and Greenie T: Implantoplasty C: Control moderately rough	Sa T: 0.1 ± 0.02 µm* C: 0.76 ± 0.08 µm Sz T: 3.67 ± 1.28 µm* C: 10.92 ± 0.94 µm	A smooth surface can be obtained with tungsten burs and silicone polishers.
de Souza Júnior et al (2016)[22]	In vitro	36 implants Implant surface: Dual acid-etched	Experienced professional with controlled standardized pressure: G1: diamond G2: tungsten G3: multilaminar C: control machined surface	Ra G1: 4.12 µm G2: 4.88 µm G3: 5.01 µm C: 1.92 µm*	All test groups had similar results in terms of surface roughness, but less temperature increase was registered when tungsten burs were used.
Meier et al (2012)[28]	In vitro	22 implants Implant surface: Moderately rough Sandblasted and acid-etched	Experienced professional 11 groups: 10 carbide cutters (different form) 1 diamond bur	No available data	Conical-shaped tungsten burs provided the smoothest surface. The poorest results were obtained using a no. 6 round tungsten bur. Burs without notches yielded better results.
Ramel et al (2016)[21]	In vitro	42 implants Implant surface: Moderately rough Sandblasted and acid-etched	Experienced professional: G1: 3 Diamond burs: 106,40,15 µm + 2 silicone polishers: Brownie and Greenie G2: 3 Diamond burs: 106,40,15 µm + Arkansas G3: 3 Diamond burs: 106,40,4 µm G4: 3 Diamond burs: 106,40,4 µm + 1 silicone polisher: Greenie G5: 5 Diamond burs: 106,40,15, 8,4 µm G6: 5 Diamond burs: 106,40,15, 8,4 µm + 1 silicone polisher: Greenie* CP: control polished CR: control moderately rough	Ra G1: 0.32 ± 0.14 µm G2: 0.39 ± 0.13 µm G3: 0.71 ± 0.22 µm G4: 0.59 ± 0.19 µm G5: 0.98 ± 0.30 µm G6: 0.75 ± 0.26 µm CP: 0.1 ± 0.01 µm CR: 1.94 ± 0.47 µm Rz G1: 2.31 ± 0.95 µm G2: 3.19 ± 1.17 µm G3: 5.39 ± 1.84 µm G4: 4.35 ± 1.37 µm G5: 6.86 ± 2.20 µm G6: 5.21 ± 1.77 µm CP: 0.81 ± 0.19 µm CR: 13.15 ± 3.09 µm	A protocol that included 3 diamond burs and an Arkansas stone showed a good outcome taking into account surface roughness, treatment duration, and final debris. A protocol with 3 diamond burs and 2 silicone polishers yielded the smoothest surface.

*Statistically significant differences. G = group; T = test group; C = control group; CP = control group with machined or polished surface; CR = control group with rough surface.

Table 1 Data of Studies That Assessed the Effect of Implantoplasty on Surface Roughness *(continued)*

Studies (year)	Study type	Sample	Implantoplasty protocol and study groups	Surface roughness results	Main outcomes
Rimondini et al (2000)[25]	In vitro	22 titanium implants plasma-sprayed coated 2 titanium machined cylinders	G1: Carbide 6 tapered round G2: Carbide 6 large transversal cuts G3: Carbide 6 fine transversal cuts G4: Carbide 8 bladed G5: Carbide 16 bladed G6: Carbide 30 bladed G7: Diamond 30 µm G8: Diamond 15 µm G9: Diamond 8 µm G10: Carbide 8+16 bladed G11: Carbide 8+16+30 bladed G12: Carbide 16+30 bladed G13: Diamond 30+15 µm G14: Diamond 30+15+8 µm G15: Diamond 15+8 µm CP: Control polished CR: Control rough	Ra G1: 1.18 ± 0.39 µm G2: 0.90 ± 0.19 µm G3: 1.10 ± 0.53 µm G4: 0.93 ± 0.52 µm G5: 1.26 ± 0.42 µm G6: 1.03 ± 0.29 µm G7: 1.02 ± 0.15 µm G8: 1.00 ± 0.19 µm G9: 1.11 ± 0.29 µm G10: 1.16 ± 0.26 µm G11: 1.34 ± 0.59 µm G12: 1.37 ± 0.48 µm G13: 1.04 ± 0.14 µm G14: 1.21 ± 0.40 µm G15: 1.60 ± 0.41 µm CP: 0.60 ± 0.20 µm CR: 3.20 ± 0.37 µm Rz G1: 6.01 ± 1.69 µm G2: 4.48 ± 0.89 µm G3: 4.99 ± 1.60 µm G4: 3.34 ± 2.07 µm G5: 4.64 ± 1.35 µm G6: 3.99 ± 1.00 µm G7: 5.21 ± 0.69 µm G8: 4.46 ± 0.91 µm G9: 4.43 ± 1.28 µm G10: 4.04 ± 0.83 µm G11: 4.12 ± 1.32 µm G12: 4.33 ± 1.28 µm G13: 4.86 ± 0.57 µm G14: 5.84 ± 1.17 µm G15: 7.65 ± 2.04 µm CP: 2.97 ± 1.11 µm CR: 16.25 ± 1.40 µm	All surface procedures produced smoother surfaces than in the control group (titanium plasma-sprayed surface). The most effective protocol was that using 30 µm plus 15 µm diamond burs.
Sahrmann et al (2019)[29]	In vitro	30 titanium implants placed in phantom head simulators	G1: 3 Diamond burs: 106, 40 µm + Arkansas stone G2: Silicate carbide stone + Arkansas stone + 2 silicone polishers: Brownie and Greenie	Ra G1: 0.76 ± 0.14 µm G2: 0.38 ± 0.15 µm* Rz G1: 4.12 ± 0.72 µm G2: 1.87 ± 0.69 µm*	The use of silicone carbide + Arkansas stones + silicone polishers seemed to be a better option in comparison with the combination of 3 diamond burs and Arkansas stones.
Tawse-Smith et al (2016)[30]	In vitro	40 titanium disks (20 with machined surface and 20 with rough surface)	Implantoplasty experimental design— custom-made device: Diamond regular grit, diamond super-fine grit, and 2 silicone polishers: Brownie and Greenie G1: machined G2: moderately rough	Machined disk (G1): Before implantoplasty: 4.00 ± 0.52 µm After implantoplasty: 3.09 ± 0.29 µm Rough disk (G2): Before implantoplasty: 4.50 ± 0.4 µm After implantoplasty: 2.02 ± 0.73 µm	This implantoplasty protocol did not yield the expected outcome, although surface roughness was reduced in both groups.
Toma et al (2018)[32]	In vitro	250 titanium moderately rough disks colonized with *S gordonii*	Experienced professional: G1: Plastic curette G2: Air powder abrasive system G3: Ti Brush G4: Implantoplasty (diamond bur) C: Control moderately rough	Ra G1: 1.61 ± 0.17 µm G2: 1.31 ± 0.14 µm G3: 1.22 ± 0.31 µm G4: 0.98 ± 0.12 µm* C: 1.65 ± 0.107 µm Rz G1: 9.98 ± 0.24 µm G2: 9.22 ± 0.27 µm G3: 8.76 ± 0.15 µm G4: 7.26 ± 0.022 µm* C: 9.79 ± 0.34 µm	Implantoplasty reduced surface roughness better than the other treatments.

*Statistically significant differences. G = group; T = test group; C = control group; CP = control group with machined or polished surface; CR = control group with rough surface.

Table 2 Studies That Analyzed the Effect of Implantoplasty on Biofilm Formation

Studies (year)	Study type	Sample	Implantoplasty protocol and study groups	Anti-biofilm therapy	Biofilm regrowth	Main outcomes
El Chaar et al (2020)[35]	In vivo	7 removed implants with peri-implantitis Moderately rough surfaces Contaminated surfaces	G1: saline G2: hydrogen peroxide 3% G3: phosphoric acid gel 35% G4: chlorhexidine gluconate 0.12% G5: 40% citric acid G6: airborne-particle abrasion G7: Ti brush G8: implantoplasty (diamond + carbide burs) G9: Er: YAG laser	SEM observational analysis. G1: No removal G2: No removal G3: No removal G4: No removal G5: No removal G6: Partial removal G7: Partial removal G8: Complete removal G9: Partial removal	–	Implantoplasty may be more effective in removing biologic debris from implant surfaces. Chemical agents were unable to remove the biologic debris.
Geremias et al (2017)[34]	In vivo	3 implants with peri-implantitis removed 4 months after surgical peri-implant treatment (open-flap debridement; open-flap debridement + chemical decontamination; and implantoplasty) Moderately rough, sandblasted, and acid-etched contaminated implants	Experienced professional: G1: mechanical debridement (plastic curettes) G2: mechanical debridement + chemical decontamination (citric acid) G3: Implantoplasty: diamond burs and Arkansas stones	–	*S mutans* planktonic growth assessed by spectrophotometry and SEM G1: 0.210 ± 0.031 nm* G2: 0.165 ± 0.006 nm G3: 0.158 ± 0.017 nm	Implantoplasty and chemical decontamination inhibit biofilm regrowth in comparison with mechanical debridement.
Toma et al (2018)[32]	In vitro	250 titanium moderately rough disks colonized with *S gordonii*	Experienced professional: G1: plastic curette G2: Air powder abrasive system G3: Ti Brush G4: Implantoplasty (diamond bur) C: Control moderately rough	No significant differences in control vs plastic curettes. Significant differences in control and plastic curettes vs air-powder abrasive system, Ti Brush and implantoplasty	No significant differences between control and plastic curettes. Significant differences control-G1 vs G2, G3, control and plastic curettes vs air-powder abrasive system, Ti Brush and implantoplasty	Implantoplasty allowed more effective biofilm removal and less regrowth than plastic curettes and the control group. Implantoplasty, air-powder abrasive systems, and Ti Brush seemed to be equally effective.

*Statistically significant differences. G = group; C = control; SEM = scanning electron microscopy.

treatment. It is clear that further studies are needed, since other options, such as air-powder abrasive systems, could have similar efficacy without increasing the risk of mechanical or biologic complications.[32] Another alternative is the use of electrolytic cleaning systems, which seem to eliminate biofilm better than air-powder systems,[38,39] though further research is needed to assess the impact of the use of such cleaning devices.

The effect of grinding and smoothing the implant superficial layer may affect its biocompatibility. Schwarz et al[33] assessed cell viability measuring adenosine triphosphate activity in gingival fibroblasts,[33] while Toma et al[31] assessed alkaline phosphatase activity in osteoblast-like Saos-2 cells.[31] These studies suggest that both fibroblasts and osteoblasts can grow on implant surfaces after implantoplasty. The chemical elemental composition of implants after implantoplasty is also similar to that of machined surfaces.[31,33] Furthermore, smoother surfaces seem to enhance the initial growth of human gingival fibroblasts and reduce the presence of cytokines.[23]

The main limitation of the present review was the lack of clinical articles, since there were only two in vivo studies, with very limited samples and a short follow-up time. A recent review published on the same subject but with a different approach since it was not centered

Table 3 Data of Studies That Assessed the Effect of Implantoplasty on Biocompatibility

Studies (year)	Study type	Sample	Implantoplasty protocol and study groups	Biocompatibility: cell viability	Implant surface chemical composition	Main outcomes
Behesti Maal et al (2020)[23]	In vitro	48 titanium-grade IV disks 36 test disks with rough surface by cathodic anodization 6 control sandblasted and acid-etched (CR) 6 control polished (CP)	G1: 3 Diamond burs: 105 µm, 40 µm, 8 µm G2: 3 Diamond burs: 105 µm, 40 µm, 8 µm + Arkansas stone G3: 3 Diamond burs: 105 µm, 40 µm, 8 µm + 2 silicone polishers: Brownie and Greenie G4: 2 Carbide cutting burs G5: 2 Carbide cutting burs + Arkansas stone G6: 2 Carbide cutting burs + 2 silicone polishers: Brownie and Greenie CR: control moderately rough CP: control polished	Human gingival fibroblasts (HGF) from donors Higher increase in HGF in all tested surfaces in comparison with moderately rough surfaces (at 15 and 30 days) Significantly negative correlation between Sa and number of fibroblasts at days 3, 15, and 30 Less cytokines (VEGF, IL-6, MCP1, MCP3, and IP-10) and fibronectin in surfaces after implantoplasty in comparison with moderately rough surface after 30 days	–	Surface roughness after implantoplasty influenced the initial growth of human gingival fibroblasts and the presence of cytokines. Smoother surfaces enhanced human gingival fibroblast growth and reduced the cytokine levels. Sa values were inversely correlated to human gingival fibroblast growth.
Schwarz et al (2017)[33]	In vitro	40 moderately rough, sandblasted, and acid-etched implants	Experienced professional: Diamond burs and Arkansas stones	Undisturbed cell viability: gingival fibroblasts had adenosine triphosphate activity after 6 days of incubation.	Implantoplasty vs machined comparable percentages of C, O, Na, Cl, K, Si but differences in N, Ti, and Al. Implantoplasty vs moderately rough different percentages of C, O, Na, Ti, and Al	Implantoplasty did not affect cell viability. Chemical elemental composition of implant surface after implantoplasty was comparable to that of machined surfaces.
Toma et al (2016)[31]	In vitro	40 moderately rough titanium disks	Experienced professional: G1: Plastic curette G2: Air-powder abrasive system G3: Ti Brush G4: Implantoplasty: diamond bur	Cell viability: osteoblast-like Saos-2 cells Alkaline phosphatase activity in all groups, with no differences	G4: Significantly higher % of Ti and lower O, C, and Al	Implantoplasty did not seem to affect biocompatibility of the titanium surface.

CP = control polished; CR = control rough; G = group; HGF = human gingival fibroblasts; VEGF = vascular endothelial growth factor; IL-6 = interleukin 6; MCP1 = monocyte chemotactic protein-1; MCP3 = monocyte chemotactic protein-3; IP-10 = interferon gamma-induced protein 10; C = carbon; O = oxygen; Na = sodium; Cl = chlorine; K = potassium; Si = silicon; N = nitrogen; Ti = titanium; Al = aluminum.

on the surface properties of implants after implantoplasty stated that this procedure does not seem to be linked with any significant mechanical or biologic complication.[40] However, implantoplasty has been associated with implant fracture,[15,16] while titanium particles become embedded in the hard and soft peri-implant tissues during surgery.[18,41] These particles are difficult to remove, and there might be a relationship among bio-corrosion, implant particles, and biologic complications.[18] Moreover, two papers have concluded that titanium particles in the surrounding tissues are a common finding in implants with peri-implantitis.[18,41] Thus, it is clear that further clinical research with longer follow-up periods is needed before implantoplasty can be systematically recommended.

CONCLUSIONS

Implantoplasty significantly reduces the surface roughness of dental implants. This allows the reduction of biofilm formation without apparently compromising the biocompatibility of titanium surfaces. The use of carbide tungsten cutters followed by silicone polishers seems to provide the best outcomes in terms of the reduction of surface roughness. However, since most of

the included studies were made in an in vitro setting, further clinical trials are necessary to confirm these outcomes.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors declare that they have no conflicts of interest in relation to this study. The authors declare the following interests outside the presented work. Dr Genís Burgueño-Barris reports grants and non-financial support from Avinent (Santpedor, Spain) and personal fees from Septodont (Ciudad, France) and Araguaney Dental (Barcelona, Spain). Dr Octavi Camps-Font has participated as a co-investigator in clinical trials sponsored by Mundipharma (Cambridge, UK) and Menarini Richerche (Florence, Italy). He also reports grants and non-financial support from Avinent (Santpedor, Spain). Dr Rui Figueiredo reports grants, personal fees, and non-financial support from MozoGrau (Valladolid, Spain) and from Avinent (Santpedor, Spain), personal fees from BioHorizons Ibérica (Madrid, Spain), Inibsa Dental (Lliça de Vall, Spain), Dentsply implants Iberia (Barcelona, Spain), and ADIN Implants (Afula, Israel) outside the submitted work. He has also participated as principal investigator in a randomized clinical trial sponsored by Mundipharma (Cambridge, UK) and in another clinical trial as co-investigator for Menarini Richerche (Florence, Italy). Dr Eduard Valmaseda-Castellón reports personal fees and non-financial support from MozoGrau (Valladolid, Spain) and from Avinent (Santpedor, Spain), personal fees from BioHorizons Ibérica (Madrid, Spain), Inibsa Dental (Lliça de Vall, Spain), and Dentsply implants Iberia (Barcelona, Spain) outside the submitted work. The present research was conducted by the Dental and Maxillofacial Pathology and Therapeutics research group at the IDIBELL Institute (L'Hospitalet de Llobregat, Barcelona, Spain).

REFERENCES

1. Berglundh T, Armitage G, Araujo MG, et al. Peri-implant diseases and conditions: Consensus report of workgroup 4 of the 2017 World Workshop on the Classification of Periodontal and Peri-implant Diseases and Conditions. J Clin Periodontol 2018;45(suppl 20): s286–s291.
2. Renvert S, Roos-Jansåker AM, Claffey N. Non-surgical treatment of peri-implant mucositis and peri-implantitis: A literature review. J Clin Periodontol 2008;35(suppl 8):305–315.
3. Renvert S, Polyzois I. Treatment of pathologic peri-implant pockets. Periodontol 2000 2018;76:180–190.
4. Ramanauskaite A, Daugela P, Faria de Almeida R, Saulacic N. Surgical non-regenerative treatments for peri-implantitis: A systematic review. J Oral Maxillofac Res 2016;7:e14.
5. Daugela P, Cicciù M, Saulacic N. Surgical regenerative treatments for peri-implantitis: Meta-analysis of recent findings in a systematic literature review. J Oral Maxillofac Res 2016;7:e15.
6. Schwarz F, Herten M, Sager M, Bieling K, Sculean A, Becker J. Comparison of naturally occurring and ligature-induced peri-implantitis bone defects in humans and dogs. Clin Oral Implants Res 2007;18:161–170.
7. Schwarz F, Derks J, Monje A, Wang HL. Peri-implantitis. J Clin Periodontol 2018;45(suppl):s246–s266.
8. Romeo E, Lops D, Chiapasco M, Ghisolfi M, Vogel G. Therapy of peri-implantitis with resective surgery. A 3-year clinical trial on rough screw-shaped oral implants. Part II: Radiographic outcome. Clin Oral Implants Res 2007;18:179–187.
9. Romeo E, Ghisolfi M, Murgolo N, Chiapasco M, Lops D, Vogel G. Therapy of peri-implantitis with resective surgery: A 3-year clinical trial on rough screw-shaped oral implants. Part I: Clinical outcome. Clin Oral Implants Res 2005;16:9–18.
10. Schwarz F, John G, Schmucker A, Sahm N, Becker J. Combined surgical therapy of advanced peri-implantitis evaluating two methods of surface decontamination: A 7-year follow-up observation. J Clin Periodontol 2017;44:337–342.
11. Bianchini MA, Galarraga-Vinueza ME, Apaza-Bedoya K, De Souza JM, Magini R, Schwarz F. Two to six-year disease resolution and marginal bone stability rates of a modified resective-implantoplasty therapy in 32 peri-implantitis cases. Clin Implant Dent Relat Res 2019;21: 758–765.
12. Ramanauskaite A, Becker K, Juodzbalys G, Schwarz F. Clinical outcomes following surgical treatment of peri-implantitis at grafted and non-grafted implant sites: A retrospective analysis. Int J Implant Dent 2018;4:27.
13. Almaguer-Flores A, Olivares-Navarrete R, Wieland M, Ximénez-Fyvie LA, Schwartz Z, Boyan BD. Influence of topography and hydrophilicity on initial oral biofilm formation on microstructured titanium surfaces in vitro. Clin Oral Implants Res 2012;23:301–307.
14. Cortés-Acha B, Figueiredo R, Blanc V, Soler-Ollé A, León R, Valmaseda-Castellón E. Development and viability of biofilms grown on experimental abutments mimicking dental implants: An in vivo model. Med Oral Patol Oral Cir Bucal 2019;24:e511–e517.
15. Chan HL, Oh WS, Ong HS, et al. Impact of implantoplasty on strength of the implant-abutment complex. Int J Oral Maxillofac Implants 2013;28:1530–1535.
16. Gehrke SA, Aramburú Júnior JS, Dedavid BA, Shibli JA. Analysis of implant strength after implantoplasty in three implant-abutment connection designs: An in vitro study. Int J Oral Maxillofac Implants 2016;31:e65–e70.
17. Camps-Font O, González-Barnadas A, Mir-Mari J, Figueiredo R, Gay-Escoda C, Valmaseda-Castellón E. Fracture resistance after implantoplasty in three implant-abutment connection designs. Med Oral Patol Oral Cir Bucal 2020;25:e691–e699.
18. Mombelli A, Hashim D, Cionca N. What is the impact of titanium particles and biocorrosion on implant survival and complications? A critical review. Clin Oral Implants Res 2018;29(suppl 18):37–53.
19. Suárez-López del Amo F, Lin GH, Monje A, Galindo-Moreno P, Wang HL. Influence of soft tissue thickness on peri-implant marginal bone loss: A systematic review and meta-analysis. J Periodontol 2016;87:690–699.
20. Anselme K, Bigerelle M. Statistical demonstration of the relative effect of surface chemistry and roughness on human osteoblast short-term adhesion. J Mater Sci Mater Med 2006;17:471–479.
21. Ramel CF, Lüssi A, Özcan M, Jung RE, Hämmerle CHF, Thoma DS. Surface roughness of dental implants and treatment time using six different implantoplasty procedures. Clin Oral Implants Res 2016;27:776–781.
22. de Souza Júnior JM, Oliveira de Souza JG, Pereira Neto AL, Iaculli F, Piattelli A, Bianchini MA. Analysis of effectiveness of different rotational instruments in implantoplasty: An in vitro study. Implant Dent 2016;25:341–347.
23. Beheshti Maal M, Aanerød Ellingsen S, Reseland JE, Verket A. Experimental implantoplasty outcomes correlate with fibroblast growth in vitro. BMC Oral Health 2020;20:25.
24. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG; PRISMA Group. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. PLoS Med 2009;6:e1000097.
25. Rimondini L, Cicognani Simoncini F, Carrassi A. Micro-morphometric assessment of titanium plasma-sprayed coating removal using burs for the treatment of peri-implant disease. Clin Oral Implants Res 2000;11:129–138.
26. Hakki SS, Tatar G, Dundar N, Demiralp B. The effect of different cleaning methods on the surface and temperature of failed titanium implants: An in vitro study. Lasers Med Sci 2017;32:563–571.
27. Costa-Berenguer X, García-García M, Sánchez-Torres A, Sanz-Alonso M, Figueiredo R, Valmaseda-Castellón E. Effect of implantoplasty on fracture resistance and surface roughness of standard diameter dental implants. Clin Oral Implants Res 2018;29:46–54.
28. Meier RM, Pfammatter C, Zitzmann NU, Filippi A, Kühl S. Surface quality after implantoplasty. Schweiz Monatsschr Zahnmed 2012;122:714–724.
29. Sahrmann P, Luso S, Mueller C, et al. Titanium implant characteristics after implantoplasty: An in vitro study on two different kinds of instrumentation. Int J Oral Maxillofac Implants 2019;34:1299–1305.

30. Tawse-Smith A, Kota A, Jayaweera Y, Vuuren WJ, Ma S. The effect of standardised implantoplasty protocol on titanium surface roughness: An in-vitro study. Braz Oral Res 2016;30:e137.
31. Toma S, Lasserre J, Brecx MC, Nyssen-Behets C. In vitro evaluation of peri-implantitis treatment modalities on Saos-2osteoblasts. Clin Oral Implants Res 2016;27:1085–1092.
32. Toma S, Behets C, Brecx MC, Lasserre JF. In vitro comparison of the efficacy of peri-implantitis treatments on the removal and recolonization of *Streptococcus gordonii* biofilm on titanium disks. Materials (Basel) 2018;11:2484.
33. Schwarz F, John G, Becker J. The influence of implantoplasty on the diameter, chemical surface composition, and biocompatibility of titanium implants. Clin Oral Investig 2017;21:2355–2361.
34. Geremias TC, Montero JFD, Magini RS, Schuldt Filho G, de Magalhães EB Jr, Bianchini MA. Biofilm analysis of retrieved dental implants after different peri-implantitis treatments. Case Rep Dent 2017;2017:8562050.
35. El Chaar E, Almogahwi M, Abdalkader K, Alshehri A, Cruz S, Ricci J. Decontamination of the infected implant surface: A scanning electron microscope study. Int J Periodontics Restorative Dent 2020;40:395–401.
36. Cortés-Acha B, Figueiredo R, Seminago R, Roig FJ, Llorens C, Valmaseda-Castellón E. Microbiota analysis of biofilms on experimental abutments mimicking dental implants: An in vivo model. J Periodontol 2017;88:1090–1104.
37. Petersilka GJ, Bell M, Häberlein I, Mehl A, Hickel R, Flemmig TF. In vitro evaluation of novel low abrasive air polishing powders. J Clin Periodontol 2003;30:9–13.
38. Ratka C, Weigl P, Henrich D, Koch F, Schlee M, Zipprich H. The effect of in vitro electrolytic cleaning on biofilm-contaminated implant surfaces. J Clin Med 2019;8:1397.
39. Schlee M, Rathe F, Brodbeck U, Ratka C, Weigl P, Zipprich H. Treatment of peri-implantitis–Electrolytic cleaning versus mechanical and electrolytic cleaning–A randomized controlled clinical trial–Six-month results. J Clin Med 2019;8:1909.
40. Stavropoulos A, Bertl K, Eren S, Gotfredsen K. Mechanical and biological complications after implantoplasty–A systematic review. Clin Oral Implants Res 2019;30:833–848.
41. Suárez-López del Amo F, Garaicoa-Pazmiño C, Fretwurst T, Castilho RM, Squarize CH. Dental implants–associated release of titanium particles: A systematic review. Clin Oral Implants Res 2018;29:1085–1100.

4. HIPÓTESIS

Hipótesis principal

La implantoplastia es un procedimiento seguro que no daña la plataforma protética y que reduce la rugosidad de las superficies de los implantes dentales, pero sin lograr alcanzar los valores de una superficie mecanizada.

Hipótesis operativas

- La localización posterior del implante y la presencia de dientes proximales dificultan la implantoplastia y generan una superficie menos pulida y uniforme.
- Las implantoplastias realizadas en sector posterior, en implantes con dientes adyacentes y con corona protética aumentan probabilidad de dejar espiras residuales y de provocar un daño en la plataforma protética.

5. OBJETIVOS

Objetivo general

- Analizar la presencia de alteraciones de la plataforma protética y determinar la rugosidad final de la superficie de implantes dentales tras procedimientos de implantoplastia.

Objetivos específicos

- Determinar la rugosidad obtenida en la superficie del implante tras la implantoplastia según la localización del implante y la presencia de dientes adyacentes.
- Analizar qué factores clínicos influyen en la presencia de espiras residuales y en el daño de la plataforma protética tras la implantoplastia.

6. MATERIAL Y MÉTODO

Se realizó un estudio experimental *in vitro* con 60 implantes dentales de titanio grado V (Figura 15) de conexión externa (Avinent Coral HE® 3.3x10 mm. Avinent Implant System® S.L. Santpedor, España) empleando 20 modelos de resina (BoneModels® S.L.U. Castellón, España) simulando una boca humana. Los implantes dentales utilizados tenían una superficie moderadamente rugosa hasta la conexión, resultado de técnicas de arenado, grabado ácido y anodización.

Figura 15: Implante Avinent Coral HE® utilizado en el estudio

Imagen cedida por Avinent Implant System S.L. Santpedor, España

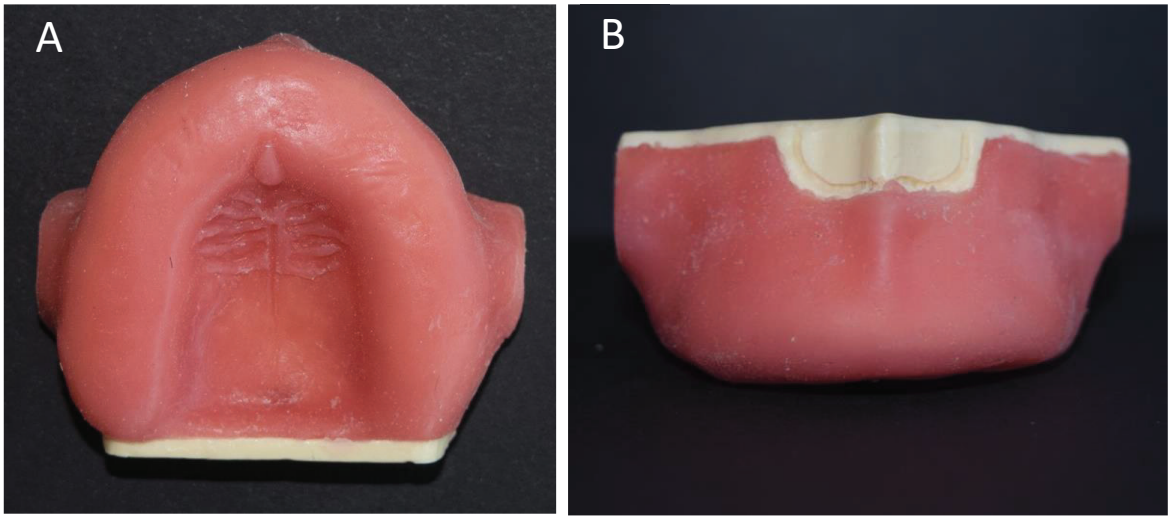
Secuencia del estudio

1. Confección de los modelos

Se diseñaron específicamente para este estudio modelos de resina que simulaban un maxilar superior edéntulo con una cresta ósea plana y ancha (n = 10) y una mandíbula parcialmente edéntula con la presencia de los caninos, los segundos premolares y los segundos molares (n = 10) (Figuras 16 y 17). Ambos modelos estaban recubiertos por una silicona que simulaba los

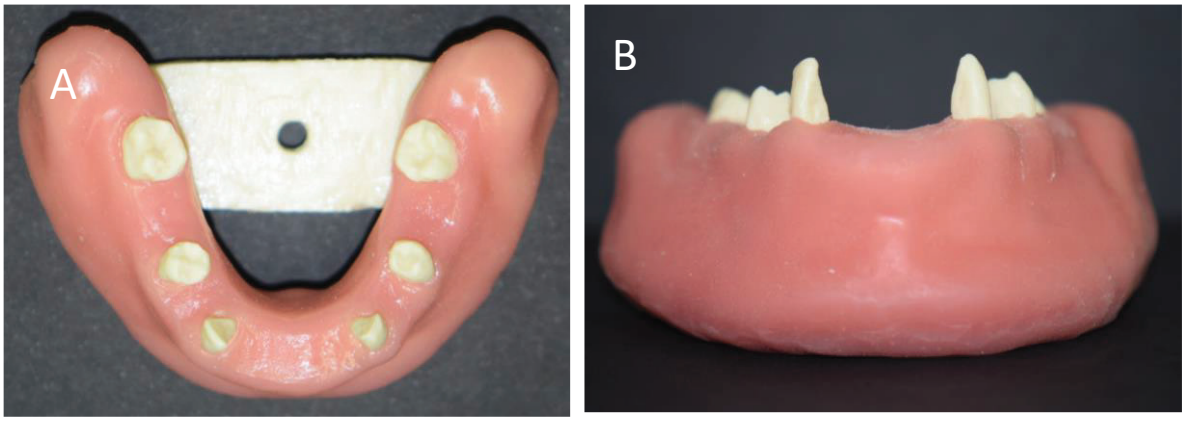
tejidos blandos bucales (encía y mucosa). En el modelo mandibular, en las posiciones de primer premolar y primer molar se efectuó un defecto óseo en forma de cráter para simular un defecto periimplantario. Los modelos fueron confeccionados manualmente a través de un molde estandarizado por la empresa Bonemodels S.L.U. (Castellón, España).

Figura 16: Modelo superior. Este modelo simula un maxilar superior totalmente edéntulo y el respectivo tejido blando.



A: Vista oclusal; B: Vista frontal

Figura 17: Modelo inferior. Este modelo simula una mandíbula parcialmente edéntula y con recubrimiento de tejido blando.

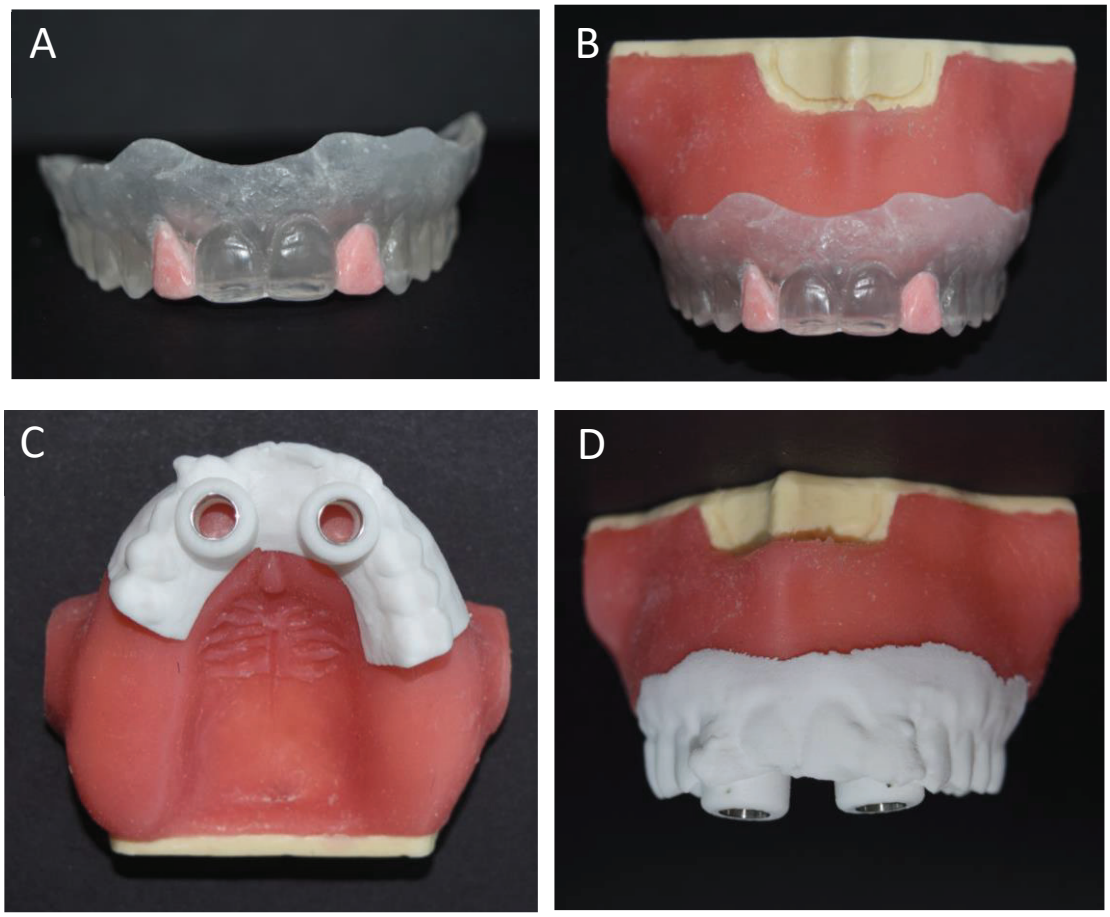


A: Vista oclusal; B: Vista frontal

2. Colocación de los implantes dentales

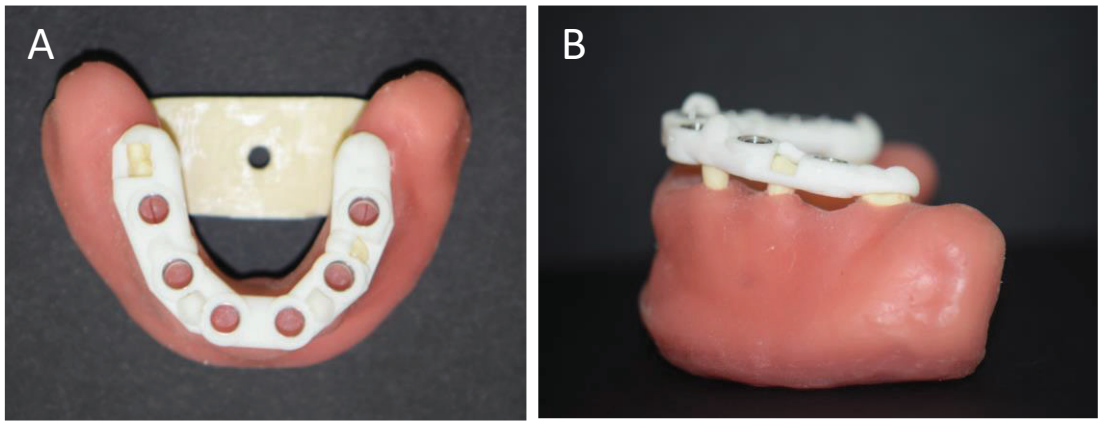
La colocación de implantes se efectuó de forma totalmente guiada para estandarizar su posición en todos los modelos. Para ello, se confeccionó una guía quirúrgica mediante impresión 3D tras escanear los modelos (el superior con una férula con incisivos marcados con bario radiopaco) y marcar las posiciones de incisivos laterales superiores, primeros premolares inferiores y primeros molares inferiores (Figuras 18 y 19).

Figura 18: Férula para el escáner del modelo y guía quirúrgica para el modelo superior



A: Visión frontal de la férula radiológica superior. B: Visión frontal de la férula radiológica superior en el modelo superior. C: Visión oclusal de la férula quirúrgica superior en el modelo superior. D: Visión frontal de la férula quirúrgica superior en el modelo superior.

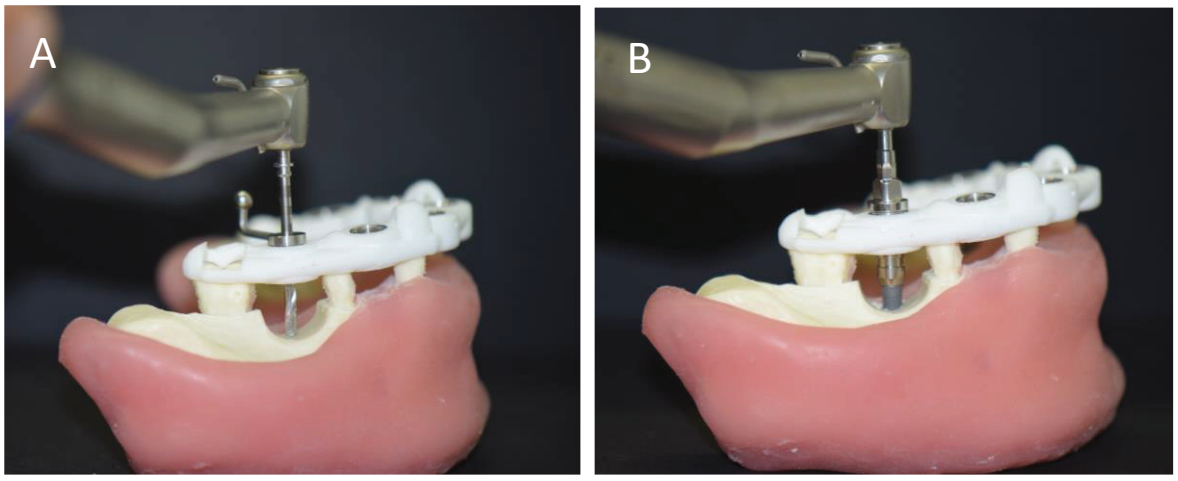
Figura 19: Guía quirúrgica para el modelo inferior



A: Visión oclusal de la férula quirúrgica en el modelo inferior. B: Visión lateral de la férula quirúrgica en el modelo inferior.

Para la colocación de los implantes se realizó una incisión en la encía para poder tener control visual de la zona. Posteriormente, se colocó la férula quirúrgica y se realizó el fresado mediante el protocolo marcado por el fabricante. (Figura 20)

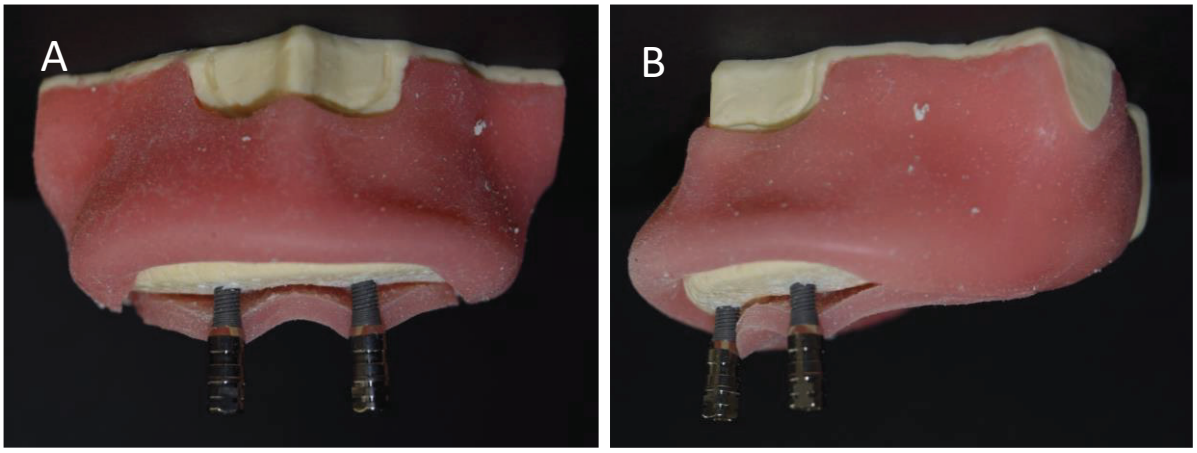
Figura 20: Fresado y colocación de los implantes



A: Visión lateral del fresado en el modelo inferior mediante férula quirúrgica. B: Visión lateral de la colocación del implante en el modelo inferior mediante férula quirúrgica

Se colocaron implantes estrechos de conexión externa (Avinent Coral HE® 3,3x10 mm. Avinent Implant System S.L. Santpedor, España) dejando 5 mm de superficie expuesta, simulando un defecto periimplantario supraóseo. En el modelo superior, se colocaron 2 implantes en posición de incisivo lateral (Figura 21) mientras que en el modelo inferior, se colocaron 4 implantes en posición de primeros premolares y primeros molares (Figura 22). En este caso, la plataforma del implante se encontraba al nivel óseo de los dientes proximales (Figura 23).

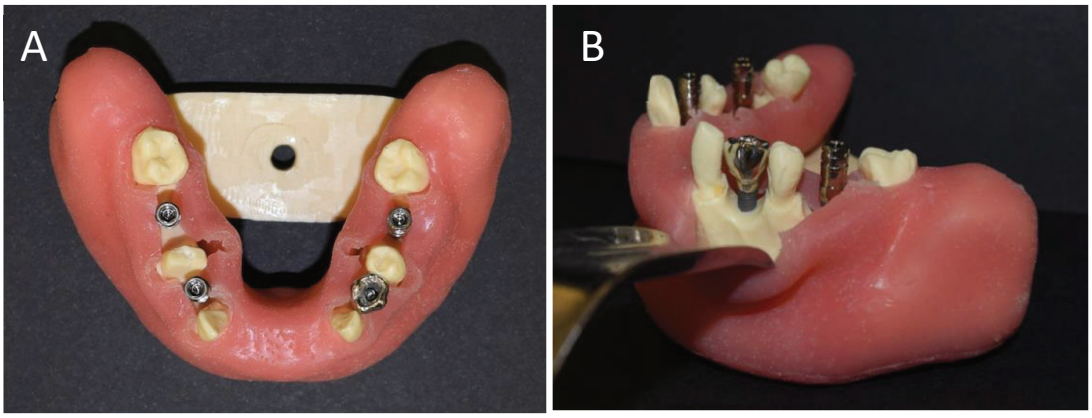
Figura 21: Implantes en el modelo superior



A: Visión frontal de los implantes colocados en el modelo superior con exposición de los 5mm más coronales. B: Visión lateral de los implantes colocados en el modelo superior con con exposición de los 5mm más coronales.

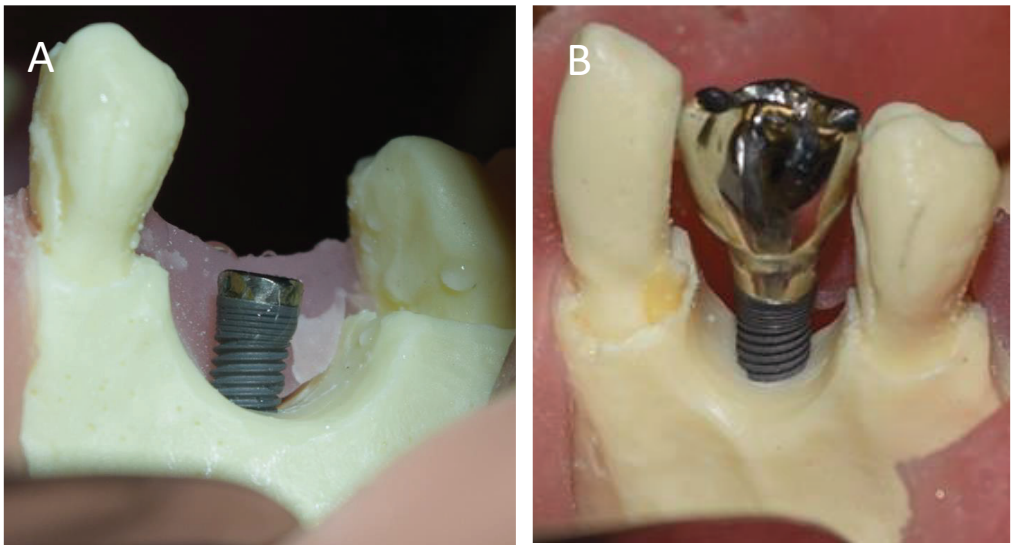
Tras la colocación de los implantes, se diseñaron digitalmente coronas roscadas para los implantes colocados en la posición de primer premolar inferior izquierdo. Se confeccionaron coronas totalmente metálicas simulando la forma anatómica de un premolar inferior con contactos proximales con los dientes mesial y distal (Figura 22 y 23). La corona pretende simular una corona cementada que no se puede retirar y, por tanto, la implantoplastia se debe llevar a cabo con la corona colocada.

Figura 22: Implantes en el modelo inferior con la corona en el premolar inferior



A: Visión oclusal del modelo inferior con los implantes y la corona metálica colocados. B: Visión lateral del modelo inferior con los implantes y la corona metálica colocados.

Figura 23: Detalle de los defectos periimplantarios recreados en el modelo inferior



A: Visión frontal del implante en posición de molar inferior izquierdo con el defecto periimplantario originando una exposición de 5 mm y el tapón de cierre colocado. B: Visión frontal del implante en posición de premolar inferior izquierdo con la corona metálica colocada con el defecto periimplantario simulado en cubeta de 5 mm.

Finalmente, se colocó un tapón de cierre en los implantes para proteger la conexión durante la implantoplastia.

3. Procedimiento experimental

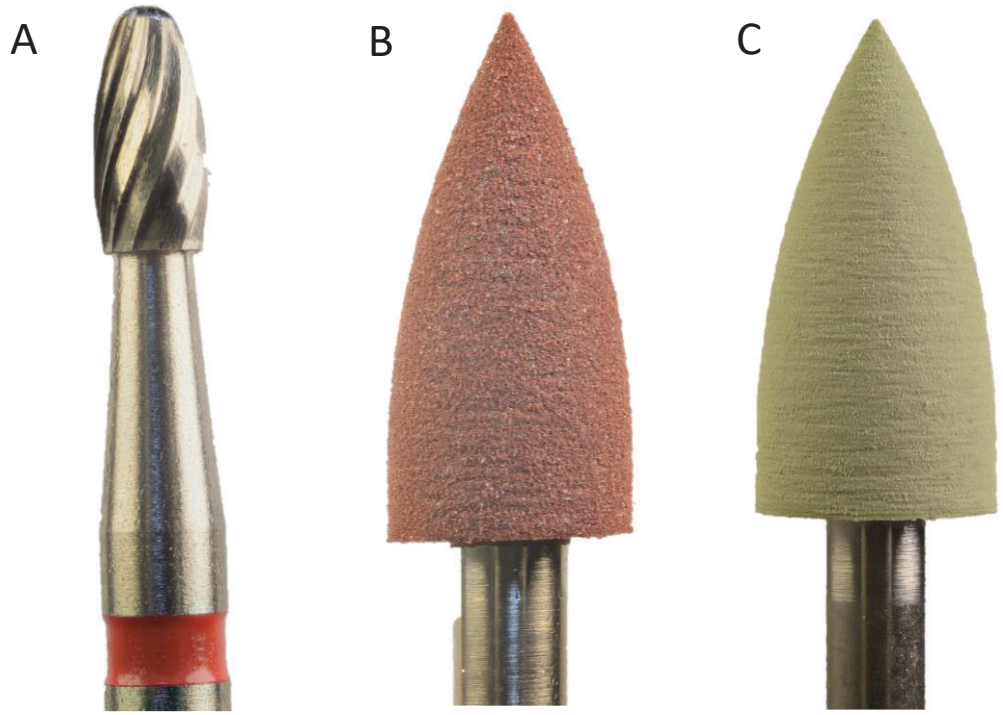
Para recrear un escenario clínico, los modelos se ajustaron a un simulador de cabeza (fantoma). La posición de los simuladores de cabeza y de los modelos se estandarizó para todas las implantoplastias. Para los implantes mandibulares, el simulador se colocó formando un ángulo de 30º, mientras que para los implantes superiores se colocó a 45º.

El doctorando (G.B.B.) efectuó todas las implantoplastias en todos los implantes (Figura 24). Se realizó la implantoplastia de la zona expuesta (5 mm) de cada uno de los implantes (componente supracrestal). El fresado se realizó mediante el uso de una turbina GENTLEsilence LUX 8000B (KaVo Dental GmbH, Biberach an der Riß, Alemania) bajo irrigación constante. El procedimiento se realizó bajo magnificación de 2.8x aumentos (Galilean HD; ExamVision ApS, Samsø, Dinamarca) y una iluminación adecuada de la zona de trabajo (FocusTM LED 6000k; ExamVision ApS, Samsø, Dinamarca).

Figura 24: Procedimiento de la implantoplastia en el simulador de cabeza

Se utilizó el protocolo de fresado descrito por Costa-Berenguer y colaboradores (171) que consiste en el uso de una fresa de carburo de tungsteno (referencia H379.314.014 KOMET; GmbH & Co. KG, Lemgo, Alemania), un pulidor de silicona de grano grueso (referencia 9608.314.030 KOMET; GmbH & Co. KG, Lemgo, Alemania) y un pulidor de silicona de grano fino (referencia 9618.314.030 KOMET; GmbH & Co. KG, Lemgo, Alemania) (Figura 25). Para cada muestra se utilizaron fresas nuevas para no condicionar el pulido por el desgaste de las fresas.

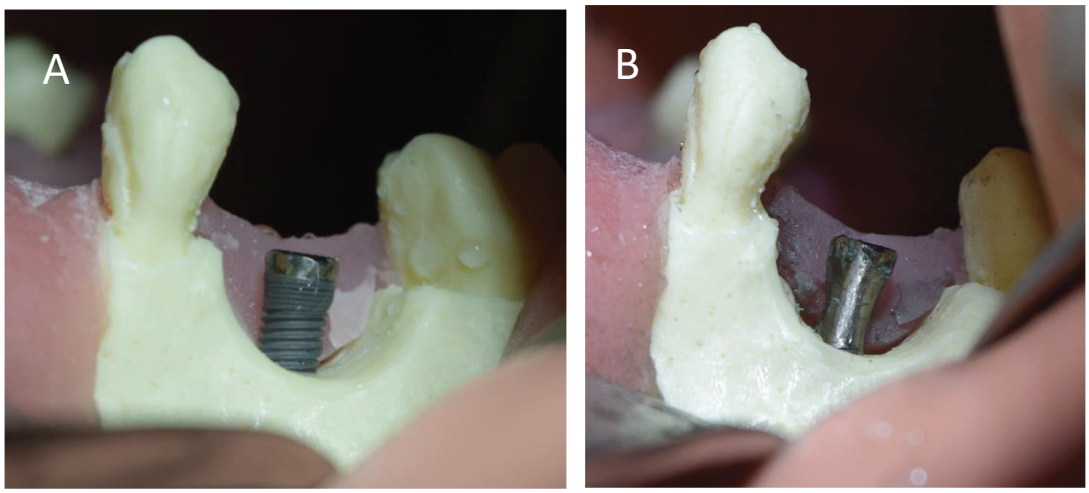
Figura 25: Fresas utilizadas en el protocolo de la implantoplastia



A: Fresa de carburo de tungsteno (referencia H379.314.014 KOMET; GmbH & Co. KG, Lemgo, Alemania). B: Pulidor de silicona de grano grueso (Brownie®) (referencia 9608.314.030 KOMET®; GmbH & Co. KG, Lemgo, Alemania), C: Pulidor de silicona de grano fino (Greenie®) (referencia 9618.314.030 KOMET®; GmbH & Co. KG, Lemgo, Alemania)

Se registró el tiempo que el clínico necesitó hasta obtener un cuerpo del implante cilíndrico (paredes paralelas y sin espiras) y una superficie lisa y brillante (Figura 26) en cada implante.

Figura 26: Implante inferior, antes (A) y después (B) de la implantoplastia



Posteriormente, se colocó un transportador, se marcó la cara vestibular y se retiró el implante mediante la aplicación de contratorque. A continuación, se señalizó la cara vestibular en la parte apical del implante que no estaba tratada. Finalmente, se cambió el transportador por un pilar protético recto 4.5 x 3 mm de plataforma 3.5 mm (Avinent® Implant System, Santpedor, España) para prótesis cementada. Se atornilló con un par de fuerzas de 35 N·cm.

Para el análisis, los implantes fueron divididos en 4 grupos: situación favorable (incisivos del maxilar superior sin dientes vecinos), situación desfavorable (molares mandibulares con dientes proximales), premolares con corona protética y premolares sin corona protética.

Se emplearon 2 grupos control. Para el primero (control rugoso), fueron utilizados implantes Avinent Coral HE® 3,3x10 mm Avinent Implant System S.L. (Santpedor, España) a los que no se les realizó la implantoplastia y se les colocó el mismo aditamento protésico. El segundo grupo control (control pulido) estuvo formado por los propios aditamentos protéticos, a los

cuales se realizó el análisis de rugosidad para comparar el pulido de la implantoplastia con la misma aleación pulida de forma industrial.

4. Análisis de rugosidad mediante microscopía confocal

De toda la muestra se seleccionaron, mediante el aplicativo web www.random.org , 20 implantes de forma aleatoria (10 del grupo de situación favorable y 10 del grupo de situación desfavorable) para el análisis de rugosidad de superficie.

Con la colaboración de la unidad de técnicas nanométricas de los Centres Científics i Tecnológics de la Universitat de Barcelona (CCiTUB), el doctorando G.B.B. realizó el análisis de rugosidad con microscopía interferométrica confocal (Leica® 3DCM Wetzlar, Alemania) con un objetivo de 20 aumentos y orientación totalmente perpendicular. Para cada implante se realizaron mediciones de áreas rectangulares (4x6 mm) situadas en la zona central de la implantoplastia a 2.5mm de la plataforma en cada orientación (vestibular, lingual, mesial y distal). En el grupo control de superficie rugosa, se realizaron las mismas mediciones. En cambio, en el grupo control de superficie pulida las mediciones se efectuaron en un aditamento protésico siguiendo el mismo procedimiento, pero situando el análisis a 2 mm de la plataforma, donde el aditamento tiene una forma regular. El procesado de las imágenes se realizó mediante el software LeicaSCAN Leica® Wetzlar, Alemania) y LeicaMAP (Leica® Wetzlar, Alemania).

La rugosidad de superficie se definió siguiendo los siguientes parámetros tridimensionales:

- Sa (altura media aritmética): diferencia media en altura en el plano medio.
- Sz (diferencia altura máxima): suma entre el pico más alto y el valle más bajo del área analizada.

5. Análisis de la plataforma mediante microscopía electrónica de barrido

Se analizaron los 60 implantes de la muestra repartidos en 20 implantes por grupo: situación favorable, situación desfavorable, premolar con corona protética y premolar sin corona protética. La situación favorable era la de fácil acceso (zona anterior del maxilar superior sin dientes adyacentes), mientras que la desfavorable, tenía un acceso más limitado (zona posterior de la mandíbula con dientes adyacentes).

Con la colaboración de la unidad de microscopía electrónica de barrido SEM de los Centres Científics i Tecnológics de la Universitat de Barcelona (CCiTUB), el doctorando G.B.B. realizó el análisis de la interfase entre la plataforma de los implantes y el aditamento protético con un microscopio electrónico de barrido (FEI ESEM Quanta-200, FELMI-ZFE® Graz, Austria). Se realizó el análisis con una inclinación de 10º para poder observar la integridad de la plataforma. Se realizaron 8 fotografías (vestibular, vestíbulo-mesial, mesial, mesio-lingual, lingual, disto-lingual, distal y disto-vestibular) para cada implante a 50 aumentos. En total se obtuvieron 496 imágenes y, en caso de que la plataforma estuviera afectada, se realizó una imagen adicional con una magnificación de 100 aumentos para obtener detalles de la zona. De cada fotografía se midieron:

- Discrepancia máxima (µm) entre el aditamento y la plataforma del implante. Como las imágenes eran tomadas con una angulación de 10°, la discrepancia real se obtuvo aplicando la siguiente fórmula trigonométrica: $Discrepancia = Medida \times \left({}^{1}/_{\cos 10^{\circ}}\right)$
- Presencia de desajuste entre el aditamento y la conexión del implante. Medición de la máxima discrepancia del desajuste (µm).
- Presencia de espiras residuales o irregularidades en la superficie del implante.

- Presencia de restos de silicona procedente las fresas de pulido sobre la superficie del implante.

Para examinar la concordancia intra-examinador y la verificación, se realizó otro análisis de 50 imágenes (50 mediciones) seleccionadas de forma aleatoria a las 2 semanas de la primera observación. El coeficiente de correlación intraclase (ICC) fue de 0.98 (intervalo de confianza del 95% (95% CI): 0.97 a 0.99; P < 0.001), lo cual reflejó una excelente fiabilidad y consistencia.

Tabla 4: Recogida de variables

Variables rugosidad de la superficie del implante	**Tipo de Variable**
Rugosidad cara vestibular implantoplastia	Escala
Rugosidad cara mesial implantoplastia	Escala
Rugosidad cara lingual implantoplastia	Escala
Rugosidad cara distal implantoplastia	Escala
Variables análisis microscopía electrónica de barrido	**Tipo de Variable**
Alteración de la plataforma del implante	Categórica
Discrepancia del implante (8 mediciones por implante)	Escala
Discrepancia máxima del implante (máxima entre las 8 mediciones)	Escala
Presencia de desajuste	Categórica
Longitud máxima del desajuste en el implante	Escala
Presencia de espiras residuales	Categórica
Presencia de restos de silicona	Categórica

Determinación del tamaño de la muestra

Para el cálculo del tamaño de la muestra se utilizaron los resultados de un estudio previo (171). Considerando que había 4 grupos (1- situación favorable: zona anterior del maxilar superior sin dientes adyacentes; 2- situación desfavorable: zona posterior de la mandíbula con dientes adyacentes; 3- premolar inferior con corona protética y dientes adyacentes y 4- premolar inferior sin corona protética y dientes adyacentes) y 8 comparaciones (en la región mesial, mesiovestibular, vestibular, distovestibular, distal, distolingual, lingual y mesiolingual), se estimó que habría una diferencia del 33% entre la zona y grupo más y menos rugoso. El cálculo mostró que se requerían 10 implantes por grupo si se esperaba una rugosidad de superficie de 0.1 µm con una desviación estándar (SD) de 0.02 µm (tomada del estudio de Costa-Berenguer y colaboradores)(171), asumiendo una diferencia clínica de 0.033 µm (33% del total) con una potencia estadística del 80% y un riesgo alfa del 0.05.

Análisis estadístico

Las características de los implantes fueron presentadas como frecuencias absolutas y relativas para las variables categóricas. Los grupos se compararon mediante análisis bivariante usando la prueba de Chi cuadrado (χ^2 de Pearson) o el test exacto de Fisher. Las odds ratio (OR) se calcularon con un intervalo de confianza del 95% (IC95%) para cada covariante.

La normalidad de las variables de escala (parámetros de rugosidad y discrepancias entre la interfase implante-aditamento protético) se analizó mediante la prueba de Shapiro-Wilks y el análisis visual de los gráficos P-P y de los diagramas de caja. Cuando el supuesto de normalidad era rechazado, se calculó el rango intercuartílico (RIC) y la mediana. Cuando la distribución era compatible con la normalidad, se utilizaron la media y la desviación estándar (DE).

Las diferencias entre grupos en las variables de escala se analizaron mediante el uso de tests paramétricos (para las muestras independientes se usó el test t de Student o análisis de la varianza con ANOVA) o test no paramétricos (test de U de Mann-Whitney o test de Kruskal-Wallis).

Los datos fueron procesados con el software Stata 14 (StataCorp®, College Station, TX, EEUU) usando la corrección de Bonferroni para la multiplicidad de contrastes. El nivel de significación se estableció en $P < 0.05$ para todos los análisis.

7. RESULTADOS

7.1 RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ESTUDIO PRESENTADO EN LA TESIS DOCTORAL

El tiempo medio utilizado para realizar la implantoplastia fue de 6 minutos y 40 segundos (RIC = 48 segundos). Los implantes ubicados en la zona desfavorable con acceso limitado (molares inferiores con dientes adyacentes) necesitaron un tiempo significativamente mayor para realizar la implantoplastia, aproximadamente un 10% de tiempo adicional ($P < 0.05$ para todas las comparaciones de pares) (Figura 27).

Figura 27: Diagrama de caja del tiempo empleado en la implantoplastia en los diferentes grupos. El eje de ordenadas indica el tiempo total en minutos para finalizar el pulido

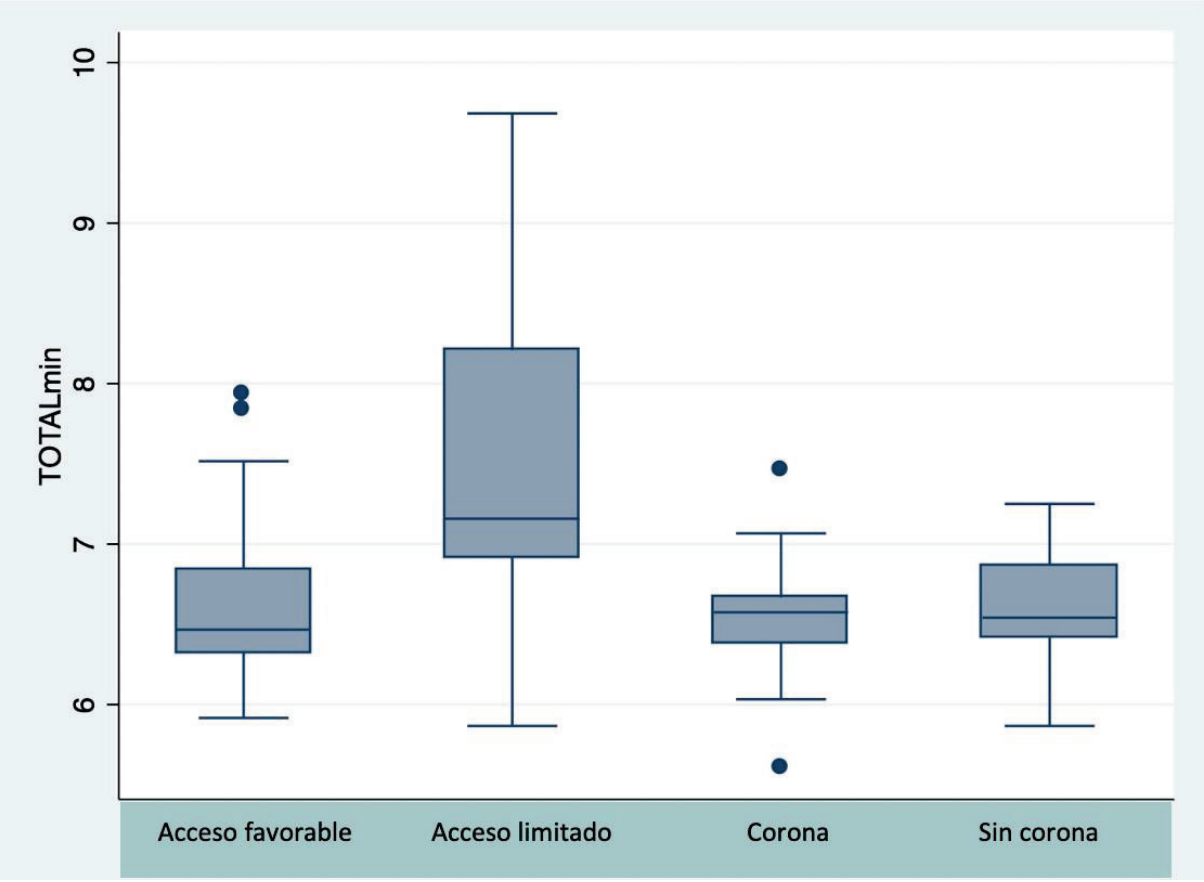


Tabla 5: Rugosidad de superficie tras implantoplastia según área (anterior o posterior) y grupo.

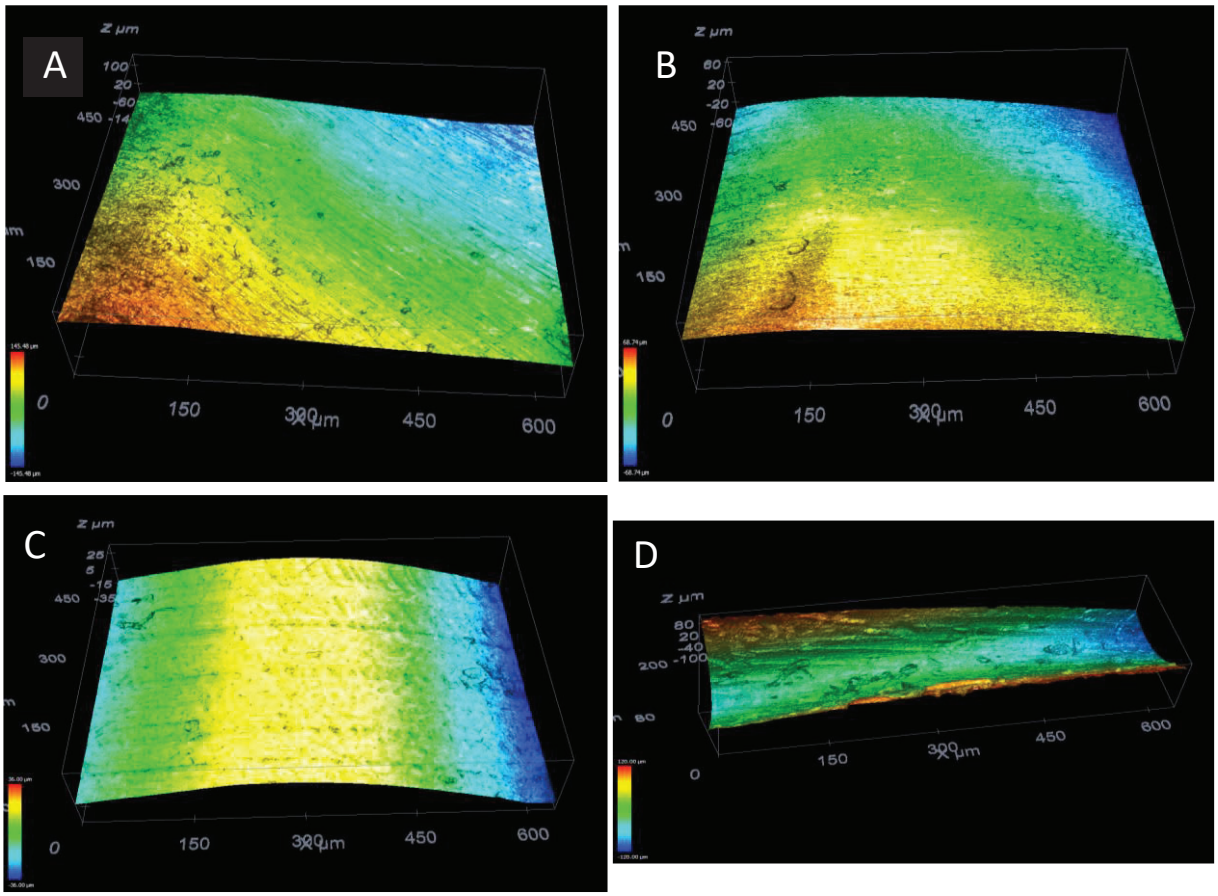
	Sa (µm)			Sz (µm)		
	Media (DE)	DM (IC 95%)	P	Media (DE)	DM (IC 95%)	P
Acceso favorable (implantes anteriores sin dientes adyacentes)	0.53 (0.10)	-0.16 (-0.21 a -0.10)	< 0.001*	8.98 (1.40)	-4.86 (-6.29 a -3.43)	< 0.001*
Acceso limitado (implantes posteriores con dientes adyacentes)	0.68 (0.13)			13.84 (4.33)		
Muestras de implantoplastia (Total)	0.60 (0.14)	NA	< 0.001†	11.41 (4.03)	NA	< 0.001†
Superficie del implante sin tratar (moderadamente rugosa)	1.83 (0.10)			37.78 (0.35)		
Aditamento protético pulido	0.24 (0.01)			4.46 (0.15)		

DM: Diferencia de medias; DE: Desviación estándar; IC95%: Intervalo de confianza del 95%
* test *t* independiente, P < 0.001; † Test de Kruskal-Wallis con corrección de Bonferroni

Las superficies tras la implantoplastia fueron significativamente más pulidas que las superficies originales moderadamente rugosas (P < 0.001) pero más rugosas que las de los aditamentos protéticos (P < 0.001) (Tabla 5 y Figura 28).

Los parámetros de rugosidad estuvieron influenciados por la posición y la presencia de dientes adyacentes al implante (P < 0.001). Específicamente, los implantes posteriores con dientes adyacentes tuvieron unas superficies significativamente más rugosas que en el grupo favorable [(Sa: DM = 0.16; 95%CI = 0.10 to 0.21) y (Sz: DM = 4.86; 95%CI = 3.42 to 6.29]). Por otro lado, los parámetros Sa (F(3, 75) = 0.23; P = 0.876) y Sz (F(3, 75) = 0.58; P = 0.629) fueron similares en todas las caras (vestibular, vestibulomesial, mesial, mesiolingual, lingual, distolingual, distal y distovestibular) donde se realizó la implantoplastia. El lado (derecho o izquierdo) no afectó a los parámetros Sa (P = 0.986) ni Sz (P = 0.906).

Figura 28: Imágenes de microscopía confocal sobre la rugosidad conseguida en los grupos de estudio y en los grupos control.



A: Imagen de microscopía confocal del grupo acceso limitado (implante mandibular en posición posterior con dientes adyacentes), B: Grupo acceso favorable (implante superior en posición anterior sin dientes adyacentes), C: Grupo control pulido (aditamento protético), D: Grupo control rugoso (implante sin alteración de la superficie). La imagen D tiene una morfología diferente debido a la presencia de espiras que impidieron tomar los márgenes como en los demás grupos.

Tabla 6: Riesgo de presencia de espiras remanentes, desajustes en la interfase entre implante y aditamento protético y presencia de restos de silicona tras implantoplastia según localización y presencia o ausencia de la corona protética.

	Espiras remanentes	Desajuste interfase implante-aditamento	Restos de silicona
Implantes posteriores con dientes adyacentes	87/160 (54.4%)	4/160 (2.5%)	75/160 (46.9%)
Implantes anteriores sin dientes adyacentes	23/160 (14.4%)	0/160 (0%)	22/160 (13.8%)
OR (IC95%)	7.10 (4.15 a 12.14)*	NA	5.53 (3.21 a 9.53)*
P	**<0.001***	**0.123†**	**<0.001***
Con corona protética	56/80 (70.0%)	0/80 (0%)	37/80 (46.3%)
Sin corona protética	20/80 (25.0%)	0/80 (0%)	25/80 (31.3%)
OR (IC95%)	7.00 (3.50 a 13.99)*	NA	1.89 (1.00 a 3.60)
P	**<0.001***	**NA**	**0.053**
Total	186/480 (38.8%)	4/480 (0.8%)	159/480 (33.1%)

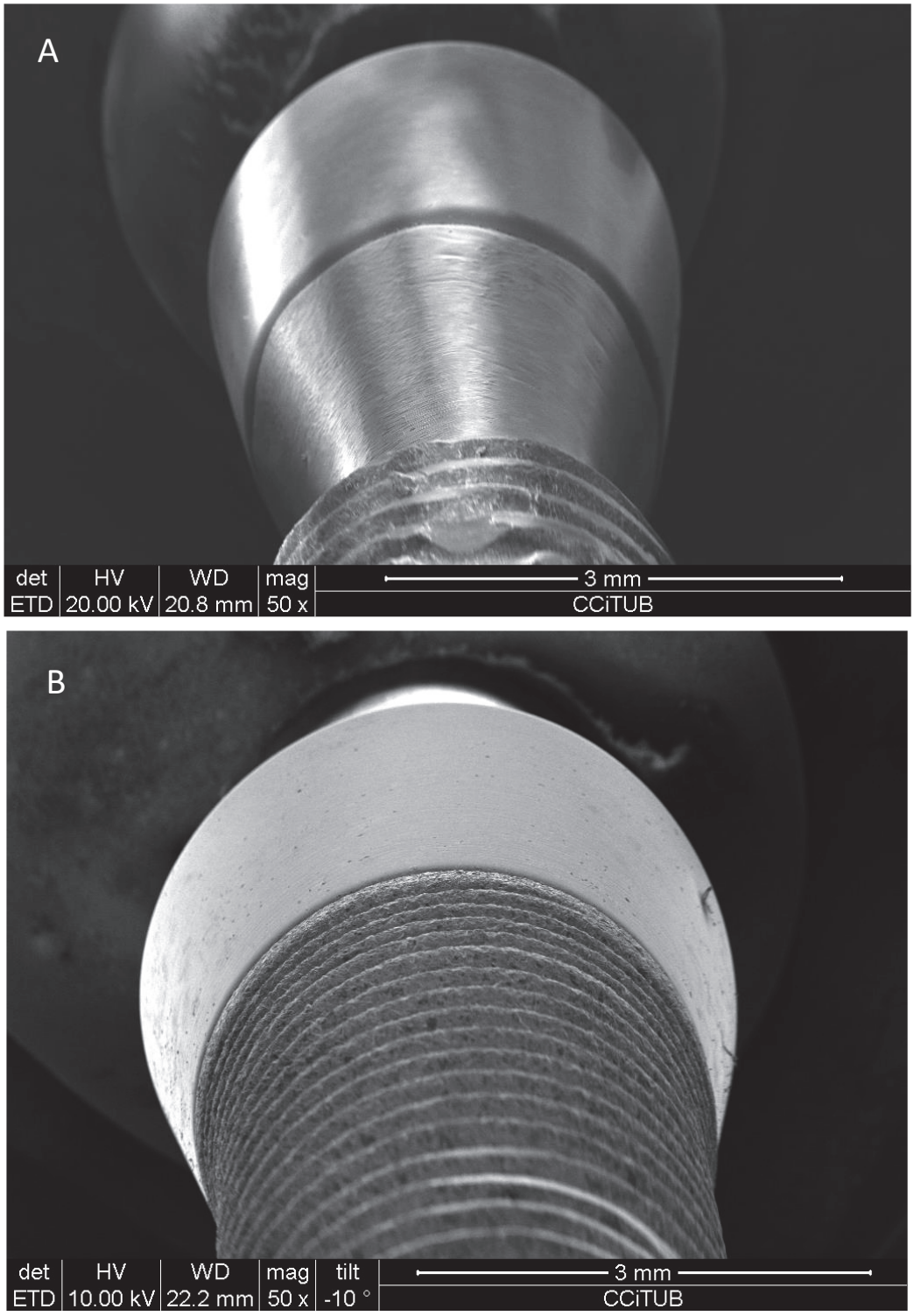
*Diferencias estadísticamente significativas; †Test exacto de Fisher; NA: No aplicable; OR: Odds ratio; IC95%: Intervalo confianza del 95%

La Figura 29 muestra las imágenes obtenidas mediante microscopía electrónica de barrido de implantes con implantoplastia comparado con un implante sin tratar (grupo control).

Las espiras residuales (OR= 7.10; 95%CI: 4.15 a 12.14; P < 0.001) y los restos de silicona (OR= 5.53; 95%CI: 3.21 a 9.53; P < 0.001) fueron significativamente más frecuentes en el grupo de situación desfavorable en comparación con el grupo favorable (Tabla 6 y Figuras 30 y 31).

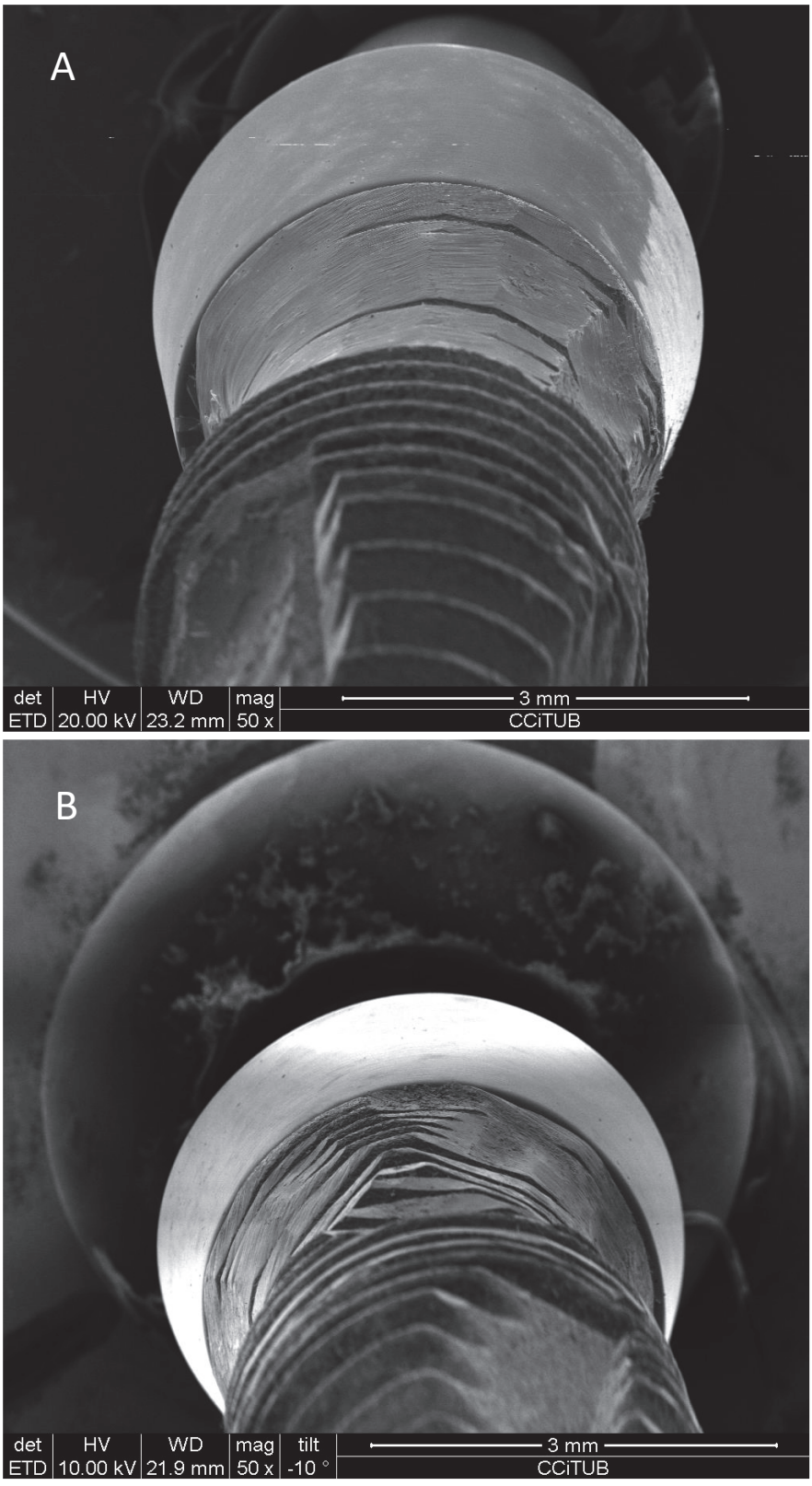
Se identificaron 4 desajustes (6.67%; Mediana: 362.68 µm; RIC: 49.32; Rango: 342.00 a 408.29) entre la interfase implante-aditamento protético en el grupo de molares inferiores con presencia de dientes adyacentes (P = 0.123) (Tabla 6 y Figura 32).

Figura 29: Imágenes de microscopía electrónica de barrido (50X) que muestran un implante tras la implantoplastia y otra del grupo control.



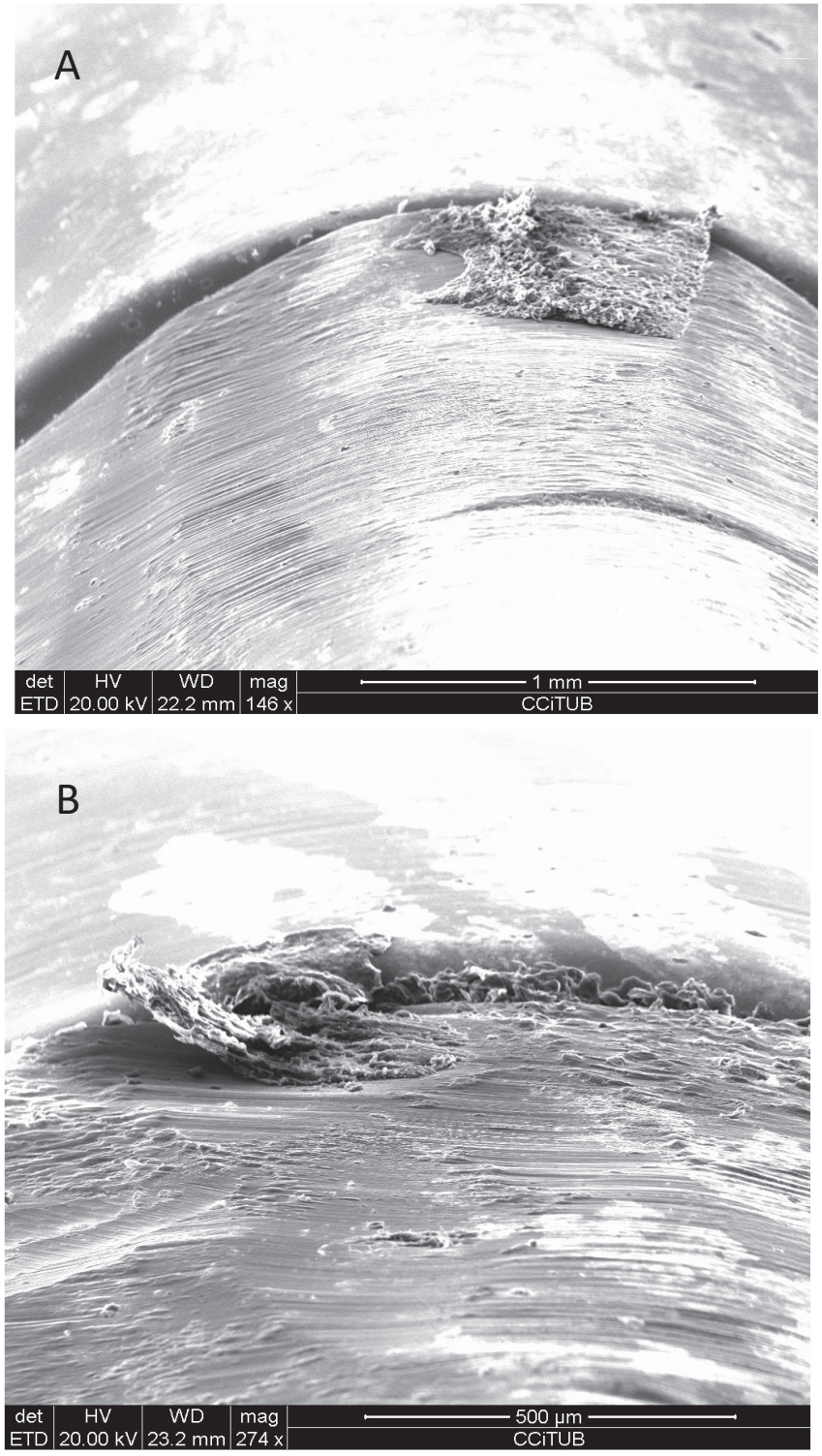
A: Implante del grupo de acceso favorable, B: Implante del grupo control.

Figura 30: Imágenes de microscopía electrónica de barrido (50X) de restos de espiras remanentes en la superficie tras la implantoplastia.



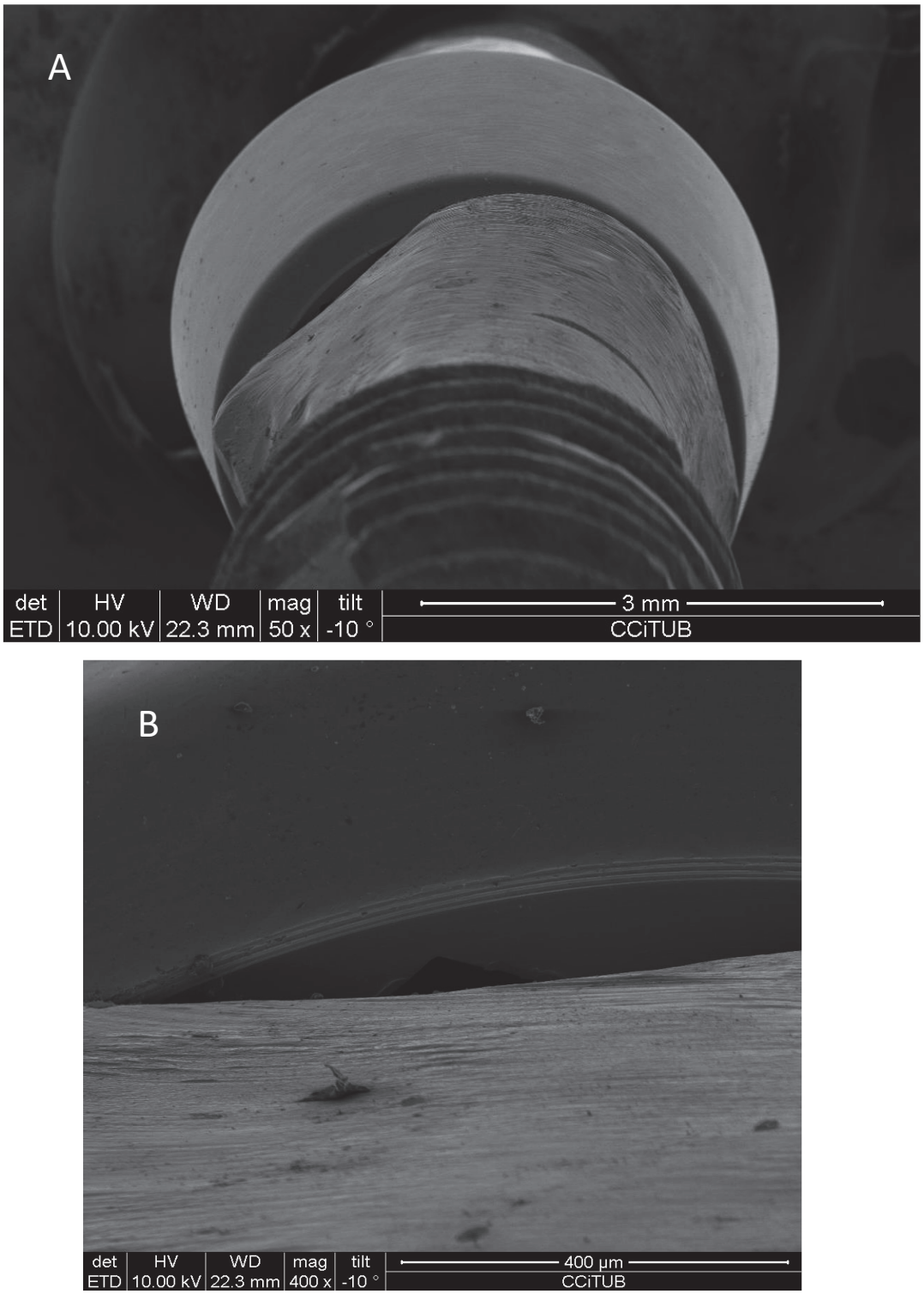
A: Implante del grupo de acceso favorable, B: Implante del grupo de acceso limitado

Figura 31: Imágenes de microscopía electrónica de barrido (146X y 274X) que muestran restos de silicona en la superficie del implante tras la implantoplastia.



A: Imagen de 146X de un implante del grupo de acceso favorable. B: Imagen de 274X de un implante del grupo de acceso limitado.

Figura 32: Imágenes de microscopía electrónica de barrido (50X y 400X) del desajuste en la interfase implante-aditamento protético tras la implantoplastia.



A: Imagen de 50X de un implante del grupo de acceso limitado. B: Imagen de 400X de un implante del grupo de acceso limitado.

La presencia de la corona protética multiplicó por 7 el riesgo de presentar espiras residuales (OR=7.00; 95%CI: 3.50 a 13.99; P < 0.001). Además, la presencia de restos de silicona fue más frecuente en los premolares con corona protética, si bien esta diferencia no fue estadísticamente significativa (OR = 1.89; 95%CI: 1.00 a 3.60; P = 0.053) (Figura 22).

Tras la implantoplastia, todos los implantes mostraron algún grado de desajuste entre la plataforma del implante y el aditamento protético en al menos 1 de las 8 áreas analizadas (Media: 68 µm; DE = 57.93; Rango: 0 a 408.29). La discrepancia resultó similar (DM = 9.15 µm; 95%IC: -12.32 a 30.62; P = 0.394) cuando se comparó el grupo de implantes en la zona anterior del maxilar superior sin dientes vecinos con implantes en la zona posterior mandibular con dientes proximales (Figura 33). Por otro lado, la discrepancia aumentó significativamente cuando el implante tenía la corona protética (DM = 22.04 µm; 95%IC: 9.13 a 34.95; P = 0.002) (Figura 34).

Figura 33: Gráfico de radar que muestra la distribución de las discrepancias (μm) entre implante-aditamento protético entre los grupos de acceso favorable y limitado.

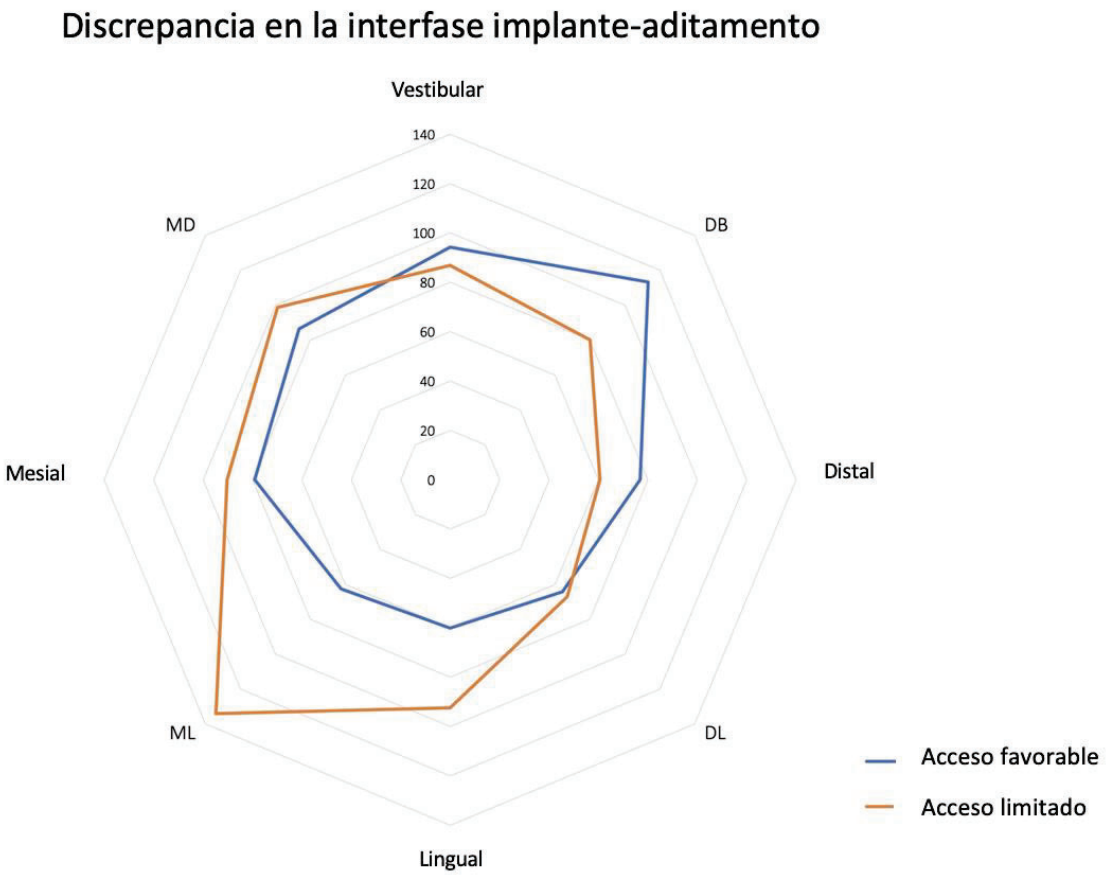
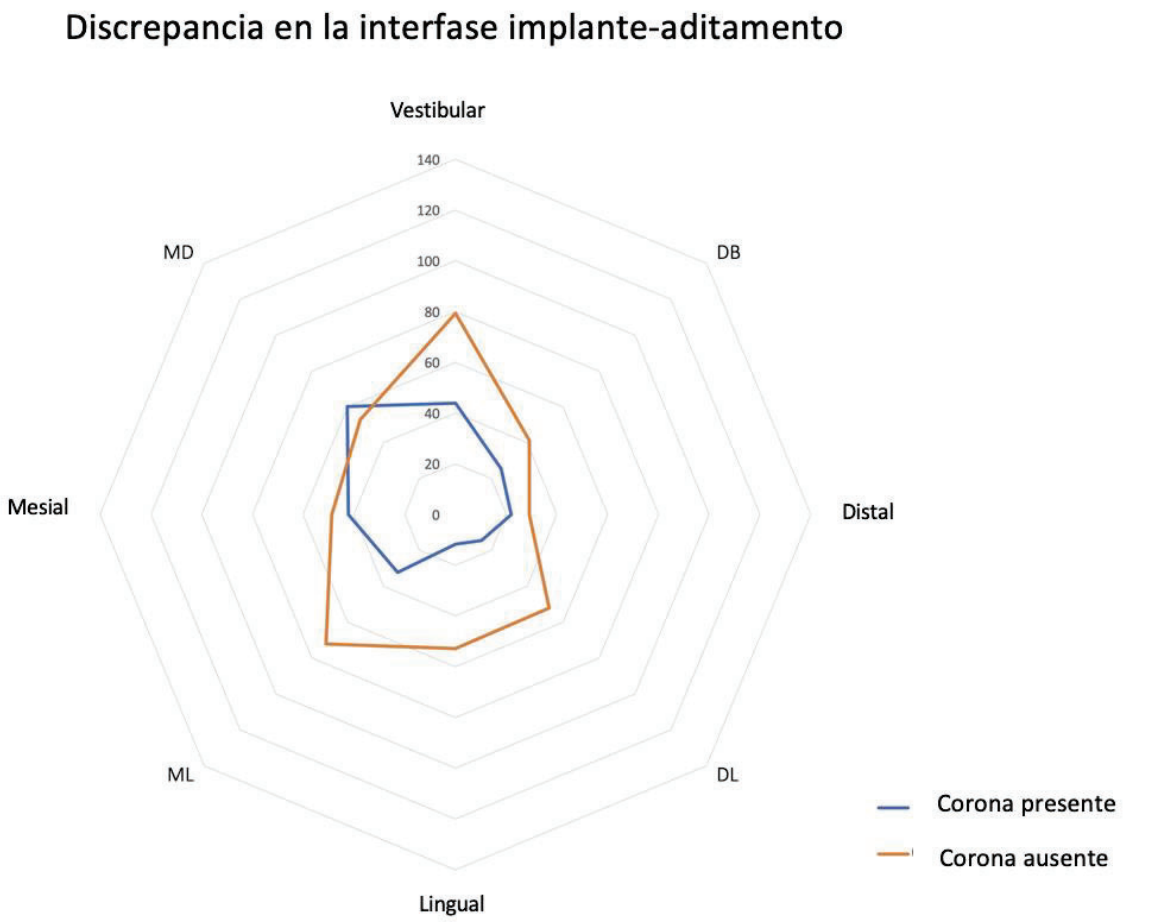


Figura 34: Gráfico de radar que muestra la distribución de las discrepancias (μm) entre implante-aditamento protético entre los implantes en premolares con o sin corona protética.

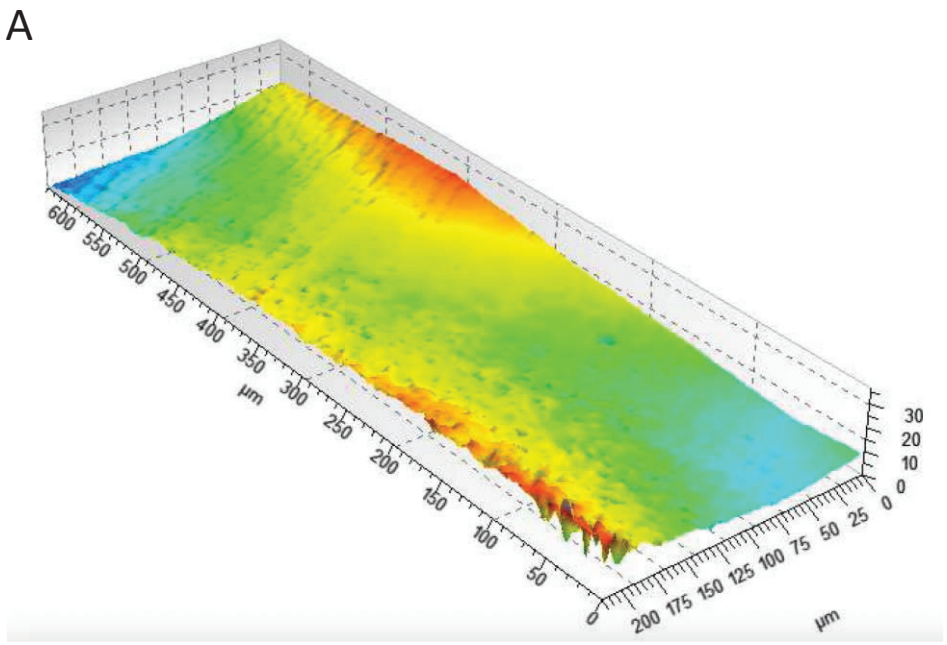


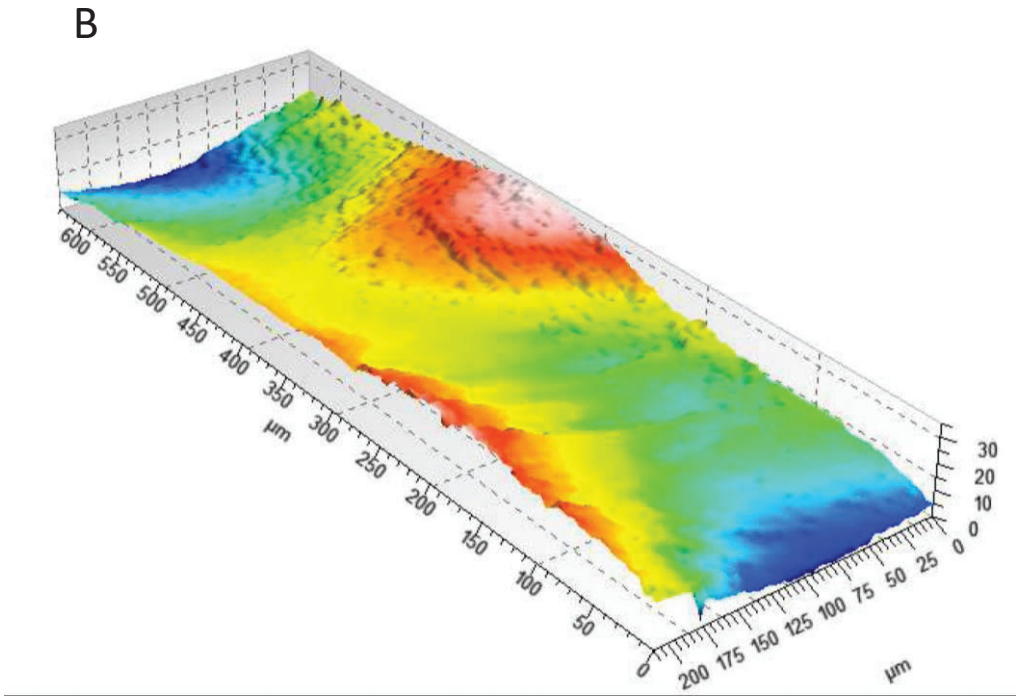
7.2 RESULTADOS OBTENIDOS QUE NO SE ENCUENTRAN DENTRO DEL ESTUDIO PUBLICADO

Tras la publicación del artículo se realizó un análisis adicional para determinar si la presencia de la corona protética influye en la rugosidad obtenida tras realizar la implantoplastia.

Se realizaron un total de 80 mediciones, 4 por cada uno de los 20 implantes (10 por grupo). Dichas mediciones correspondieron a las 4 caras de cada implante: vestibular, mesial, lingual y distal (Figura 35).

Figura 35: Imágenes de microscopía confocal sobre la rugosidad conseguida en los implantes con o sin corona protética.





A: Imagen de microscopía confocal del grupo sin corona protética (implante mandibular en posición de premolar derecho), B: Grupo con corona protética (implante mandibular en posición de premolar izquierdo).

La tabla 7 muestra los resultados de Sa (µm) y Sz (µm) en ambos grupos. Por otro lado, los resultados del modelo mixto de medidas repetidas mostraron que la presencia de la corona influenciaba el valor de Sa (χ^2 = 5.08; df = 1; P = 0.024) pero no el valor de Sz (χ^2 = 0.08; df = 1; P = 0.778).

Tabla 7: Resultados de las variables Sa y Sz en los grupos con y sin corona protética.

	Sa (µm)		Sz (µm)	
	Media (DE)	P	Media (DE)	P
Con corona protética	0.58 (0.24)	0.024*	23.53 (10.81)	0.778
Con corona protética	0.45 (0.19)		24.13 (9.24)	

*Diferencia estadísticamente significativa.

Los parámetros de rugosidad Sa (χ^2 = 21.67; df = 3; P < 0.001) y Sz (χ^2 = 35.28; df = 3; P < 0.001) también se vieron influenciados por la cara del implante (i.e., mesial, distal, vestibular o lingual) tal y como se puede observar en las tablas 8 (valores Sa) y 9 (valores Sz).

El efecto de la interacción entre ambos factores (i.e., la presencia de la corona y la cara del implante) resultó significativa para el parámetro Sa (χ^2 = 9.98; df = 3; P = 0.019) pero no para el Sz (χ^2 = 0.69; df = 3; P = 0.876).

Tabla 8: Resultados de la variable Sa (µm) según la cara del implante estudiada en los grupos con y sin corona protética.

	Sa (µm)	Vestibular	Mesial	Lingual	Distal
Con corona protética	Media	0.50	0.58	0.65	0.59
	Desviación estándar	0.24	0.26	0.22	0.27
	Mínimo	0.27	0.26	0.26	0.28
	Máximo	0.92	1.05	0.90	0.81
Sin corona protética	Media	0.24	0.48	0.44	0.65
	Desviación estándar	0.39	0.11	0.15	0.16
	Mínimo	0.19	0.33	0.21	0.41
	Máximo	0.29	0.70	0.69	0.97

Tabla 9: Resultados de la variable Sz (µm) según la cara del implante estudiada en los grupos con y sin corona protética.

	Sz (µm)	Vestibular	Mesial	Lingual	Distal
Con corona protética	Media	16.42	26.93	21.99	28.79
	Desviación estándar	6.47	11.25	10.14	11.51
	Mínimo	7.52	5.49	8.19	9.38
	Máximo	25.51	39.98	37.53	41.56
Sin corona protética	Media	14.47	28.97	22.71	30.38
	Desviación estándar	5.71	6.60	7.53	7.85
	Mínimo	6.09	16.76	13.01	15.75
	Máximo	26.02	39.78	34.61	41.99

Los resultados de las comparaciones múltiples por pares mostraron que solamente cuando se analiza el valor Sa en la cara vestibular existe una diferencia significativa entre el grupo sin corona protética con el grupo con corona protética (DM: -0.26 µm; IC95%: -0.48 a -0.04; $P_{Bonferroni}$ = 0.013). No obstante, en todas las caras, excepto en la distal, se observa una reducción de los valores de Sa en el grupo sin corona. La tabla 10 muestra los valores obtenidos en las comparaciones post-hoc por pares efectuadas.

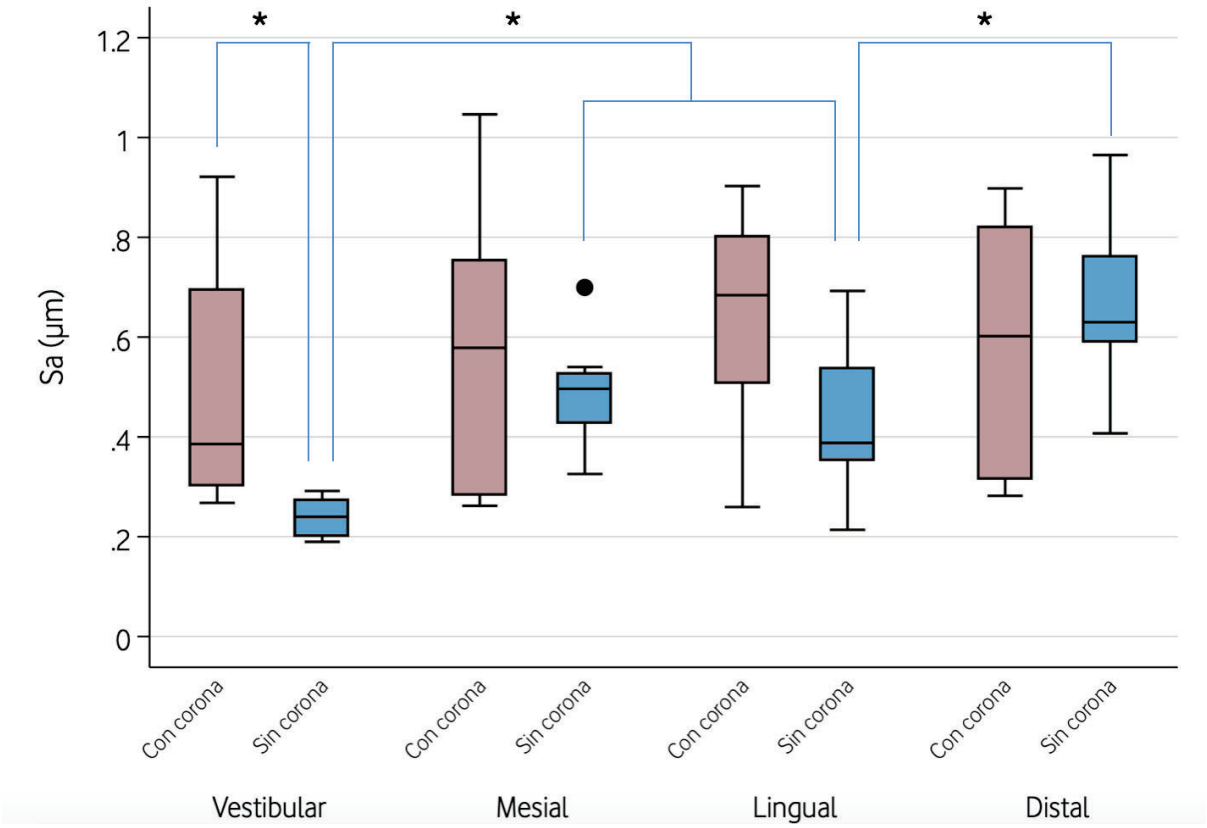
Tabla 10: Resultados del análisis post-hoc con corrección de Bonferroni para comparar los parámetros de rugosidad entre los grupos de estudio en las distintas caras del implante.

Sin corona Vs Corona		DM (IC95%)	$P_{Bonferroni}$
Sa (µm)	Vestibular	-0.26 (-0.48 a -0.04)	0.013*
	Mesial	-0.10 (-0.32 a 0.12)	1.000
	Lingual	-0.21 (-0.43 a 0.01)	0.063
	Distal	0.06 (-0.16 a 0.28)	1.000
Sz (µm)	Vestibular	-1.95 (-11.61 a 7.72)	1.000
	Mesial	2.04 (-7.62 a 11.70)	1.000
	Lingual	0.72 (-8.94 a 10.38)	1.000
	Distal	1.59 (-9.07 a 11.25)	1.000

*Diferencia estadísticamente significativa. DM: Diferencia de medias; IC95%: Intervalo de confianza del 95%

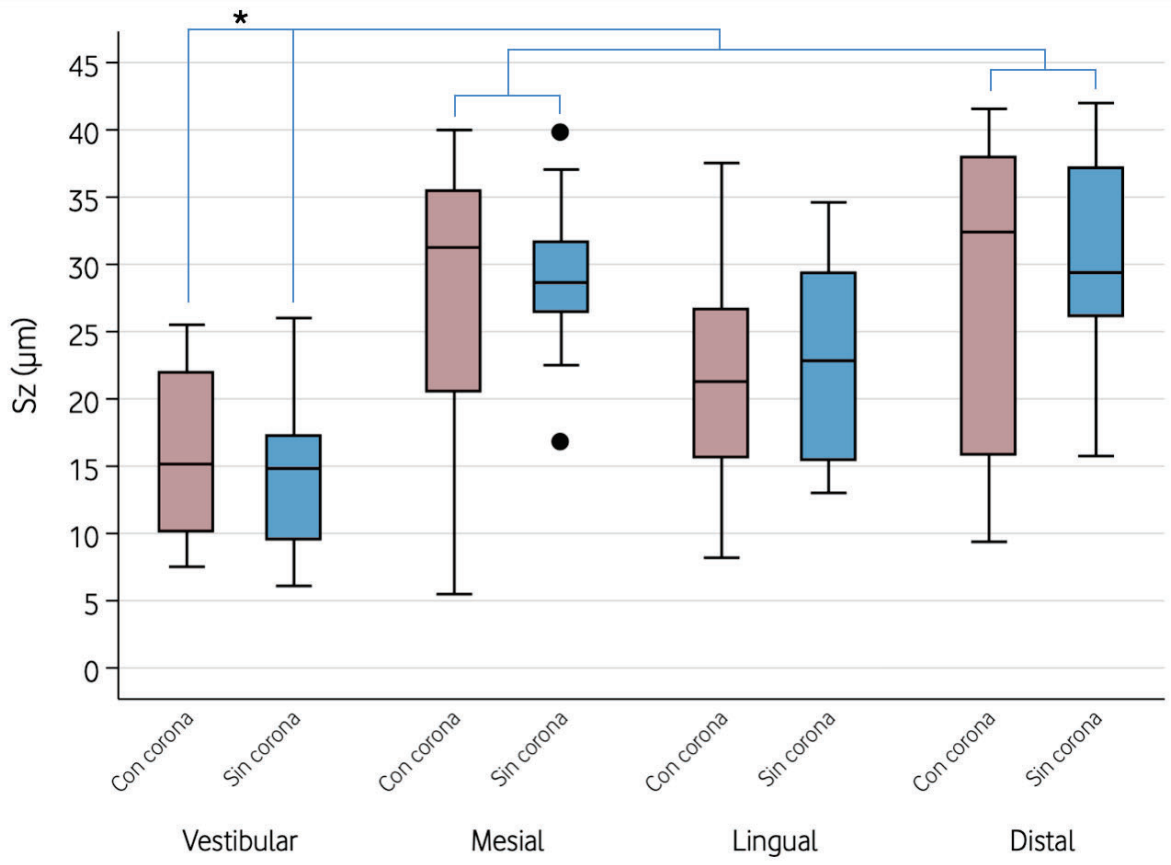
En las figuras 36 y 37 se puede observar la rugosidad (Sa y Sz) en las diferentes caras del implante comparando los dos grupos de estudio (con corona y sin corona).

Figura 36: Diagrama de caja sobre la rugosidad obtenida (valor Sa en μm) en las diferentes caras de los implantes con y sin corona protética.



*Diferencias estadísticamente significativas

Figura 37: Diagrama de caja sobre la rugosidad obtenida (valor Sz en μm) en las diferentes caras de los implantes con y sin corona protética.



*Diferencias estadísticamente significativas

8. DISCUSIÓN

8.1 PERIIMPLANTITIS: PERSPECTIVAS DE TRATAMIENTO SEGÚN EVIDENCIA ACTUAL

Vista la complejidad y los resultados del tratamiento de la periimplantitis, queda patente la importancia de la prevención primaria de esta complicación biológica.(53,54) Tal y como se describe en la literatura, existen múltiples terapias quirúrgicas para la periimplantitis con resultados favorables a corto y medio plazo.(190,191). Sin embargo, hay que tener en cuenta que la resolución de estas patologías debería ser sinónimo de salud periimplantaria, definida como ausencia de inflamación, ausencia de sangrado al sondaje, ausencia de pérdida ósea y de disminución de la profundidad de sondaje tras la intervención quirúrgica.(192) Asimismo, es importante considerar que la evolución de la pérdida ósea puede variar significativamente en función del tratamiento realizado (resectivo o regenerativo). En todo caso, el objetivo es detener la pérdida ósea progresiva y eliminar la inflamación.(54,192)

Por otra parte, la resolución de la patología periimplantaria puede valorarse a nivel de implante o a nivel de paciente. Para determinar la prevalencia de enfermedades periimplantarias, sería recomendable registrar los datos por paciente, debido a que un paciente con al menos un implante afectado ya precisa tratamiento. Por otra parte, el número de implantes afectados también es importante, ya que la presencia de factores de riesgo inherentes al paciente también afecta a los implantes sanos.

La falta de uniformidad a la hora de comunicar los resultados impide realizar comparaciones directas entre estudios y poblaciones. De hecho, la mayoría de los autores utiliza como variables de resultado la reducción de profundidad de sondaje, del porcentaje de localizaciones con sangrado al sondaje o la evaluación de las diferencias en el nivel óseo. Estas variables suelen reflejar una mejora de la situación clínica, pero no indican que haya una

resolución completa de la periimplantitis. Por ejemplo, en el ensayo clínico de Isler y colaboradores se comprobó una reducción de las profundidades de sondaje y del número de puntos de sangrado tras la cirugía periimplantaria regenerativa.(158) No obstante, no se indica cuántos implantes presentaron una resolución completa de la patología.(158) Otros estudios muestran los resultados de forma similar.(144,151) Siguiendo la misma línea, las revisiones sistemáticas, al recoger estudios con criterios diagnósticos dispares, utilizan otros valores para evaluar la terapia periimplantaria, como la supervivencia de los implantes (que no tiene en cuenta factores como el nivel óseo o la inflamación de los tejidos blandos periimplantarios).(193) De esta forma, concluyen que los abordajes quirúrgicos para el tratamiento de la periimplantitis tienen buenos resultados a medio plazo, pero sin asegurar que la patología periimplantaria haya remitido por completo.(193) Por el contrario, el estudio de Mercado y colaboradores muestra que solo el 56.6% de los pacientes presentó la resolución de la enfermedad tras un seguimiento de 3 años tras el tratamiento periimplantario.(159) Este porcentaje se podría considerar bajo, teniendo en cuenta que el periodo de seguimiento es relativamente corto y que en esta cohorte se utilizaron distintos tipos de biomateriales (xenoinjerto y derivado de la matriz del esmalte) junto con antibióticos locales.(159) Renvert y colaboradores también reportan resultados poco alentadores: en el grupo control (sin colocación de biomaterial) solo un 5% (1/20 implantes) de los implantes tuvieron resolución de la periimplantitis y en el grupo experimental (con utilización de sustitutos óseos) esta cifra se quedó en el 42.9%.(147) Estos bajos porcentajes son comunes en estudios donde se analiza el éxito del tratamiento periimplantario como ausencia de enfermedad.(194–196)

Así, queda claro que la proporción de pacientes que presenta una remisión total de la periimplantitis tras el tratamiento es relativamente baja, incluso a medio plazo. Esto subraya

aún más la importancia de la prevención en este tipo de patologías. Por otra parte, como se ha demostrado en diferentes estudios, el diagnóstico y tratamiento precoz (prevención secundaria) son clave para una evolución favorable.(54,57) Además, es necesario seguir investigando sobre cuáles serían los tratamientos más adecuados que permitan mejorar el pronóstico de éstos pacientes.

8.2 IMPLANTOPLASTIA: EVIDENCIA ACTUAL SOBRE ESTUDIOS DE LABORATORIO Y EN MODELO ANIMAL

Es crucial recordar la importancia que tienen los estudios de laboratorio *in vitro*, así como los estudios en modelo animal, ya que permiten controlar muchas variables y enfocar el análisis a un aspecto concreto. Tal y como se ha descrito en la introducción, muchos de los primeros estudios sobre implantoplastia se han llevado a cabo en el ámbito clínico, y existen pocos estudios de laboratorio previos que muestren la seguridad y la eficacia de esta técnica.

8.2.1 Rugosidad

La revisión sistemática realizada para esta tesis doctoral ha permitido recabar información relevante sobre la rugosidad superficial conseguida tras la implantoplastia.

Primeramente, cabe destacar que existen múltiples protocolos de fresado de la implantoplastia, que emplean la combinación de fresas de carburo de tungsteno o de diamante de distintos tamaños de grano, seguido de pulidores de silicona o piedras de Arkansas. El estudio de Ramel y colaboradores aporta numerosos datos al comparar los distintos protocolos.(170) Según estos autores, la estrategia más eficaz consistiría en el uso de fresas de diamante junto con la piedra de Arkansas.(170) No obstante, este estudio no

evaluó fresas de carburo de tungsteno. En contraste, el protocolo de fresado utilizado por Costa-Berenguer y colaboradores se basó en el uso de una fresa multilaminada de carburo de tungsteno, seguida de dos pulidores de silicona.(171) Esto permitió obtener un pulido similar a una superficie mecanizada (torneada) (Sa = 0.1 $\pm$ 0.02 μm).(171) Otro estudio más reciente también mostró resultados favorables con el uso de fresas de carburo de tungsteno y pulidores de silicona en comparación con las fresas de diamante y el pulido mediante piedras de Arkansas.(188) Por esta razón, se decidió emplear el protocolo de Costa-Berenguer y colaboradores (171) en la presente tesis doctoral, con el objetivo de obtener una superficie lo más lisa posible y lo más cercana a una superficie mecanizada.

La revisión sistemática también reveló que la gran mayoría de los protocolos permite la reducción significativa de la rugosidad de las superficies más habituales. Sin embargo, es importante remarcar que la superficie obtenida tras la implantoplastia sigue siendo más rugosa que una superficie mecanizada.(164,170,188)

La rugosidad final es un parámetro clínicamente relevante, ya que según Beheshti Maal y colaboradores(188) las superficies menos rugosas permiten una mayor aposición de fibroblastos gingivales humanos.

Tras la realización de nuestra revisión sistemática se han publicado 5 estudios nuevos que analizan la rugosidad de las superficies tras la implantoplastia.(197–200) En la tabla 11 se muestran los resultados de estas nuevas publicaciones y los obtenidos en nuestro estudio *in vitro*. En la tabla 1 (página 73) se encuentran los resultados de los estudios más antiguos, incluidos en la revisión sistemática (204).

Tabla 11: Análisis de la rugosidad tras implantoplastia de los nuevos estudios *in vitro*

Autores (Año)	Tipo de estudio	Muestra	Protocolo de la implantoplastia y grupos de estudio	Rugosidad de superficie
Sivolella y cols. (2021) (197)	*In vitro*	18 implantes superficie moderadamente rugosa.	Comparación de protocolos. G1: 2 fresas de carburo de tungsteno G2: 2 fresas de carburo de tungsteno + piedra de Arkansas G3: 2 fresas diamantadas mediante ultrasonidos G4: 2 fresas diamantadas mediante ultrasonidos + piedra de Arkansas	**Ra** G1: 0.64 ± 0.15 µm G2: 0.54 ± 0.06 µm G3: 0.91 ± 0.16 µm G4: 0.60 ± 0.05 µm CP: 0.06 ± 0.01 µm CR: 0.75 ± 0.07 µm **Rz** G1: 3.82 ± 0.45 µm G2: 2.78 ± 0.30 µm G3: 4.84 ± 0.93 µm G4: 3.03 ± 0.34 µm CP: 0.42 ± 0.12 µm CR: 4.24 ± 0.35 µm
Stuani y cols. (2021)(198)	*In vitro*	24 microimplantes de superficie mecanizada y mínimamente rugosa.	Fresa diamantada de grano medio + pulidor de silicona IPM: Implantoplastia en implante mecanizado IPR: Implantoplastia de implante mínimamente rugoso Control mecanizado (CM) Control rugoso (CR)	**Sa** IPM: 0.20 ± 0.01 µm IPR: 0.22 ± 0.02 µm CM: 0.41 ± 0.01 µm CR: 0.84 ± 0.04 µm **Sz** IPM: 2.89 ± 0.25 µm IPR: 3.29 ± 0.22 µm CM: 6.37 ± 0.14 µm CR: 11.84 ± 1.51 µm
Lin y cols. (2022)(199)	*In vitro*	10 implantes superficie moderadamente rugosa.	2 fresas diamantadas (grano 46 µm y 25 µm) + pulido mediante piedra de Arkansas + Láser Er,Cr:YSGG a diferentes potencias: G1: Implantoplastia (IP) G2: IP + Er,Cr:YSGG 0.5 W G3: IP + Er,Cr:YSGG 1 W G4: IP + Er,Cr:YSGG 1.5W G5: IP + Er,Cr:YSGG 2 W	**Ra** G1: 0.621 ± 0.06 µm G2: 0.709 ± 0.091 µm G3: 0.674 ± 0.157 µm G4: 0.728 ± 0.267 µm G5: 0.771 ± 0.134 µm
Yildiz y cols. (2022)(200)	*In vitro*	36 discos de titanio que simulan superficie moderadamente rugosa.	G1: 2 fresas de carburo (anillo rojo + blanco) G2: 2 fresas de carburo (anillo rojo + blanco) + 1 pulidor silicona G3: 2 fresas de carburo (estándar + anillo blanco) G4: 2 fresas de carburo (estándar + anillo blanco) + 1 pulidor silicona G5: 3 fresas de diamante (granos de 125 µm, 40 µm, 15µm) G6: 3 fresas de diamante (granos de 125 µm, 40 µm, 15µm) + 1 pulidor silicona CM: Control mecanizado CR: Control rugoso	**Medianas Ra** G1: 0.21 µm G2: 0.14 µm G3: 0.24 µm G4: 0.13 µm G5: 0.37 µm G6: 0.27 µm CP: 0.22 µm CR: 1.39 µm **Medianas Rz** G1: 1.12 µm G2: 0.69 µm G3: 1.04 µm G4: 0.69 µm G5: 2.00 µm G6: 1.20 µm CM: 1.79 µm CR: 10.3 µm

Yildiz y cols. (2022)(201)	*In vitro*	48 discos de titanio	G1: 2 fresas de diamante (40 μm y 15 μm) + 1 pulidor silicona G2: 2 fresas de diamante (125 μm y 40 μm) + 1 pulidor silicona CM: Control mecanizado CR: Control rugoso	**Ra** G1: 0.602 ± 0.13 μm G2: 0.862 ± 0.12 μm CM: 0.236 ± 0.09 μm CR: 1.351 ± 0.26 μm
Burgueño-Barris y cols. (2023) (202)	*In vitro*	20 implantes superficie moderadamente rugosa.	Fresa de carburo de tungsteno + 2 pulidores de silicona. Acceso favorable (AF) Acceso limitado (AL) Control mecanizado (CM) Control rugoso (CR)	**Sa** Media: 0.60 ± 0.14 μm AF: 0.53 ± 0.10 μm AL: 0.68 ± 0.13 μm CM: 0.24 ± 0.01 μm CR: 1.83 ± 0.10 μm **Sz** Media: 11.41 ± 4.03 μm AF: 8.98 ± 1.40 μm AL: 13.84 ± 4.33 μm CM: 4.46 ± 0.15 μm CR: 37.78 ± 0.35 μm

IP: Implantoplastia, IPM: Implantoplastia superficie mecanizada, IPR: implantoplastia superficie mínimamente rugosa, CR: control rugoso, CM: control mecanizado, AF: acceso favorable, AL: acceso limitado

Al comparar los resultados de la literatura con los del estudio *in vitro* realizado se debe destacar que la principal diferencia son las condiciones del fresado. Todos los estudios, excepto el de Sahrmann y colaboradores,(174) realizaron la implantoplastia en una situación ideal, con implantes montados en una plataforma con posibilidad de visualizar todas las caras del implante. Incluso algunos estudios realizaron la implantoplastia en discos de titanio que simulaban la rugosidad original de los implantes, pero no su forma (185,188) y el estudio de Tawse-Smith y colaboradores realizó el fresado con una máquina de forma robotizada.(185) En el estudio de Sahrmann y colaboradores(174), al igual que en el nuestro, se intentó recrear una situación clínica más real, empleando modelos anatómicos fijados a fantomas para realizar la implantoplastia. La principal diferencia entre estos 2 estudios reside en que nuestros modelos tenían una silicona para simular los tejidos blandos, lo que añadió más realismo y aumentó la dificultad del tratamiento.

En el estudio incluido en la presente tesis doctoral, la rugosidad (Sa media total = 0.60 ± 0.14 μm) fue similar a la obtenida por Beheshti Maal y colaboradores con el mismo protocolo (Sa = 0.41 ± 0.13 μm (188). De hecho, si se compara con el grupo con acceso favorable (Sa = 0.53 ± 0.10 μm), los resultados se aproximan aún más. No obstante, la rugosidad sigue siendo mayor que la obtenida por Costa-Berenguer y colaboradores(171) que presenta valores similares a los del control mecanizado del estudio (Sa = 0.24 ± 0.01 μm). Todo esto refleja que la implantoplastia es menos precisa al hacerse en condiciones similares a la clínica. En nuestro estudio, el uso de modelos con encía, la presencia de dientes proximales, la posición del implante y la presencia de la corona dificultaron el procedimiento. Esto se refleja en los resultados del valor Sz, donde se observaron peores valores en las zonas proximales (Mesial y distales) que son donde hay peor acceso visual. No obstante, en una situación clínica se deben sumar aún más dificultades, como el movimiento del paciente, la presencia de la lengua y del aspirador, el acúmulo de líquidos, etc. Por esta razón, es de esperar que los resultados de rugosidad y su homogeneidad sean aún peores que en condiciones de laboratorio.

8.2.2 Deformidad de la superficie del implante

Tal y como se ha evidenciado en el estudio *in vitro* incluido en la presente tesis doctoral, la implantoplastia parece alterar la superficie del implante. Este cambio de morfología se ha podido evidenciar mediante microscopía electrónica de barrido y aunque se haya analizado solamente la presencia de espiras remanentes y de restos de silicona, también se han podido apreciar discontinuidades de la superficie.

Otros estudios han analizado también la superficie de los implantes tras implantoplastia mediante microscopía electrónica de barrido (SEM). Las publicaciones muestran imágenes

similares a las presentadas en esta tesis doctoral y definen la superficie tras la implantoplastia como pulida aunque con presencia de muescas, ranuras, rayas, trazos y muescas.(197,203) Se requieren más estudios para evaluar si estas deformidades tienen un impacto clínico en la resolución de la enfermedad.

8.2.3 Biocompatibilidad de la superficie

Los estudios de Schwartz y colaboradores y Toma y colaboradores parecen mostrar que la implantoplastia no afecta a la viabilidad celular sobre la superficie del implante.(186,187) Esto es de gran importancia, ya que los fibroblastos deben ser viables y tener capacidad de proliferación para obtener un adecuado sellado mucoso en la zona pulida, sobre todo porque el principal objetivo del tratamiento es la reducción de bolsas periimplantarias. Además, parece que un mejor pulido de la superficie se correlaciona con un mayor crecimiento de fibroblastos gingivales y la presencia de citoquinas.(188)(201) No obstante, otra publicación de Stuani y colaboradores (198) mostró que las superficies con implantoplastia tenían una menor migración y adhesión de los preosteoblastos. Los datos de algunos de estos estudios se encuentran resumidos en la tabla 12.

Según la revisión sistemática realizada (204), la implantoplastia parece afectar a la composición de la superficie del implante y, por esa razón, podría comprometer su biocompatibilidad. Específicamente, se registraron diferentes porcentajes de titanio, oxígeno, carbono, aluminio y sodio en comparación con las superficies moderadamente rugosas intactas. Por otro lado, también existieron diferencias en los porcentajes de titanio, nitrógeno y aluminio respecto a las superficies mecanizadas. Recientemente, se han publicado 2 estudios (198,199) que también cuantificaron los cambios químicos en la superficie del

implante (Tabla 12). Los resultados de estudios incluidos en la revisión sistemática (204) se resumen en la tabla 3 (página 77).

Tabla 12: Análisis de la biocompatibilidad de la superficie del implante tras implantoplastia de los estudios no incluidos en la revisión sistemática.

Estudios (Año)	Tipo de estudio	Muestra	Protocolo de la implantoplastia y grupos de estudio	Biocompatibilidad: viabilidad celular	Composición química de la superficie del implante
Lin y cols. (2022)(199)	*In vitro*	10 implantes superficie moderadamente rugosa	2 fresas diamantadas (grano 46 μm y 25 μm) + pulido mediante piedra de Arkansas G1: Implantoplastia CR: Control	-	Porcentaje de los elementos: Grupo 1: C: 2.94% O: 35.32% P: 7.82% Ti: 53.92% Control Rugoso: C: 3.63% O: 3.63% P: 0.10% Ti: 92.64%
Stuani y cols. (2021)(198)	*In vitro*	24 microimplantes de superficie mecanizada y mínimamente rugosa	Fresa diamantada de grano medio + pulidor de silicona Test: Implantoplastia implante mínimamente rugoso Control mecanizado (CM) Control mínimamente Rugoso (CR)	Disminución de la hidrofilia de la superficie del implante tras la implantoplastia.	Porcentaje de los elementos: Test: Ti: 81.66 ± 0.86% O: 8.73 ± 0.26% C: 4.81 ± 0.35% Na: 1.87 ± 0.59% Al: 0.05 ± 0.01% Cl: 1.41 ± 0.48% Otros: 1.49 ± 0.09% Control Mecanizado: Ti: 91.48 ± 0.91% O: 8.52 ± 0.91% C: 0% Na: 0% Al: 0% Cl: 0% Otros: 0% Control Rugoso: Ti: 95.33 ± 0.16% O: 4.67 ± 0.16% C: 0% Na: 0% Al: 0% Cl: 0% Otros: 0%
Yildiz y cols. (2022)(201)	*In vitro*	48 discos de titanio	G1: 2 fresas de diamante (40 μm y 15 μm) + 1 pulidor silicona G2: 2 fresas de diamante (125 μm y 40 μm) + 1 pulidor silicona CM: Control mecanizado CR: Control rugoso	Estudio crecimiento fibroblastos gingivales humanos. El crecimiento depende de rugosidad de la superficie. La máxima adhesión se produjo en el grupo CR en comparación con los demás grupos tanto a las 24h-48h-72horas.	-

C: Carbono, O: Oxígeno, P: Fósforo, Ti: Titanio, Cl: Cloro, Na: Sodio, Al: Aluminio, G: Grupo, CR: Control rugoso, CM: control mecanizado

Por otro lado, varios estudios han analizado el posible aumento de la temperatura alrededor de la zona donde se realiza la implantoplastia, ya que podría afectar al hueso y a los tejidos blandos. Stavropoulos y colaboradores analizaron 3 estudios y concluyeron que la implantoplastia parece no producir un daño térmico a los tejidos periimplantarios, ya que se realiza bajo irrigación.(178)

8.2.4 Biofilm

La retirada del biofilm es uno de los objetivos de la implantoplastia, ya que este es un factor iniciador de la patología. Parece ser que la implantoplastia obtiene mejores resultados en cuanto a la eliminación del biofilm en comparación con el uso de agentes químicos, láser u otros sistemas de desbridamiento mecánico.(189)(198) Sin embargo, otro estudio concluyó que no parecen existir diferencias con otros sistemas de descontaminación, como el espray de aire a presión o el Ti Brush® (Straumann®, Basilea, Suiza).(173)

La recolonización bacteriana tras la implantoplastia también es otro factor clínicamente relevante, ya que uno de los principales objetivos de la intervención es dificultar la adhesión bacteriana y facilitar su remoción por parte del paciente. El hecho de eliminar las espiras y, por lo tanto, cambiar la geometría macroscópica del implante, reduce las áreas de acúmulo de biofilm y facilita el acceso para la higiene. Esta mejoría se debería evidenciar tanto en la higiene diaria del paciente como durante las sesiones de mantenimiento. Azzola y colaboradores (205) observaron una menor recolonización en superficies con implantoplastia que en las originales. No obstante, algunos estudios muestran resultados similares a los

obtenidos con agentes químicos, la utilización de espráis abrasivos o el uso de cepillos de titanio como el Ti Brush® (Straumann®, Basilea, Suiza).(172,173) Los resultados de los estudios más recientes se pueden observar en la tabla 13.

Tabla 13: Análisis del biofilm sobre la superficie de implantes tras la realización de la implantoplastia.

Estudios (Año)	Tipo de estudio	Muestra	Protocolo de la implantoplastia y grupos de estudio	Eliminación del biofilm	Recolonización de la superficie
Azzola y cols. (2020)(205)	*In vivo*	1 voluntario con una férula bucal durante 5 días con 3 implantes moderadamente rugosos y 3 con implantoplastia	2 fresas de diamante (30 μm, 15 μm), pulido con 1 piedra de Arkansas y 1 pulidor de silicona Test: Implantoplastia CR: Control rugoso	-	Porcentaje recolonización biofilm: Test: 16% (DE = 0) Biofilm no madura CR: 65% (DE = 7.07) Biofilm grueso, complejo y maduro.
Stuani y cols. (2021)(198)	*In vitro*	24 microimplantes de superficie mecanizada y mínimamente rugosa	Fresa diamantada de grano medio + pulidor de silicona IPM: Implantoplastia en implante mecanizado IPR: Implantoplastia implante mínimamente rugoso Control mecanizado (CM) Control Rugoso (CR)	Todos los métodos experimentados obtuvieron buenos resultados sin diferencias entre ellos (implantoplastia, Ti Brush®, curetas metálicas o CHX 2%).	-

CR: control rugoso, CM: control mecanizado, DE: desviación estándar, IPM: Implantoplastia implante mecanizado, IPR: Implantoplastia implante rugoso, CHX: clorhexidina, Ti Brush® (Straumann®, Basilea, Suiza)

La literatura disponible sobre este tema es claramente insuficiente y se requieren estudios clínicos que puedan corroborar los hallazgos de los estudios *in vitro*. Baima y colaboradores (206) no pudieron identificar un tratamiento de descontaminación de superficie superior a los demás.(206) Un ensayo clínico que comparó la implantoplastia y el uso del espray de aire abrasivo de glicina mostró que ambas opciones producían resultados similares a los 6 meses.(207) Es importante destacar que los autores emplearon una única fresa redonda de

diamante de 30 μm de tamaño de partícula para efectuar la implantoplastia, lo que podría indicar que la superficie no estaba correctamente pulida.(207) Por esta razón, se requieren más estudios con protocolos de fresado más meticulosos y con seguimiento a largo plazo, con el fin de analizar los efectos de la implantoplastia en la recolonización bacteriana.

Por otro lado, la presente tesis doctoral pone de manifiesto la importancia de estudiar el impacto de las discrepancias en la interfase plataforma-aditamento protético, dado que estas pueden favorecer el acúmulo de biofilm bacteriano y comprometer el sellado biológico. En nuestro estudio, se emplearon implantes con conexión externa sin cuello pulido, que son los que tienen una interfase más proclive a ser dañada durante el pulido. Posiblemente los implantes de conexión interna o que tengan un cuello pulido no están tan expuestos al daño de dicha conexión.

8.2.5 Análisis de fractura y fatiga

Aunque los estudios efectuados no hayan analizado la resistencia a la fractura de los implantes tras implantoplastia, éste es uno de los ámbitos más estudiados en la literatura, ya que el pulido de la superficie podría reducir la resistencia a la fractura de los implantes. De hecho, varios estudios han demostrado que la implantoplastia produce una disminución del diámetro del implante,(171,197,208–210), a pesar de que el fresado de la implantoplastia debería limitarse a las espiras y no afectar la zona de menor grosor del implante (el punto con más declive entre espiras).

Los estudios publicados muestran disparidad de resultados, ya que existen distintas variables que pueden afectar a la resistencia del implante. Un factor fundamental que influye en la resistencia del implante es el grado de la aleación de titanio empleado en su fabricación. Un

trabajo reciente (211) analizó las aleaciones de titanio-zirconio y observó una disminución de la resistencia a la compresión tras la implantoplastia.(211) En general, los implantes con aleación de titanio-zirconio parecen mostrar una mayor resistencia tras la implantoplastia que los de titanio grado IV. (208)

A su vez, el diámetro original y el espesor de las paredes del implante son factores clave para la resistencia a la fractura tras la implantoplastia. Parece lógico que la implantoplastia afecte de forma más negativa a los implantes de diámetro estrecho o con paredes más delgadas. Por esta razón, algunos estudios muestran que los implantes de diámetro estándar o ancho (de 4 mm o más de diámetro de sección) no parecen reducir su resistencia mecánica tras la implantoplastia.(175) En cambio, Camps-Font y colaboradores (212) identificaron una disminución del 30% de la resistencia en los implantes de 3.5 mm de diámetro. Además, estos autores detectaron que las fracturas eran más frecuente en la plataforma o en el cuerpo del implante, y no a la altura del tornillo protético.(212)

Por otro lado, el tipo de conexión del implante podría afectar a la resistencia a la compresión. Las conexiones internas se realizan a expensas de disminuir el grosor de las paredes implante y, por lo tanto, podrían ser más susceptibles a fracturas. No obstante, los estudios no son concluyentes: en algunos casos no se observan diferencias entre conexiones (212), mientras que en otros casos parece ser más resistente la conexión interna cónica (cono Morse) (176). Otra variable importante a considerar seria la ratio corona-implante pues parece correlacionarse negativamente con la resistencia a la fractura tras la implantoplastia.(210)

La mayoría de los estudios publicados basan sus resultados en tests de resistencia estáticos. Sin embargo, la realidad clínica es diferente, ya que los implantes son sometidos a ciclos de carga que pueden producir fatiga del material. Camps-Font y colaboradores (213) observaron

que el límite de fatiga fue similar en implantes con y sin implantoplastia (529 N vs. 551 N). Jori y colaboradores (214) tampoco registraron fracturas de implantes con implantoplastia, ni roturas del aditamento, ni aflojamientos del tornillo protético tras 1.2 millones de ciclos (equivalentes a 5 años de masticación). No obstante, otro estudio con cargas cíclicas sí mostró un aumento de fracturas en implantes con implantoplastia, aunque solamente en el grupo de implante de titanio de grado IV y diámetro estrecho (3.3 mm).(208)

A modo de resumen, las fuerzas masticatorias habituales (aprox. 250 N) no parecen afectar de modo relevante al límite de fatiga de los implantes con implantoplastia siempre que el diámetro sea de al menos 3.5 mm. No obstante, se requieren más estudios, ya que existe mucha variabilidad en las condiciones de los ensayos efectuados (número de ciclos de carga, fuerza aplicada, etc). A su vez, es imprescindible analizar otros factores que pueden influenciar los resultados de estas pruebas como la temperatura), el uso de líquido de refrigeración, etc.

8.2.6 Desprendimiento de partículas

Recientemente se han publicado una serie de estudios que analizan el efecto que provocan las partículas que se desprenden al realizar la implantoplastia. Estas partículas se depositan en la mucosa, el periostio y el hueso y son difíciles de retirar. Se ha constatado que estas partículas de titanio pueden provocar reacciones inflamatorias en los tejidos.(180,215) En un trabajo experimental en ratas realizado por Toledano-Serrabona y colaboradores, se evaluó el efecto de la deposición de partículas de titanio grado V que se produce durante la implantoplastia y la acumulación de iones metálicos en sangre y en diversos órganos.(180) Tras un mes, se observó una reacción inflamatoria con la presencia de histiocitos y células gigantes multinucleadas.(180) Además, el grupo experimental presentó concentraciones

significativamente mayores de titanio en el cerebro, hígado y bazo, y de vanadio en el cerebro de los animales.(180) Dichas partículas podrían originar citotoxicidad, debido a la corrosión que se produce en el medio bucal y a la energía absorbida por las partículas durante el pulido.(181,216,217) La implantoplastia de la aleación Ti6Al4V, utilizada por distintas marcas comerciales para la fabricación de implantes, desprende iones de vanadio.(179) La liberación de este elemento es superior a la de los demás componentes y podría tener relación con la reducción de la citocompatibilidad de fibroblastos y osteoblastos.(179)

Aunque la implantoplastia sea un procedimiento que origina una gran dispersión partículas metálicas, otros procedimientos del tratamiento con implantes dentales también pueden producir liberaciones de elementos.(218) Por ejemplo, la inserción de un implante dental con una elevada fricción, la corrosión de la superficie del implante o incluso los tratamientos no quirúrgicos periimplantarios también pueden provocar el desprendimiento de partículas.(218) Asimismo, el desbridamiento de implantes con curetas de acero o de titanio podría producir cambios en la superficie que podrían facilitar la liberación de partículas.(119) (219) . Lo mismo podría ocurrir tras el uso de curetas de fibra de carbono o de espráis de aire abrasivo. Por último, las curetas de plástico, los pulidores de silicona y otros instrumentos pueden dejar virutas de material, que podrían afectar a los tejidos periimplantarios.(219)(171,185)

En consecuencia, aunque las superficies de los implantes tras la implantoplastia parecen mantener la biocompatibilidad y promover el crecimiento de los fibroblastos gingivales, el desprendimiento de partículas podría tener consecuencias a nivel local y sistémico que deben ser estudiadas más detenidamente para garantizar que esta técnica es segura.

8.3 IMPLANTOPLASTIA: EVIDENCIA ACTUAL PROCEDENTE DE ESTUDIOS CLÍNICOS

Existen en la literatura una considerable cantidad de estudios clínicos sobre la implantoplastia. Como se ha descrito anteriormente, la implantoplastia se utiliza principalmente en los tratamientos quirúrgicos de la periimplantitis con enfoques resectivos y combinados.

El enfoque resectivo tiene un objetivo similar al de la terapia resectiva periodontal: dejar la zona supraósea de la superficie del implante expuesta al medio bucal con el objetivo de reducir la profundidad de las bolsas periimplantarias. En este caso, la implantoplastia se realiza en todas las caras del implante y la superficie pulida queda expuesta o cubierta por mucosa.(166) En cambio, en el abordaje combinado, la implantoplastia sólo se lleva a cabo en la zona no contenida o que no se puede regenerar de los defectos óseos, generalmente en vestibular.(160)

La revisión sistemática de estudios clínicos de Stavropoulos y colaboradores concluye que, independientemente de la técnica, la implantoplastia no parece asociarse a complicaciones mecánicas o biológicas relevantes, si bien los autores refieren que son necesarios más estudios para determinar su efectividad para el tratamiento de la periimplantitis.(178)

Entre todos los estudios clínicos analizados, sólo se ha notificado un caso de tinción de la mucosa tras la realización de implantoplastia en una cirugía combinada.(220) Sin embargo, la ausencia de publicaciones específicas sobre las complicaciones clínicas de este tratamiento podría producir una subestimación del riesgo de las mismas.

Recientemente, se han publicado nuevas revisiones sistemáticas tanto sobre el tratamiento de la periimplantitis como específicamente de la implantoplastia. El meta-análisis de Cho-Ying y colaboradores(203) concluyó que la implantoplastia, ya sea en tratamientos con o sin regeneración, se asocia a altos porcentajes de supervivencia y resolución de la periimplantitis. Otros autores han llegado a conclusiones similares.(191,221)

8.3.1 Resultados de la implantoplastia en el enfoque quirúrgico resectivo

La implantoplastia parece mejorar el pronóstico del tratamiento quirúrgico resectivo, tal como mostró el ensayo clínico de Romeo y colaboradores.(150,166) En este trabajo, los niveles óseos en el grupo de implantoplastia se mantenían estables tras 3 años, mientras que en el grupo control se produjo una pérdida del hueso marginal.(150) A su vez, la implantoloplastia permitió una reducción significativa en la profundidad de sondaje y sangrado al sondaje.(166) No obstante, este estudio no aporta datos sobre la resolución de la periimplantitis y se publicó en el año 2005, cuando los criterios diagnósticos y protocolos de tratamiento eran diferentes de los actuales.

En otro ensayo clínico se comparó el efecto de la implantoplastia con el uso del espray pulidor de glicina en cirugías periimplantarias resectivas.(222) A los 6 meses no observaron diferencias entre los grupos en ningún parámetro y no se consiguió estabilizar la periimplantitis en ningún caso.(222)

Un estudio de cohortes analizó los resultados tras 2-6 años del tratamiento resectivo con implantoplastia.(223) Los porcentajes de pacientes e implantes con resolución de la periimplantitis fueron del 83% y el 87% respectivamente.(223) Tanto en este estudio como otra serie de casos publicada por los mismos autores, se propone dar al implante una forma

cónica, con el fin de imitar un cambio de plataforma y de establecer un ancho biológico más favorable.(223,224) Cabe destacar que esta serie de casos incluyó 4 pacientes y que sólo 2 mostraron una resolución de la periimplantitis.(224)

Revisiones recientes muestran que, como parece lógico, los abordajes resectivos producen recesiones mucosas en los implantes.(225) Por otro lado, una revisión con meta-análisis en red mostró que la implantoplastia en la cirugía resectiva redujo más la profundidad de sondaje que las curetas.(168)

La tabla 14 muestra el resumen de los estudios clínicos disponibles sobre los tratamientos quirúrgicos con enfoque resectivo y con implantoplastia.

Tabla 14: Resumen de los resultados de los estudios clínicos los tratamientos quirúrgicos con enfoque resectivo y con implantoplastia.

Estudios (Año)	Tipo de estudio	Pacientes (Implantes)	Tiempo de seguimiento	Protocolo de la implantoplastia	Resultados del tratamiento
Romeo y cols. (2005 y 2007) (150,166)	ECA	Test: IP 10 (19) 10 (20) Control: no IP 7 (16) 9 (18)	36 meses	2 fresas diamante (30 μm, 15 μm), 2 piedras de Arkansas y 2 pulidores silicona	Grupo implantoplastia mejores resultados en: supervivencia, profundidad sondaje, índice sangrado y pérdida ósea.
Sapata y cols. (2016) (226)	Caso clínico	1 (6)	24 meses	Fresa diamante, piedra de Arkansas y pulidor silicona	Resolución patología periimplantaria en todos los implantes.
Pommer y cols. (2016) (227)	Serie de casos	70 (70) 47: IP 23: IP + Láser	12-108 meses	Fresas de diamante	10 fracasos, sin diferencias con el uso de láser. Sin datos de resolución periimplantitis.
Englezos y cols. (2018) (151)	Serie de casos	25 (40)	24 meses	Fresas de diamante, piedra de Arkansas y 2 pulidores de silicona	Estabilidad parámetros clínicos: no pérdida ósea, disminución profundidad sondaje. Aumento recesión mucosa.
Bianchini y cols. (2019) (223)	Serie de casos	23 (32)	24-72 meses	Fresas de diamante (106 μm, 46 μm, 25 μm), piedra de Arkansas y 1 pulidor de silicona	Resolución patología: 83% pacientes 87% implantes Buenos resultados según parámetros

					clínicos (PS y SS) y radiológicos.
Dalago y cols. (2019) (228)	Serie de casos	8 (8)	36 meses	Fresa de diamante	Resolución patología: 62.5% pacientes.
Bianchini y cols. (2020) (224)	Serie de casos	4 (4)	36 meses	Fresas de diamante (106 μm, 46 μm, 25 μm), piedra de Arkansas y 1 pulidor de silicona	Buenos resultados, estabilidad ósea y mejora parámetros clínicos (PS y SS).
Lasserre y cols. (2020) (207)	ECA	Test: IP 16 (22) Control: aire abrasivo glicina 15 (20)	6 meses	1 fresa de diamante 30 μm	Buenos resultados en ambos grupos. Mejora en parámetros clínicos (PS y SS) y radiológicos (estabilidad). Sin diferencias entre los grupos.
Monje y cols. (2020) (229)	Serie de casos	14 (31)	12 meses	Fresas de carburo de tungsteno y pulidores de silicona Injerto gingival libre	Resolución patología: 78.6% pacientes 87.1% implantes Mejoría parámetros clínicos (PS y SS).
Ravidà y cols. (2020) (230)	ER	Test: IP 22 (30) Control: no IP 19 (38)	12 meses	Diferentes protocolos según el clínico	Resolución patología: 83.3% pacientes. Estabilidad niveles óseos y mejora parámetros clínicos (PS, SS). No influencia de la IP.
Martins y cols. (2022) (231)	Serie de casos	10 (20)	24 meses	2 fresas de diamante (40 μm, 15 μm) y piedra de Arkansas	Mejoría parámetros clínicos (PS y SS) y estabilidad ósea. Aumento recesión mucosa.
Monje y cols. (2022) (232)	ER	(43)	12 a 40 meses	Fresa de tungsteno y piedra de Arkansas	100% supervivencia Resolución patología: 71%. Mejoría parámetros clínicos (PS, SS).

ECA: Ensayo clínico aleatorizado, ER: Estudio retrospectivo, IP: Implantoplastia, PS: Profundidad de sondaje, SS: Sangrado al sondaje.

8.3.2 Resultados de la implantoplastia en el enfoque quirúrgico combinado

La implantoplastia utilizada en conjunto con un tratamiento quirúrgico con enfoque combinado parece ser clave para reducir la colonización bacteriana y facilitar la reposición coronal del colgajo.(160) La intervención se puede completar con un injerto de tejido conectivo, con el fin de aumentar el grosor mucoso, facilitar la higiene y mejorar la estética de la prótesis.(161)

Un ensayo clínico de Schwarz y colaboradores demostró resultados favorables a largo plazo (7 años de seguimiento) empleando la terapia combinada con implantoplastia.(160) Ambas terapias de descontaminación de la superficie (láser Er:YAG o uso de curetas de plástico + algodones + suero salino) permitieron reducciones del nivel de sangrado y ganancias a nivel de inserción clínica.(160) No obstante, este trabajo no aporta datos sobre la resolución de la periimplantitis. En un estudio retrospectivo del mismo grupo de trabajo, se analizaron los resultados del abordaje combinado en implantes colocados inicialmente en hueso injertado o en hueso nativo.(194) Los resultados fueron poco satisfactorios, ya que la periimplantitis se resolvió en el 40% de los pacientes en los que se habían colocado implantes en hueso injertado, y en el 24% en los que se colocaron en hueso nativo. (194) Así, aunque el tratamiento quirúrgico combinado con implantoplastia puede reducir la progresión de la periimplantitis, en muchos casos no resuelve la enfermedad.

La tabla 15 muestra el resumen de los estudios clínicos disponibles sobre cirugía periimplantaria con enfoque combinado y con implantoplastia.

Tabla 15: Resumen de los resultados de los estudios clínicos sobre implantoplastia en tratamientos quirúrgicos con enfoque combinado.

Estudios (Año)	Tipo de estudio	Pacientes (implantes)	Tiempo de seguimiento	Protocolo de la implantoplastia y regeneración	Resultados
Suh y cols. (2003) (165)	2 casos clínicos	2 (2)	6-7 meses	IP: Fresa de diamante Regeneración: Autólogo + membrana ePTFE	Relleno óseo radiográfico y resolución de la patología en ambos casos.
Thierbach y Eger (2013) (233)	Serie de casos	NR (17)	3 meses	IP: No especificado Regeneración: Autólogo + membrana colágeno	Mejora parámetros clínicos (PS y SS).
Matarasso y cols. (2014) (234)	Serie de casos	11 (11)	12 meses	IP: Fresas de diamante, piedra de Arkansas y 2 pulidores de silicona Regeneración: Xenoinjerto + membrana colágeno	Mejora parámetros clínicos (PS y SS). Relleno óseo radiográfico.
Schwarz y cols. (2014) (161)	Serie de casos	10 (13)	6 meses	IP: Fresas de diamante y piedra de Arkansas Regeneración: Xenoinjerto + membrana colágeno Injerto tejido conectivo	Mejora parámetros clínicos (PS y SS). Aumento altura mucosa.
Schwarz y cols. (2015) (235)	CR	5 (5)	8 a 78 meses	IP: Fresas de diamante y piedra de Arkansas Regeneración: Xenoinjerto + membrana colágeno	Relleno óseo radiográfico. 2 casos reinfección. 1 fracaso.
Schwarz y cols. (2017) (160)	ECA	Test: IP + láser Er:YAG 9 (9) Control: IP + curetas plástico + algodones suero 6 (6)	84 meses	IP: Fresas de diamante y piedra de Arkansas Regeneración: Xenoinjerto + membrana colágeno	Mejora en los parámetros clínicos (PS, SS y nivel de inserción clínico). Sin diferencias entre grupos.
Nart y cols. (2018) (236)	Serie de casos	13 (17)	12 meses	IP: Fresas de diamante de 40 μm y 15 μm y piedra de Arkansas Regeneración: Aloinjerto con ATB + membrana de colágeno	Mejora de parámetros clínicos (PS y SS) . Relleno óseo radiográfico.
Ramanaus kaite y cols. (2018) (237)	Serie de casos	39 (57)	6 a 126 meses	IP: Fresas de diamante y piedra de Arkansas Regeneración: Xenoinjerto + membrana colágeno	Resolución patología: 28% pacientes 33% implantes Mejora parámetros clínicos (PS y SS)
Wang y cols.	ECA	Test: IP + Er:YAG 12 (12) Control: IP	6 meses	IP: No especificado	Mejora parámetros clínicos (PS, SS y nivel de inserción clínico)

(2021) (238)		12 (12)		Regeneración: Aloinjerto + matriz dérmica acelular	
Wen y cols. (2021) (239)	Serie de casos	22 (30)	12 meses	IP: No especificado Regeneración: Autólogo, aloinjerto y xenoinjerto + membrana no reabsorbible ePTFE	Relleno óseo radiográfico. Mejoría parámetros clínicos (PS, SS).
Monje y cols. (2022) (232)	CR	(31)	12 a 40 meses	IP: Fresa de tungsteno y piedra de Arkansas Regeneración: Autólogo + xenoinjerto + membrana de colágeno	Supervivencia 90%. Resolución patología: 61%. Mejoría parámetros clínicos (PS y SS).
Obreja y cols. (2022) (240)	Serie de casos	20 (28)	24 meses	IP: Fresas de diamante y piedra de Arkansas Regeneración: xenoinjerto y membrana de colágeno	Sin cambios volumétricos significativos. Mejoría parámetros clínicos (PS y SS).
Wen y cols. (2022) (241)	Serie de casos	24 (29)	12 meses	IP: No especificado Regeneración: Autólogo, aloinjerto y xenoinjerto + membrana colágeno	Relleno óseo radiográfico. Mejoría parámetros clínicos (PS y SS).

IP: Implantoplastia, CR: Cohorte retrospectiva, ECA: Ensayo clínico aleatorizado, PS: Profundidad de sondaje, SS: Sangrado al sondaje. NR: No refiere, ATB: Antibiótico, ePTFE: politetrafluoroetileno expandido.

8.4 LIMITACIONES DEL ESTUDIO REALIZADO

La investigación realizada en la presente tesis doctoral presenta algunas limitaciones. Aunque se hayan intentado simular varias situaciones clínicas con modelos específicamente confeccionados para este estudio, existen muchos factores que no se han contemplado como los movimientos involuntarios del paciente, la presencia de la lengua, la saliva o el sangrado. El hecho de realizar la intervención quirúrgica en un simulador (fantoma) permite mejorar su validez externa, pero sigue teniendo limitaciones. Sin embargo, creemos que los resultados son más extrapolables a la práctica clínica en comparación con los estudios de rugosidad publicados anteriormente, donde la implantoplastia se realizaba en una situación ideal y con una visión perfecta de todas las caras del implante. Por otro lado, es importante discutir el impacto de la experiencia del clínico en el resultado final del procedimiento. En el presente

estudio, todas las implantoplastias fueron realizadas por el doctorando cuando tenía una experiencia de 5 años en el campo de la Cirugía Bucal e Implantología. Así, es posible que los resultados tengan una validez externa más limitada para profesionales con más o menos experiencia clínica. Cabe destacar que el tiempo empleado en la implantoplastia fue comparable con los publicados en la literatura.(171)

Además, no se ha podido comprobar si las discrepancias encontradas entre la plataforma del implante y el pilar intermedio tienen alguna consecuencia negativa, como un aumento de la filtración bacteriana. De la misma forma, tampoco se ha estudiado el impacto de los restos de silicona provenientes de los pulidores en los tejidos periimplantarios. Son necesarios estudios para valorar si estos restos producen inflamación o reacciones a cuerpo extraño.

Finalmente, el estudio *in vitro* ha comparado dos situaciones muy diferentes: un grupo donde el acceso era el más fácil (implantes anteriores sin dientes adyacentes) y otro grupo con acceso más limitado (implantes posteriores y con dientes adyacentes). Existen multiples situaciones intermedias que no han sido analizadas.

8.5 INVESTIGACIONES FUTURAS

La realización de estudios, o de una tesis doctoral en este caso, conlleva siempre a que surjan nuevas dudas sobre el tema abordado.

La revisión sistemática efectuada demostró que el número de estudios sobre implantoplastia es limitado. Aunque la evidencia científica haya aumentado en los últimos años, es evidente que se necesitan más estudios preclínicos y clínicos sobre este procedimiento. También es necesario validar el procedimiento con estudios preclínicos (*in silico*, *in vitro*, modelo animal)

antes de llegar a los estudios clínicos. Por esta razón, se debe fomentar la realización de estudios preclínicos que mejoren los resultados de los posteriores estudios clínicos.

Otra área que necesita investigación adicional es la relacionada con el crecimiento del biofilm y recolonización bacteriana tras la implantoplastia, así como determinar qué procedimientos de descontaminación de la superficie dificultan la formación del biofilm. Hay que tener en cuenta que, para la gran mayoría de los autores, la periimplantitis es una enfermedad de etiología bacteriana y que, por esta razón, la eliminación del biofilm y la reducción de la recolonización bacteriana deberían ser los principales objetivos del tratamiento.

Por otro lado, son necesarios ensayos clínicos aleatorizados, con un riesgo bajo de sesgos, con un seguimiento a largo plazo y que tengan como variable respuesta principal la resolución de la enfermedad periimplantaria.

También sería interesante analizar los implantes extraídos que hayan sido previamente sometidos a implantoplastia para observar la rugosidad superficial, la composición de la superficie, los efectos de corrosión, la presencia de deformidades en la plataforma, etc.

El estudio *in vitro* realizado, ha demostrado que pueden aparecer deformaciones de la plataforma que generen un desajuste entre los aditamentos protésicos y el implante. Estas complicaciones podrían tener importantes repercusiones clínicas y deberían estudiarse tanto a nivel preclínico como clínico.

La presente tesis doctoral no ha abordado todas las posibles complicaciones asociadas a la implantoplastia. Por ejemplo, sigue sin estar claro si la reducción de las paredes del implante puede producir una reducción en la resistencia en la fractura o qué implantes (estrechos o estándar) o conexiones (interna o externa) serían más susceptibles a complicaciones mecánicas. Por otro lado, la implantoplastia genera partículas de titanio y de otros elementos

químicos, así como restos de silicona alrededor del área periimplantaria. Se debería estudiar si éstos provocan reacciones inflamatorias locales y si estas son similares a las producidas por otros métodos de descontaminación. A su vez, sería interesante evaluar qué protocolos de fresado reducen la liberación y dispersión de partículas. Finalmente, sería muy importante asegurar que estas partículas no suponen ningún tipo de riesgo a nivel sistémico.

9. CONCLUSIONES

1. La implantoplastia crea superficies más lisas que la de un implante moderadamente rugoso (valores Sa 0.53-0.68 vs. 1.83 µm) pero más rugosas que una superficie mecanizada (valores Sa 0.53-0.68 vs. 0.24 µm) y puede producir alteraciones en la plataforma protética.
2. Los implantes colocados en la zona posterior, con dientes adyacentes y con corona protésica tienen un acceso más limitado que dificulta la implantoplastia, y origina una superficie final menos uniforme y más rugosa.
3. Los implantes con dientes adyacentes ubicados en la zona posterior (acceso limitado) sometidos a implantoplastia parecen presentar más deformaciones de la plataforma del implante y más espiras residuales. Por otro lado, la presencia de la corona protética parece producir menor deformación de la plataforma del implante, pero mayor presencia espiras residuales tras la implantoplastia.

10. BIBLIOGRAFÍA

1. Forshaw R. The origin of the dental profession: dental disease and dentistry in ancient Egypt. Dent Hist. 2011;(54):39–54.
2. Abraham CM. A brief historical perspective on dental implants, their surface coatings and treatments. Open Dent J. 2014;8:50–5.
3. Brånemark PI, Breine U, Adell R, Hansson BO, Lindström J, Ohlsson A. Intra-osseous anchorage of dental prostheses. I. Experimental studies. Scand J Plast Reconstr Surg. 1969;3:81–100.
4. Brånemark PI, Hansson BO, Adell R, Breine U, Lindström J, Hallén O, et al. Osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. Experience from a 10-year period. Scand J Plast Reconstr Surg Suppl. 1977;16:1–132.
5. Araújo MG, Lindhe J. Dimensional ridge alterations following tooth extraction. An experimental study in the dog. J Clin Periodontol. 2005;32:212–8.
6. Araújo MG, Sukekava F, Wennström JL, Lindhe J. Ridge alterations following implant placement in fresh extraction sockets: An experimental study in the dog. J Clin Periodontol. 2005;32:645–52.
7. Araújo MG, Silva CO, Misawa M, Sukekava F. Alveolar socket healing: What can we learn? Periodontol 2000. 2015;68:122–34.
8. Tan WL, Wong TLT, Wong MCM, Lang NP. A systematic review of post-extractional alveolar hard and soft tissue dimensional changes in humans. Clin Oral Implants Res. 2012;23:1–21.
9. Terheyden H, Lang NP. Osseointegration – communication of cells. Clin Oral Implants Res. 2012;23:1127–35.
10. Adell R. Lekholm U, Rockler B, Brånemark PI. A 15-year study of osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. Int J Oral Surg. 198;10:387–416.

11. Tatarakis N, Bashutski J, Wang HL, Oh TJ. Early implant bone loss: Preventable or inevitable? Implant Dent. 2012;21:379–86.

12. Albrektsson T, Zarb G, Worthington P, Eriksson AR. The long-term efficacy of currently used dental implants: a review and proposed criteria of success. Int J Oral Maxillofac Implants. 1986;1:11–25.

13. Mishra SK, Gaddale R, Sonnahalli NK, Chowdhary R. Platform-switching concept in dental implants: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials with a minimum follow-up of 3 years. Int J Oral Maxillofac Implants. 2021;36:97–109.

14. Linkevicius T, Linkevicius R, Alkimavicius J, Linkeviciene L, Andrijauskas P, Puisys A. Influence of titanium base, lithium disilicate restoration and vertical soft tissue thickness on bone stability around triangular-shaped implants: A prospective clinical trial. Clin Oral Implants Res. 2018;29:716–24.

15. Linkevicius T, Alkimavicius J, Linkevicius R, Gineviciute E, Linkeviciene L. Effect of Ti-base abutment gingival height on maintenance of crestal bone in thick biotype patients: A randomized clinical trial with 1-year follow-up. Int J Oral Maxillofac Implants. 2022;37:320–7.

16. Spray JR, Black CG, Morris HF, Ochi S. The influence of bone thickness on facial marginal bone response: stage 1 placement through stage 2 uncovering. Ann Periodontol. 2000;5:119–28.

17. Benic GI, Hämmerle CHF. Horizontal bone augmentation by means of guided bone regeneration. Periodontol 2000. 2014;66:13–40.

18. Bonfante EA, Jimbo R, Witek L, Tovar N, Neiva R, Torroni A, et al. Biomaterial and biomechanical considerations to prevent risks in implant therapy. Periodontol 2000. 2019;81:139–51.

19. Chackartchi T, Romanos GE, Sculean A. Soft tissue-related complications and management around dental implants. Periodontol 2000. 2019;81:124–38.

20. Ramanauskaite A, Sader R. Esthetic complications in implant dentistry. Periodontol 2000. 2022;88:73–85.

21. Ferreira J, Machado L. Insertion torque value and implant stability quotient: separate evaluation and correlation for different clinical parameters. Int J Oral Maxillofac Implants. 2022;37:812–22.

22. Schropp L, Wenzel A, Stavropoulos A. Early, delayed, or late single implant placement: 10-year results from a randomized controlled clinical trial. Clin Oral Implants Res. 2014;25:1359–65.

23. Fischer K, Stenberg T. Prospective 10-year cohort study based on a randomized controlled trial (RCT) on implant-supported full-arch maxillary prostheses: Part 1: Sandblasted and acid-etched implants and mucosal tissue. Clin Implant Dent Relat Res. 2012;14:808–15.

24. Chrcanovic BR, Albrektsson T, Wennerberg A. Diabetes and oral implant failure: A systematic review. J Dent Res. 2014;93:859–67.

25. Naseri R, Yaghini J, Feizi A. Levels of smoking and dental implants failure: A systematic review and meta-analysis. J Clin Periodontol. 2020;47:518–28.

26. Chappuis V, Avila-Ortiz G, Araújo MG, Monje A. Medication-related dental implant failure: Systematic review and meta-analysis. Clin Oral Implants Res. 2018;29:55–68.

27. Camps-Font O, Martín-Fatás P, Clé-Ovejero A, Figueiredo R, Gay-Escoda C, Valmaseda-Castellón E. Postoperative infections after dental implant placement: Variables associated with increased risk of failure. J Periodontol. 2018;89:1165–73.

28. Anner R, Grossmann Y, Anner Y, Levin L. Smoking, diabetes mellitus, periodontitis, and

supportive periodontal treatment as factors associated with dental implant survival: A long-term retrospective evaluation of patients followed for up to 10 years. Implant Dent. 2010;19:57–64.

29. Abuhussein H, Pagni G, Rebaudi A, Wang HL. The effect of thread pattern upon implant osseointegration: Review. Clin Oral Implants Res. 2010;21:129–36.

30. Tolentino da Rosa de Souza P, Binhame Albini Martini M, Reis Azevedo-Alanis L. Do short implants have similar survival rates compared to standard implants in posterior single crown?: A systematic review and meta-analysis. Clin Implant Dent Relat Res. 2018;20:890–901.

31. Li QL, Yao MF, Cao RY, Zhao K, Wang XD. Survival rates of splinted and nonsplinted prostheses supported by short dental implants (≤8.5 mm): A systematic review and meta-analysis. J Prosthodont. 2022;31:9–21.

32. Camps-Font O, Burgueño-Barris G, Figueiredo R, Jung RE, Gay-Escoda C, Valmaseda-Castellón E. Interventions for dental implant placement in atrophic edentulous mandibles: Vertical bone augmentation and alternative treatments. A meta-analysis of randomized clinical trials. J Periodontol. 2016;87:1444–57.

33. Klein M, Schiegnitz E, Al-Nawas B. Systematic review on success of narrow-diameter dental implants. Int J Oral Maxillofac Implants. 2014;29:43–54.

34. Schiegnitz E, Al-Nawas B. Narrow-diameter implants: A systematic review and meta-analysis. Clin Oral Implants Res. 2018;29:21–40.

35. Alrabiah M, Alrabiah M. Comparison of survival rate and crestal bone loss of narrow diameter dental implants versus regular dental implants: A systematic review and meta-analysis. 2019;10:e12367.

36. Smeets R, Stadlinger B, Schwarz F, Beck-Broichsitter B, Jung O, Precht C, et al. Impact

of dental implant surface modifications on osseointegration. Biomed Res Int. 2016:6285620.

37. Wennerberg A, Albrektsson T. Effects of titanium surface topography on bone integration: A systematic review. Clin Oral Implants Res. 2009;20:172–84.

38. Le Guéhennec L, Soueidan A, Layrolle P, Amouriq Y. Surface treatments of titanium dental implants for rapid osseointegration. Dent Mater. 2007;23:844–54.

39. Luke Yeo IS. Modifications of dental implant surfaces at the microand nano-level for enhanced osseointegration. Materials (Basel). 2020;13:89.

40. Ogle OE. Implant surface material, design, and osseointegration. Dent Clin North Am. 2015;59:505–20.

41. Rupp F, Liang L, Geis-Gerstorfer J, Scheideler L, Hüttig F. Surface characteristics of dental implants: A review. Dent Mater. 2018;34:40–57.

42. Szyszkowski A, Kozakiewicz M. Effect of implant-abutment connection type on bone around dental implants in long-term observation: Internal cone versus internal hex. Implant Dent. 2019;28:430–6.

43. Caricasulo R, Malchiodi L, Ghensi P, Fantozzi G, Cucchi A. The influence of implant-abutment connection to peri-implant bone loss: A systematic review and meta-analysis. Clin Implant Dent Relat Res. 2018;20:653–64.

44. Lauritano D, Moreo G, Lucchese A, Viganoni C, Limongelli L, Carinci F. The impact of implant-abutment connection on clinical outcomes and microbial colonization: A narrative review. Materials (Basel). 2020;13:1–12.

45. Fürhauser R, Florescu D, Benesch T, Haas R, Mailath G, Watzek G. Evaluation of soft tissue around single-tooth implant crowns: The pink esthetic score. Clin Oral Implants Res. 2005;16:639–44.

46. Belser UC, Grütter L, Vailati F, Bornstein MM, Weber H-P, Buser D. 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. J Periodontol. 2009;80:140–51.

47. Feine J, Abou-Ayash S, Al Mardini M, de Santana RB, Bjelke-Holtermann T, Bornstein MM, et al. Group 3 ITI Consensus Report: Patient-reported outcome measures associated with implant dentistry. Clin Oral Implants Res. 2018;29:270–5.

48. De Bruyn H, Raes S, Matthys C, Cosyn J. The current use of patient-centered/reported outcomes in implant dentistry: A systematic review. Clin Oral Implants Res. 2015;26:45–56.

49. Buser D, Martin W, Belser UC. Optimizing esthetics for implant restorations in the anterior maxilla: anatomic and surgical considerations. Int J Oral Maxillofac Implants. 2004;19:43–61.

50. Bozini T, Petridis H, Garefis K, Garefis P. A meta-analysis of prosthodontic complication rates of implant-supported fixed dental prostheses in edentulous patients after an observation period of at least 5 years. Int J Oral Maxillofac Implants. 2011;26:304–18.

51. Vere J, Bhakta S, Patel R. Prosthodontic complications associated with implant retained crowns and bridgework: A review of the literature. Br Dent J. 2012;212:267–72.

52. Berglundh T, Armitage G, Araujo MG, Avila-Ortiz G, Blanco J, Camargo PM, et al. Peri-implant diseases and conditions: Consensus report of workgroup 4 of the 2017 World Workshop on the classification of periodontal and peri-implant diseases and conditions. J Clin Periodontol. 2018;45:286–91.

53. Heitz-Mayfield LJA, Salvi GE. Peri-implant mucositis. J Clin Periodontol. 2018;45:237–45.

54. Schwarz F, Derks J, Monje A, Wang HL. Peri-implantitis. J Clin Periodontol. 2018;45:246–66.

55. Chapple ILC, Mealey BL, Van Dyke TE, Bartold PM, Dommisch H, Eickholz P, et al. Periodontal health and gingival diseases and conditions on an intact and a reduced periodontium: Consensus report of workgroup 1 of the 2017 World Workshop on the classification of periodontal and peri-implant diseases and conditions. J Periodontol. 2018;89:74–84.

56. Papapanou PN, Sanz M, Buduneli N, Dietrich T, Feres M, Fine DH, et al. Periodontitis: Consensus report of workgroup 2 of the 2017 World Workshop on the classification of periodontal and peri-implant diseases and conditions. J Periodontol. 2018;89:173–82.

57. Salvi GE, Cosgarea R, Sculean A. Prevalence and mechanisms of peri-implant diseases. J Dent Res. 2017;96:31–7.

58. Lafaurie GI, Sabogal MA, Castillo DM, Rincón MV, Gómez LA, Lesmes YA, et al. Microbiome and microbial biofilm profiles of peri-implantitis: A systematic review. J Periodontol. 2017;88:1066–89.

59. Faot F, Nascimento GG, Bielemann AM, Campão TD, Leite FRM, Quirynen M. Can peri-implant crevicular fluid assist in the diagnosis of peri-implantitis? A systematic review and meta-analysis. J Periodontol. 2015;86:631–45.

60. Duarte PM, Serrão CR, Miranda TS, Zanatta LCS, Bastos MF, Faveri M, et al. Could cytokine levels in the peri-implant crevicular fluid be used to distinguish between healthy implants and implants with peri-implantitis? A systematic review. J Periodontal Res. 2016;51:689–98.

61. Coli P, Sennerby L. Is Peri-implant probing causing over-diagnosis and over-treatment of dental implants? J Clin Med. 2019;8:1123.

62. Koutouzis T, Gholami F, Reynolds J, Lundgren T, Kotsakis G. Abutment disconnection/reconnection affects peri-implant marginal bone levels: A meta-analysis. Int J Oral Maxillofac Implants. 2017;32:575–81.

63. Coli P, Christiaens V, Sennerby L, Bruyn H De. Reliability of periodontal diagnostic tools for monitoring peri-implant health and disease. Periodontol 2000. 2017;73:203–17.

64. Renvert S, Persson GR, Pirih FQ, Camargo PM. Peri-implant health, peri-implant mucositis, and peri-implantitis: Case definitions and diagnostic considerations. J Clin Periodontol. 2018;45:278–85.

65. Hashim D, Cionca N, Combescure C, Mombelli A. The diagnosis of peri-implantitis: A systematic review on the predictive value of bleeding on probing. Clin Oral Implants Res. 2018;29:276–93.

66. Schou S, Holmstrup P, Stoltze K, Hjørting-Hansen E, Fiehn NE, Skovgaard LT. Probing around implants and teeth with healthy or inflamed peri-implant mucosa/gingiva: A histologic comparison in cynomolgus monkeys (Macaca fascicularis). Clin Oral Implants Res. 2002;13:113–26.

67. Serino G, Turri A, Lang NP. Probing at implants with peri-implantitis and its relation to clinical peri-implant bone loss. Clin Oral Implants Res. 2013;24:91–5.

68. García-García M, Mir-Mari J, Figueiredo R, Valmaseda-Castellón E. Probing single-tooth dental implants with and without prostheses: a cross-sectional study comparing healthy and peri-implant mucositis sites. J Clin Periodontol. 2021;48:581–9.

69. González-Martín O, Oteo C, Ortega R, Alandez J, Sanz M, Veltri M. Evaluation of peri-implant buccal bone by computed tomography: An experimental study. Clin Oral Implants Res. 2016;27:950–5.

70. Schwindling FS, Hilgenfeld T, Weber D, Kosinski MA, Rammelsberg P, Tasaka A. In vitro

diagnostic accuracy of low-dose CBCT for evaluation of peri-implant bone lesions. Clin Oral Implants Res. 2019;30:1200–8.

71. Pelekos G, Tse JMN, Ho D, Tonetti MS. Defect morphology, bone thickness, exposure settings and examiner experience affect the diagnostic accuracy of standardized digital periapical radiographic images but not of cone beam computed tomography in the detection of peri-implant osseous defects: A. J Clin Periodontol. 2019;46:1294–302.

72. Bohner LOL, Mukai E, Oderich E, Porporatti AL, Pacheco-Pereira C, Tortamano P, et al. Comparative analysis of imaging techniques for diagnostic accuracy of peri-implant bone defects: a meta-analysis. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol. 2017;124:432-40.

73. García-García M, Mir-Mari J, Benic GI, Figueiredo R, Valmaseda-Castellõn E. Accuracy of periapical radiography in assessing bone level in implants affected by peri-implantitis: A cross-sectional study. J Clin Periodontol. 2016;43:85–91.

74. Mir-Mari J, Mir-Orfila P, Figueiredo R, Valmaseda-Castellõn E, Gay-Escoda C. Prevalence of peri-implant diseases. A cross-sectional study based on a private practice environment. J Clin Periodontol. 2012;39:490–4.

75. Derks J, Schaller D, Håkansson J, Wennström JL, Tomasi C, Berglundh T. Effectiveness of implant therapy analyzed in a swedish population: Prevalence of peri-implantitis. J Dent Res. 2016;95:43–9.

76. Rodrigo D, Sanz-Sánchez I, Figuero E, Llodrá JC, Bravo M, Caffesse RG, et al. Prevalence and risk indicators of peri-implant diseases in Spain. J Clin Periodontol. 2018;45:1510–20.

77. Derks J, Tomasi C. Peri-implant health and disease. A systematic review of current epidemiology. J Clin Periodontol. 2015;42:158–71.

78. Derks J, Schaller D, Håkansson J, Wennström JL, Tomasi C, Berglundh T. Peri-implantitis - Onset and pattern of progression. J Clin Periodontol. 2016;43:383–8.

79. Fransson C, Tomasi C, Pikner SS, Gröndahl K, Wennström JL, Leyland AH, et al. Severity and pattern of peri-implantitis-associated bone loss. J Clin Periodontol. 2010;37:442–8.

80. Serino G, Ström C. Peri-implantitis in partially edentulous patients: Association with inadequate plaque control. Clin Oral Implants Res. 2009;20:169–74.

81. Mir-Mari J, Mir-Orfila DDSP, Valmaseda-Castellón E, Gay-Escoda C. Long-term marginal bone loss in 217 machined-surface implants placed in 68 patients with 5 to 9 years of follow-up: a retrospective study.Follow-up : A Retrospective Study. 2012;27:1163–9.

82. Monje A, Aranda L, Diaz KT, Alarcón MA, Bagramian RA, Wang HL, et al. Impact of maintenance therapy for the prevention of peri-implant diseases. J Dent Res. 2016;95:372–9.

83. Aglietta M, Siciliano VI, Rasperini G, Cafiero C, Lang NP, Salvi GE. A 10-year retrospective analysis of marginal bone-level changes around implants in periodontally healthy and periodontally compromised tobacco smokers. Clin Oral Implants Res. 2011;22:47–53.

84. Roccuzzo M, Bonino F, Aglietta M, Dalmasso P. Ten-year results of a three arms prospective cohort study on implants in periodontally compromised patients. Part 2: Clinical results. Clin Oral Implants Res. 2012;23:389–95.

85. Doornewaard R, Christiaens V, De Bruyn H, Jacobsson M, Cosyn J, Vervaeke S, et al. Long-term effect of surface roughness and patients' factors on crestal bone loss at dental implants. A systematic review and meta-analysis. Clin Implant Dent Relat Res. 2017;19:372–99.

86. Sgolastra F, Petrucci A, Severino M, Gatto R, Monaco A. Periodontitis, implant loss and peri-implantitis: A meta-analysis. Clin Oral Implants Res. 2015;26:8–16.

87. Cho-Yan Lee J, Mattheos N, Nixon KC, Ivanovski S. Residual periodontal pockets are a risk indicator for peri-implantitis in patients treated for periodontitis. Clin Oral Implants Res. 2012;23:325–33.

88. Sgolastra F, Petrucci A, Severino M, Gatto R, Monaco A. Smoking and the risk of peri-implantitis: A systematic review and meta-analysis. Clin Oral Implants Res. 2015;26:62–7.

89. Monje A, Catena A, Borgnakke WS. Association between diabetes mellitus/hyperglycaemia and peri-implant diseases: Systematic review and meta-analysis. J Clin Periodontol. 2017;44:636–48.

90. Daubert DM, Weinstein BF, Bordin S, Leroux BG, Flemmig TF. Prevalence and predictive factors for peri-implant disease and implant failure: A cross-sectional analysis. J Periodontol. 2015;86:337–47.

91. He K, Jian F, He T, Tang H, Huang B, Wei N. Analysis of the association of TNF-α, IL-1A, and IL-1B polymorphisms with peri-implantitis in a Chinese non-smoking population. Clin Oral Investig. 2020;24:693–9.

92. Fourmousis I, Vlachos M. Genetic risk factors for the development of periimplantitis. Implant Dent. 2019;28:103–14.

93. Grunder U, Gracis S, Capelli M. Influence of the 3-D bone-to-implant relationship on esthetics. Int J Periodontics Restorative Dent. 2005;25:113–9.

94. Abrahamsson I, Berglundh T. Effects of different implant surfaces and designs on marginal bone-level alterations: A review. Clin Oral Implants Res. 2009;20:207–15.

95. Fickl S, Kebschull M, Calvo-Guirado JL, Hürzeler M, Zuhr O. Experimental peri-

implantitis around different types of implants - A clinical and radiographic study in dogs. Clin Implant Dent Relat Res. 2015;17:661–9.

96. Bermejo P, Sánchez MC, Llama-Palacios A, Figuero E, Herrera D, Sanz Alonso M. Biofilm formation on dental implants with different surface micro-topography: An in vitro study. Clin Oral Implants Res. 2019;30:725–34.

97. Zaugg LK, Astasov-Frauenhoffer M, Braissant O, Hauser-Gerspach I, Waltimo T, Zitzmann NU. Determinants of biofilm formation and cleanability of titanium surfaces. Clin Oral Implants Res. 2017;28:469–75.

98. Galindo-Moreno P, León-Cano A, Ortega-Oller I, Monje A, O'valle F, Catena A. Marginal bone loss as success criterion in implant dentistry: Beyond 2 mm. Clin Oral Implants Res. 2015;26:28–34.

99. Sánchez-Torres A, Cercadillo-Ibarguren I, Moragón-Rodríguez M, Figueiredo R, Valmaseda-Castellón E, Gay-Escoda C. Retrospective cohort study on the influence of bone remodeling on marginal bone loss and peri-implantitis around immediately loaded implants supporting complete-arch restorations. Int J Oral Maxillofac Implants. 2021;36:1165–72.

100. Yeniyol S, Jimbo R, Marin C, Tovar N, Janal MN, Coelho PG. The effect of drilling speed on early bone healing to oral implants. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol. 2013;116:550–5.

101. Möhlhenrich SC, Modabber A, Steiner T, Mitchell DA, Hölzle F. Heat generation and drill wear during dental implant site preparation: Systematic review. Br J Oral Maxillofac Surg. 2015;53:679–89.

102. Ikar M, Grobecker-Karl T, Karl M, Steiner C. Mechanical stress during implant surgery and its effects on marginal bone: a literature review. Quintessence Int. 2020;51:142-

50.

103. Dalago HR, Schuldt Filho G, Rodrigues MAP, Renvert S, Bianchini MA. Risk indicators for Peri-implantitis. A cross-sectional study with 916 implants. Clin Oral Implants Res. 2017;28:144–50.

104. Staubli N, Walter C, Schmidt JC, Weiger R, Zitzmann NU. Excess cement and the risk of peri-implant disease – a systematic review. Clin Oral Implants Res. 2017;28:1278–90.

105. Bukhari SA, AlHelal A, Kattadiyil MT, Wadhwani CPK, Taleb A, Dehom S. An in vitro investigation comparing methods of minimizing excess luting agent for cement-retained implant-supported fixed partial dentures. J Prosthet Dent. 2020;124:706-15.

106. Galindo-Moreno P, León-Cano A, Ortega-Oller I, Monje A, Suárez F, O'Valle F, et al. Prosthetic abutment height is a key factor in peri-implant marginal bone loss. J Dent Res. 2014;93:80-5.

107. Galindo-Moreno P, León-Cano A, Monje A, Ortega-Oller I, O'valle F, Catena A. Abutment height influences the effect of platform switching on peri-implant marginal bone loss. Clin Oral Implants Res. 2016;27:167–73.

108. Katafuchi M, Weinstein BF, Leroux BG, Chen YW, Daubert DM. Restoration contour is a risk indicator for peri-implantitis: A cross-sectional radiographic analysis. J Clin Periodontol. 2018;45:225–32.

109. Latimer JM, Gharpure AS, Kahng HJ, Aljofi FE, Daubert DM. Interproximal open contacts between implant restorations and adjacent natural teeth as a risk-indicator for peri-implant disease—A cross-sectional study. Clin Oral Implants Res. 2021;32:598–607.

110. Canullo L, Tallarico M, Radovanovic S, Delibasic B, Covani U, Rakic M. Distinguishing predictive profiles for patient-based risk assessment and diagnostics of plaque induced, surgically and prosthetically triggered peri-implantitis. Clin Oral Implants Res.

2016;27:1243–50.

111. Sculean A, Romanos G, Schwarz F, Ramanauskaite A, Leander KP, Khoury F, et al. Soft-tissue management as part of the surgical treatment of periimplantitis: A narrative review. Implant Dent. 2019;28:210–6.

112. Moraschini V, Luz D, Velloso G, Barboza E d. SP. Quality assessment of systematic reviews of the significance of keratinized mucosa on implant health. Int J Oral Maxillofac Surg. 2017;46:774–81.

113. Oh SL, Masri RM, Williams DA, Ji C, Romberg E. Free gingival grafts for implants exhibiting lack of keratinized mucosa: a prospective controlled randomized clinical study. J Clin Periodontol. 2017;44:195–203.

114. Suárez-López del Amo F, Lin G-H, Monje A, Galindo-Moreno P, Wang H-L. Influence of soft tissue thickness on peri-implant marginal bone loss: A systematic review and meta-analysis. J Periodontol. 2016;87:690–9.

115. Spinato S, Stacchi C, Lombardi T, Bernardello F, Messina M, Zaffe D. Biological width establishment around dental implants is influenced by abutment height irrespective of vertical mucosal thickness: A cluster randomized controlled trial. Clin Oral Implants Res. 2019;30:649–59.

116. Jepsen S, Berglundh T, Genco R, Aass AM, Demirel K, Derks J, et al. Primary prevention of peri-implantitis: Managing peri-implant mucositis. J Clin Periodontol. 2015;42:152–7.

117. de Tapia B, Mozas C, Valles C, Nart J, Sanz M, Herrera D. Adjunctive effect of modifying the implant-supported prosthesis in the treatment of peri-implant mucositis. J Clin Periodontol. 2019;46:1050–60.

118. Figuero E, Graziani F, Sanz I, Herrera D, Sanz M. Management of peri-implant mucositis

and peri-implantitis. Periodontol 2000. 2014;66:255–73.

119. Bertoldi C, Lusuardi D, Battarra F, Sassatelli P, Spinato S, Zaffe D. The maintenance of inserted titanium implants: in-vitro evaluation of exposed surfaces cleaned with three different instruments. Clin Oral Implants Res. 2017;28:57–63.

120. Iorio-Siciliano V, Blasi A, Stratul SI, Ramaglia L, Sculean A, Salvi GE, et al. Anti-infective therapy of peri-implant mucositis with adjunctive delivery of a sodium hypochlorite gel: a 6-month randomized triple-blind controlled clinical trial. Clin Oral Investig. 2020;24:1971-9.

121. Heitz-Mayfield LJA, Salvi GE, Botticelli D, Mombelli A, Faddy M, Lang NP. Anti-infective treatment of peri-implant mucositis: A randomised controlled clinical trial. Clin Oral Implants Res. 2011;22:237–41.

122. Menezes KM, Fernandes-Costa AN, Silva-Neto RD, Calderon PS, Gurgel BCV. Efficacy of 0.12% Chlorhexidine Gluconate for Non-Surgical Treatment of Peri-Implant Mucositis. J Periodontol. 2016;87:1305–13.

123. Ji YJ, Tang ZH, Wang R, Cao J, Cao CF, Jin LJ. Effect of glycine powder air-polishing as an adjunct in the treatment of peri-implant mucositis: A pilot clinical trial. Clin Oral Implants Res. 2014;25:683–9.

124. Drago L, Del Fabbro M, Bortolin M, Vassena C, De Vecchi E, Taschieri S. Biofilm removal and antimicrobial activity of two different air-polishing powders: An in vitro study. J Periodontol. 2014;85:363–9.

125. Drago L, Bortolin M, Taschieri S, De Vecchi E, Agrappi S, Del Fabbro M, et al. Erythritol/chlorhexidine combination reduces microbial biofilm and prevents its formation on titanium surfaces in vitro. J Oral Pathol Med. 2017;46:625–31.

126. Keim D, Nickles K, Dannewitz B, Ratka C, Eickholz P, Petsos H. In vitro efficacy of three

different implant surface decontamination methods in three different defect configurations. Clin Oral Implants Res. 2019;30:550–8.

127. Ronay V, Merlini A, Attin T, Schmidlin PR, Sahrmann P. In vitro cleaning potential of three implant debridement methods. Simulation of the non-surgical approach. Clin Oral Implants Res. 2017;28:151–5.

128. Stubinger S, Etter C, Miskiewicz M, Homann F, Saldamli B, Wieland M, et al. Surface alterations of polished and sandblasted and acid-etched titanium implants after Er:YAG, carbon dioxide, and diode laser irradiation. Int J Oral Maxillofac Implants. 2010;25:104–11.

129. Mettraux GR, Sculean A, Bürgin WB, Salvi GE. Two-year clinical outcomes following non-surgical mechanical therapy of peri-implantitis with adjunctive diode laser application. Clin Oral Implants Res. 2016;27:845–9.

130. Faggion CM, Listl S, Frühauf N, Chang HJ, Tu YK. A systematic review and Bayesian network meta-analysis of randomized clinical trials on non-surgical treatments for peri-implantitis. J Clin Periodontol. 2014;41:1015–25.

131. Schwarz F, Schmucker A, Becker J. Efficacy of alternative or adjunctive measures to conventional treatment of peri-implant mucositis and peri-implantitis: a systematic review and meta-analysis. Int J Implant Dent. 2015;1:22.

132. Muthukuru M, Zainvi A, Esplugues EO, Flemmig TF. Non-surgical therapy for the management of peri-implantitis: A systematic review. Clin Oral Implants Res. 2012;23:77–83.

133. Serino G, Turri A. Outcome of surgical treatment of peri-implantitis: Results from a 2-year prospective clinical study in humans. Clin Oral Implants Res. 2011;22:1214–20.

134. de Waal YCM, Raghoebar GM, Meijer HJA, Winkel EG, van Winkelhoff AJ. Prognostic

indicators for surgical peri-implantitis treatment. Clin Oral Implants Res. 2016;27:1485–91.

135. Schwarz F, Sahm N, Becker J. Impact of the outcome of guided bone regeneration in dehiscence-type defects on the long-term stability of peri-implant health: Clinical observations at 4 years. Clin Oral Implants Res. 2012;23:191–6.

136. Roccuzzo M, Bonino F, Bonino L, Dalmasso P. Surgical therapy of peri-implantitis lesions by means of a bovine-derived xenograft: Comparative results of a prospective study on two different implant surfaces. J Clin Periodontol. 2011;38:738–45.

137. Carcuac O, Derks J, Charalampakis G, Abrahamsson I, Wennstrom J, Berglundh T. Adjunctive systemic and local antimicrobial therapy in the surgical treatment of peri-implantitis: A randomized controlled clinical trial. J Dent Res. 2016;95:50–7.

138. Serino G, Turri A, Lang NP. Maintenance therapy in patients following the surgical treatment of peri-implantitis: A 5-year follow-up study. Clin Oral Implants Res. 2015;26:950–6.

139. Roy M, Loutan L, Garavaglia G, Hashim D. Removal of osseointegrated dental implants: a systematic review of explantation techniques. Clin Oral Investig. 2020;24:47–60.

140. Persson GR, Samuelsson E, Lindahl C, Renvert S. Mechanical non-surgical treatment of peri-implantitis: A single-blinded randomized longitudinal clinical study. II. Microbiological results. J Clin Periodontol. 2010;37:563–73.

141. Renvert S, Roos-Jansåker AM, Claffey N. Non-surgical treatment of peri-implant mucositis and peri-implantitis: A literature review. J Clin Periodontol. 2008;35:305–15.

142. Faggion CM, Chambrone L, Listl S, Tu YK. Network meta-analysis for evaluating interventions in implant dentistry: The case of peri-implantitis treatment. Clin Implant Dent Relat Res. 2013;15:576–88.

143. Nart J, Pons R, Valles C, Esmatges A, Sanz-Martín I, Monje A. Non-surgical therapeutic outcomes of peri-implantitis: 12-month results. Clin Oral Investig. 2020;24:675–82.

144. Carcuac O, Derks J, Abrahamsson I, Wennström JL, Petzold M, Berglundh T. Surgical treatment of peri-implantitis: 3-year results from a randomized controlled clinical trial. J Clin Periodontol. 2017;44:1294–303.

145. Schwarz F, Herten M, Sager M, Bieling K, Sculean A, Becker J. Comparison of naturally occurring and ligature-induced peri-implantitis bone defects in humans and dogs. Clin Oral Implants Res. 2007;18:161–70.

146. Renvert S, Polyzois I, Claffey N. Surgical therapy for the control of peri-implantitis. Clin Oral Implants Res. 2012;23:84–94.

147. Renvert S, Roos-Jansåker AM, Persson GR. Surgical treatment of peri-implantitis lesions with or without the use of a bone substitute—a randomized clinical trial. J Clin Periodontol. 2018;45:1266–74.

148. Cortés-Acha B, Figueiredo R, Seminago R, Roig FJ, Llorens C, Valmaseda-Castellón E. Microbiota analysis of biofilms on experimental abutments mimicking dental implants: An in vivo model. J Periodontol. 2017;88:1090–104.

149. Cortés-Acha B, Figueiredo R, Blanc V, Soler-Ollé A, León R, Valmaseda-Castellón E. Development and viability of biofilms grown on experimental abutments mimicking dental implants: An in vivo model. Med Oral Patol Oral y Cir Bucal. 2019;24:511–7.

150. Romeo E, Lops D, Chiapasco M, Ghisolfi M, Vogel G. Therapy of peri-implantitis with resective surgery. A 3-year clinical trial on rough screw-shaped oral implants. Part II: Radiographic outcome. Clin Oral Implants Res. 2007;18:179–87.

151. Englezos E, Cosyn J, Koole S, Jacquet W, De Bruyn H. Resective treatment of peri-implantitis: Clinical and radiographic outcomes after 2 years. Int J Periodontics

Restorative Dent. 2018;38:729–35.

152. Ramanauskaite A, Daugela P, Faria e Almeida R, Saulacic N. Surgical non-regenerative treatments for peri-implantitis: A systematic review. J Oral Maxillofac Res. 2016;7:1–11.

153. Madi M, Htet M, Zakaria O, Alagl A, Kasugai S. Re-osseointegration of dental implants after periimplantitis treatments: A systematic review. Implant Dent. 2018;27:101–10.

154. Schlee M, Naili L, Rathe F, Brodbeck U, Zipprich H. Is complete re-osseointegration of an infected dental implant possible? Histologic results of a dog study: A short communication. J Clin Med. 2020;9:235.

155. Almohandes A, Carcuac O, Abrahamsson I, Lund H, Berglundh T. Re-osseointegration following reconstructive surgical therapy of experimental peri-implantitis. A pre-clinical in vivo study. Clin Oral Implants Res. 2019;30:447–56.

156. Kim S, Hu K-S, Jung U-W. Reosseointegration after regenerative surgical therapy using a synthetic bone substitute for peri-implantitis: Human autopsy study. Int J Periodontics Restorative Dent. 2018;38:585–91.

157. Roos-Jansåker AM, Persson GR, Lindahl C, Renvert S. Surgical treatment of periimplantitis using a bone substitute with or without a resorbable membrane: A 5-year follow-up. J Clin Periodontol. 2014;41:1108–14.

158. Isler SC, Soysal F, Ceyhanlı T, Bakırarar B, Unsal B. Regenerative surgical treatment of peri-implantitis using either a collagen membrane or concentrated growth factor: A 12-month randomized clinical trial. Clin Implant Dent Relat Res. 2018;20:703–12.

159. Mercado F, Hamlet S, Ivanovski S. Regenerative surgical therapy for peri-implantitis using deproteinized bovine bone mineral with 10% collagen, enamel matrix derivative and Doxycycline—A prospective 3-year cohort study. Clin Oral Implants Res.

2018;29:583–91.

160. Schwarz F, John G, Schmucker A, Sahm N, Becker J. Combined surgical therapy of advanced peri-implantitis evaluating two methods of surface decontamination: a 7-year follow-up observation. J Clin Periodontol. 2017;44:337–42.

161. Schwarz F, Sahm N, Becker J. Combined surgical therapy of advanced peri-implantitis lesions with concomitant soft tissue volume augmentation. A case series. Clin Oral Implants Res. 2014;25:132–6.

162. Costa FO, Takenaka-Martinez S, Cota LOM, Ferreira SD, Silva GLM, Costa JE. Peri-implant disease in subjects with and without preventive maintenance: A 5-year follow-up. J Clin Periodontol. 2012;39:173–81.

163. Lang NP, Wilson TG, Corbet EF. Biological complications with dental implants: their prevention, diagnosis and treatment. Clin Oral Implants Res. 2000;11:146–55.

164. Rimondini L, Simoncini FC, Carrassi A. Micro-morphometric assessment of titanium plasma-sprayed coating removal using burs for the treatment of peri-implant disease. Clin Oral Implants Res. 2000;11:129–38.

165. Suh JJ, Simon Z, Jeon YS, Choi BG, Kim CK. The use of implantoplasty and guided bone regeneration in the treatment of peri-implantitis: Two case reports. Implant Dent. 2003;12:277–82.

166. Romeo E, Ghisolfi M, Murgolo N, Chiapasco M, Lops D, Vogel G. Therapy of peri-implantitis with resective surgery: A 3-year clinical trial on rough screw-shaped oral implants. Part I: Clinical outcome. Clin Oral Implants Res. 2005;16:9–18.

167. Khoury F, Keeve PL, Ramanauskaite A, Schwarz F, Koo KT, Sculean A, et al. Surgical treatment of peri-implantitis – Consensus report of working group 4. Int Dent J. 2019;69:18–22.

168. Li Z-B, Li K, Ding T, Yang H-Q, Du M, Yu Y. The effect of nonaugmentative approaches in the surgical treatment of peri-implantitis: A systematic review and network meta-analysis. Int J Oral Maxillofac Implants. 2022;37:270–82.

169. Beheshti Maal M, Verket A. Implantoplasty- provoking or reducing inflammation?–a systematic scoping review. Acta Odontol Scand. 2022;80:105–16.

170. Ramel CF, Lüssi A, Özcan M, Jung RE, Hämmerle CHF, Thoma DS. Surface roughness of dental implants and treatment time using six different implantoplasty procedures. Clin Oral Implants Res. 2016;27:776–81.

171. Costa-Berenguer X, García-García M, Sánchez-Torres A, Sanz-Alonso M, Figueiredo R, Valmaseda-Castellón E. Effect of implantoplasty on fracture resistance and surface roughness of standard diameter dental implants. Clin Oral Implants Res. 2018;29:46–54.

172. Geremias TC, Montero JFD, Magini R de S, Schuldt Filho G, de Magalhães EB, Bianchini MA. Biofilm analysis of retrieved dental implants after different peri-implantitis treatments. Case Rep Dent. 2017;2017:8562050.

173. Toma S, Behets C, Brecx MC, Lasserre JF. In vitro comparison of the efficacy of peri-implantitis treatments on the removal and recolonization of streptococcus gordonii biofilm on titanium disks. Materials (Basel). 2018;11:2484.

174. Sahrmann P, Luso S, Mueller C, Ender A, Attin T, Stawarczyk B, et al. Titanium Implant characteristics after implantoplasty: An in vitro study on two different kinds of instrumentation. Int J Oral Maxillofac Implants. 2019;34:1299–305.

175. Chan H-L, Oh W-S, Ong HS, Fu J-H, Steigmann M, Sierraalta M, et al. Impact of implantoplasty on strength of the implant-abutment complex. Int J Oral Maxillofac Implants. 2013;28:1530–5.

176. Gehrke S, Junior J, Dedavid B, Shibli J. Analysis of implant strength after implantoplasty in three implant-abutment connection designs: An in vitro study. Int J Oral Maxillofac Implants. 2016;31:65–70.

177. Sharon E, Shapira L, Wilensky A, Abu-hatoum R, Smidt A. Efficiency and thermal changes during implantoplasty in relation to bur type. Clin Implant Dent Relat Res. 2013;15:292–6.

178. Stavropoulos A, Bertl K, Eren S, Gotfredsen K. Mechanical and biological complications after implantoplasty—A systematic review. Clin Oral Implants Res. 2019;30:833–48.

179. Toledano-Serrabona J, Gil FJ, Camps-Font O, Valmaseda-Castellón E, Gay-Escoda C, Sánchez-Garcés MÁ. Physicochemical and biological characterization of ti6al4v particles obtained by implantoplasty: An in vitro study. part I. Materials (Basel). 2021;14:6507.

180. Toledano-Serrabona J, Camps-Font O, de Moraes DP, Corte-Rodríguez M, Montes-Bayón M, Valmaseda-Castellón E, et al. Ion release and local effects of titanium metal particles from dental implants: An experimental study in rats. J Periodontol. 2023;94:119-29.

181. Barrak FN, Li S, Muntane AM, Jones JR. Particle release from implantoplasty of dental implants and impact on cells. Int J Implant Dent. 2020;6:1–9.

182. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, Altman D, Antes G, et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. PLoS Med. 2009;6.

183. De Souza Júnior JM, De Souza JGO, Neto ALP, Iaculli F, Piattelli A, Bianchini MA. Analysis of effectiveness of different rotational instruments in implantoplasty: An in vitro study. Implant Dent. 2016;25:341–7.

184. Meier RM, Pfammatter C, Zitzmann NU, Filippi A, Kühl S. Surface quality after implantoplasty. Schweiz Monatsschr Zahnmed. 2012;122:714–24.

185. Tawse-Smith A, Kota A, Jayaweera Y, Vuuren WJ van, MaS. The effect of standardised implantoplasty protocol on titanium surface roughness: an in-vitro study. Braz Oral Res. 2016;30:137.

186. Schwarz F, John G, Becker J. The influence of implantoplasty on the diameter, chemical surface composition, and biocompatibility of titanium implants. Clin Oral Investig. 2017;21:2355–61.

187. Toma S, Lasserre J, Brecx MC, Nyssen-Behets C. In vitro evaluation of peri-implantitis treatment modalities on Saos-2osteoblasts. Clin Oral Implants Res. 2016;27:1085–92.

188. Beheshti Maal M, Aanerød Ellingsen S, Reseland JE, Verket A. Experimental implantoplasty outcomes correlate with fibroblast growth in vitro. BMC Oral Health. 2020;20:25.

189. El Chaar E, Almogahwi M, Abdalkader K, Alshehri A, Cruz S, Ricci J. Decontamination of the infected implant surface: A scanning electron microscope study. Int J Periodontics Restorative Dent. 2020;40:395–401.

190. Tomasi C, Regidor E, Ortiz-Vigón A, Derks J. Efficacy of reconstructive surgical therapy at peri-implantitis-related bone defects. A systematic review and meta-analysis. J Clin Periodontol. 2019;46:340–56.

191. Ramanauskaite A, Fretwurst T, Schwarz F. Efficacy of alternative or adjunctive measures to conventional non-surgical and surgical treatment of peri-implant mucositis and peri-implantitis: a systematic review and meta-analysis. Int J Implant Dent. 2021;7:1–61.

192. Araujo MG, Lindhe J. Peri-implant health. J Clin Periodontol. 2018;45:230–6.

193. Roccuzzo M, Layton DM, Roccuzzo A, Heitz-Mayfield LJ. Clinical outcomes of peri-implantitis treatment and supportive care: A systematic review. Clin Oral Implants Res. 2018;29:331–50.

194. Ramanauskaite A, Becker K, Juodzbalys G, Schwarz F. Clinical outcomes following surgical treatment of peri-implantitis at grafted and non-grafted implant sites: a retrospective analysis. Int J Implant Dent. 2018;4:27.

195. Roccuzzo M, Pittoni D, Roccuzzo A, Charrier L, Dalmasso P. Surgical treatment of peri-implantitis intrabony lesions by means of deproteinized bovine bone mineral with 10% collagen: 7-year-results. Clin Oral Implants Res. 2017;28:1577–83.

196. Hallström H, Persson GR, Lindgren S, Renvert S. Open flap debridement of peri-implantitis with or without adjunctive systemic antibiotics: A randomized clinical trial. J Clin Periodontol. 2017;44:1285–93.

197. Sivolella S, Brunello G, Michelon F, Concheri G, Graiff L, Meneghello R. Implantoplasty: Carbide burs vs diamond sonic tips. An in vitro study. Clin Oral Implants Res. 2021;32:324–36.

198. Stuani VT, Kim DM, Nagai M, Chen CY, Sant'Ana ACP. Effectiveness and surface changes of different decontamination protocols at smooth and minimally rough titanium surfaces. J Periodontol. 2021;92:704–15.

199. Lin CJ, Tsai MH, Wu YL, Lung H, Chen HS, Wu AYJ. The effect of an Er, Cr: YSGG laser combined with implantoplasty treatment on implant surface roughness and morphologic analysis: A pilot in vitro study. J Funct Biomater. 2022;13:133.

200. Yildiz H, Bertl K, Stavropoulos A. Titanium implant surface roughness after different implantoplasty protocols: A laboratory study. Clin Exp Dent Res. 2022;8:1315-21.

201. Yildiz H, Sen E, Dalcik H, Meseli SE. Evaluation of cell morphology and adhesion capacity

of human gingival fibroblasts on titanium discs with different roughened surfaces: an in vitro scanning electron microscope analysis and cell culture study. Folia Morphol (Warsz). 2023;82:63-71.

202. Burgueño-Barris G, Camps-Font O, Figueiredo R, Valmaseda-Castellón E. Factors affecting implant surface roughness and platform alterations after implantoplasty: An in vitro study simulating different clinical scenarios. Int J Oral Maxillofac Implants. 2023;38:739–46.

203. Lin C-Y, Chen Z, Chiang H-L, Pan W-L, Wang H-L. The impact of implantoplasty in regenerated and nonregenerated treatment modalities in peri-implantitis: A systematic review and meta-analysis. Int J Oral Maxillofac Implants. 2022;37:859–68.

204. Burgueño-Barris G, Camps-Font O, Figueiredo R, Valmaseda-Castellón E. The influence of implantoplasty on surface roughness, biofilm formation, and biocompatibility of titanium implants: A systematic review. Int J Oral Maxillofac Implants. 2021;36:111–9.

205. Azzola F, Ionescu AC, Ottobelli M, Cavalli N, Brambilla E, Corbella S, et al. Biofilm formation on dental implant surface treated by implantoplasty: An in situ study. Dent J. 2020;8:40.

206. Baima G, Citterio F, Romandini M, Romano F, Mariani GM, Buduneli N, et al. Surface decontamination protocols for surgical treatment of peri-implantitis: a systematic review with meta-analysis. Clin Oral Implants Res. 2022;33:1069–86.

207. Lasserre J, Brecx M, Toma S. Implantoplasty versus glycine air abrasion for the surgical treatment of peri-implantitis: A randomized clinical trial. Int J Oral Maxillofac Implants. 2020;35:197–206.

208. Bertl K, Isidor F, von Steyern PV, Stavropoulos A. Does implantoplasty affect the failure strength of narrow and regular diameter implants? A laboratory study. Clin Oral

Investig. 2021;25:2203–11.

209. Leitão-almeida B, Camps-font O, Correia A, Mir-mari J, Figueiredo R. Effect of bone loss on the fracture resistance of narrow dental implants after implantoplasty . An in vitro study. 2021;26:611-8.

210. Almeida BL, Font OC, Correia A, Mari JM, Figueiredo R. Effect of crown to implant ratio and implantoplasty on the fracture resistance of narrow dental implants with marginal bone loss : an in vitro study. BMC Oral Health. 2020;20:329.

211. Shah SD, Zheng F, Seghi RR, Lee DJ. Strength of titanium-zirconium alloy implants with a conical connection after implantoplasty. J Prosthet Dent. 2022; [Ahead of Print]

212. Camps-Font O, González-Barnadas A, Mir-Mari J, Figueiredo R, Gay-Escoda C, Valmaseda-Castellón E. Fracture resistance after implantoplasty in three implant-abutment connection designs. Med Oral Patol Oral y Cir Bucal. 2020;25:691–9.

213. Camps-Font O, Toledano-Serrabona J, Juiz-Camps A, Gil J, Sánchez-Garcés MA, Figueiredo R, et al. Effect of implantoplasty on roughness, fatigue and corrosion behavior of narrow diameter dental implants. J Funct Biomater. 2023;14:61.

214. Jorio IC, Stawarczyk B, Attin T, Schmidlin PR, Sahrmann P. Reduced fracture load of dental implants after implantoplasty with different instrumentation sequences. An in vitro study. Clin Oral Implants Res. 2021;32:881–92.

215. Mombelli A, Hashim D, Cionca N. What is the impact of titanium particles and biocorrosion on implant survival and complications? A critical review. Clin Oral Implants Res. 2018;29:37–53.

216. Toledano-serrabona J, Maria Á, Gay-escoda C, Valmaseda-castell E, Camps-font O, Verdeguer P, et al. Particles obtained by implantoplasty : An in vitro study . Part II. 2021;14:6519.

217. Callejas JA, Gil J, Brizuela A, Pérez RA, Bosch BM. Effect of the size of titanium particles released from dental implants on immunological response. Int J Mol Sci. 2022;23:1–15.

218. Suárez-López del Amo F, Garaicoa-Pazmiño C, Fretwurst T, Castilho RM, Squarize CH. Dental implants-associated release of titanium particles: A systematic review. Clin Oral Implants Res. 2018;29:1085–100.

219. Hakki SS, Tatar G, Dundar N, Demiralp B. The effect of different cleaning methods on the surface and temperature of failed titanium implants: an in vitro study. Lasers Med Sci. 2017;32:563–71.

220. Schwarz F, Sahm N, Iglhaut G, Becker J. Impact of the method of surface debridement and decontamination on the clinical outcome following combined surgical therapy of peri-implantitis: A randomized controlled clinical study. J Clin Periodontol. 2011;38:276–84.

221. dos Santos Martins B, Fernandes J, Martins A, Castilho R, Fernandes G. Surgical and nonsurgical treatment protocols for peri-implantitis: An overview of systematic reviews. Int J Oral Maxillofac Implants. 2022;37:660–76.

222. Lasserre J, Brecx M, Toma S. Implantoplasty versus glycine air abrasion for the surgical treatment of peri-implantitis: A randomized clinical trial. Int J Oral Maxillofac Implants. 2020;35:197–206.

223. Bianchini MA, Galarraga-Vinueza ME, Apaza-Bedoya K, De Souza JM, Magini R, Schwarz F. Two to six-year disease resolution and marginal bone stability rates of a modified resective-implantoplasty therapy in 32 peri-implantitis cases. Clin Implant Dent Relat Res. 2019;21:758-65.

224. Bianchini M, Galarraga-Vinueza M, Bedoya K, Correa B, de Souza Magini R, Schwarz F. Implantoplasty enhancing peri-implant bone stability over a 3-year follow-up: A case

series. Int J Periodontics Restorative Dent. 2020;40:1–8.

225. Sanz-Martín I, Cha JK, Sanz-Sánchez I, Figuero E, Herrera D, Sanz M. Changes in peri-implant soft tissue levels following surgical treatment of peri-implantitis: A systematic review and meta-analysis. Clin Oral Implants Res. 2021;32:230–44.

226. Sapata VM, de Souza AB, Sukekava F, Villar CC, César Neto JB. Multidisciplinary treatment for peri-implantitis: A 24-month follow-up case report. Clin Adv Periodontics. 2016;6:76–82.

227. Pommer B, Haas R, Mailath-Pokorny G, Fürhauser R, Watzek G, Busenlechner D, et al. Periimplantitis treatment: Long-term comparison of laser decontamination and implantoplasty surgery. Implant Dent. 2016;25:646–9.

228. Dalago H, Perrotti V, Torres de Freitas S, Ferreira C, Piattelli A, Iaculli F, et al. Prospective longitudinal comparison study of surgical therapies for peri-implantitis: 3-year follow-up. Aust Dent J. 2019;64:237-45.

229. Monje A, Blasi G, Nart J, Urban I, Nevins M, Wang H-L. Soft tissue conditioning for the surgical therapy of peri-implantitis: A prospective 12-month study. Int J Periodontics Restorative Dent. 2020;40:899–906.

230. Ravidà A, Siqueira R, Saleh I, Saleh MHA, Giannobile A, Wang HL. Lack of clinical benefit of implantoplasty to improve implant survival rate. J Dent Res. 2020;99:1348–55.

231. Martins O, Sahrmann P, Ramos J, Caramelo F, Matos S, Baptista IP. Implantoplasty improves clinical parameters over a 2-year follow-up: A case series. Med. 2022;58:113.

232. Monje A, Pons R, Amerio E, Wang HL, Nart J. Resolution of peri-implantitis by means of implantoplasty as adjunct to surgical therapy: A retrospective study. J Periodontol. 2022;93:110–22.

233. Thierbach R, Eger T. Clinical outcome of a nonsurgical and surgical treatment protocol

in different types of peri-implantitis: a case series. Quintessence Int. 2013;44:137–48.

234. Matarasso S, Iorio Siciliano V, Aglietta M, Andreuccetti G, Salvi GE. Clinical and radiographic outcomes of a combined resective and regenerative approach in the treatment of peri-implantitis: A prospective case series. Clin Oral Implants Res. 2014;25:761–7.

235. Schwarz F, John G, Becker J. Reentry after combined surgical resective and regenerative therapy of advanced peri-implantitis: A retrospective analysis of five cases. Int J Periodontics Restorative Dent. 2017;35:647–53.

236. Nart J, de Tapia B, Pujol À, Pascual A, Valles C. Vancomycin and tobramycin impregnated mineralized allograft for the surgical regenerative treatment of peri-implantitis: A 1-year follow-up case series. Clin Oral Investig. 2018;22:2199–207.

237. Ramanauskaite A, Schwarz F. Clinical outcomes following surgical treatment of peri-implantitis at grafted and non-grafted implant sites. A retrospective analysis. Clin Oral Implants Res. 2018;4:27.

238. Wang CW, Ashnagar S, Gianfilippo R Di, Arnett M, Kinney J, Wang HL. Laser-assisted regenerative surgical therapy for peri-implantitis: A randomized controlled clinical trial. J Periodontol. 2021;92:378–88.

239. Wen SC, Barootchi S, Huang WX, Wang HL. Surgical reconstructive treatment for infraosseous peri-implantitis defects with a submerged healing approach: A prospective controlled study. J Periodontol. 2022;93:195–207.

240. Obreja K, Galarraga-Vinueza ME, Müller K, Begic A, Ramanauskaite A, Schwarz F. Volumetric tissue changes following combined surgical therapy of peri-implantitis: A 2-year follow-up analysis. A prospective case series. Clin Implant Dent Relat Res. 2022;24:267–75.

241. Wen SC, Barootchi S, Wang HL, Huang WX. Non-submerged reconstructive approach for peri-implantitis osseous defect with removal of implant crowns: One-year outcomes of a prospective case series study. J Periodontol. 2022;93:1250–61.

11. ANEXOS

A. Publicación del artículo original presentado en la tesis:

Factors Affecting Implant Surface Roughness and Platform Alterations After Implantoplasty: An In Vitro Study Simulating Different Clinical Scenarios

Genís Burgueño-Barris, DDS[1]/Octavi Camps-Font, DDS[1]/Rui Figueiredo, DDS, MS, PhD[1,2]/
Eduard Valmaseda-Castellón, DDS, MS, PhD[1,2]

Purpose: To determine which clinical factors might affect the postimplantoplasty presence of residual threads, platform alterations, and level of surface roughness. ***Materials and Methods:*** A total of 60 implants were placed in 20 resin models (10 edentulous maxillary models and 10 partially dentate mandibular models), and 5-mm peri-implant bone defects were created. These models were then placed in simulation mannequins. A single researcher performed the implantoplasties, which were divided into the following groups: favorable situation (FS; maxillary incisors without adjacent teeth), unfavorable situation (US; mandibular molars with adjacent teeth), crown (C; mandibular premolars with a prosthetic crown and adjacent teeth), and noncrown (NC; mandibular premolars with adjacent teeth and without a prosthetic crown). The presence of residual threads, gaps in the implant-abutment interface, and silicone debris was assessed using a scanning electron microscope (SEM), and the surface roughness (Sa and Sz) was analyzed with a confocal optical microscope. A descriptive and bivariate analysis was conducted. ***Results:*** The postimplantoplasty surfaces were significantly smoother than the original implant surfaces. The surface roughness was significantly higher in the US group than in the FS group. Gaps in the implant-abutment interface were infrequent (6.67%; 95% CI = 2.62 to 15.93) and only appeared in the posterior zone. The odds ratio for the presence of residual threads and silicone debris (US group vs FS group) was 7.1 (95% CI = 4.15 to 12.14; $P < .001$) and 5.53 (95% CI = 3.21 to 9.53; $P < .001$), respectively. When a prosthetic crown was present, residual threads were 7 times more likely to be found (OR = 7.0; 95% CI = 3.5 to 13.99; $P < .001$). ***Conclusions:*** Implantoplasty leads to a significant reduction in the surface roughness of implants but is affected by several variables. Performing implantoplasty on posterior mandibular implants with adjacent teeth seems to be more challenging compared to implants placed in the anterior region of a fully edentulous maxilla. The presence of a prosthetic crown should also be considered as a relevant factor. Furthermore, implantoplasty can sometimes cause gaps in the implant-abutment interface and an accumulation of silicone debris, especially in areas with limited access. *Int J Oral Maxillofac Implants 2023;38:739–746. doi: 10.11607/jomi.10074*

Keywords: implantoplasty, dental implants, surface roughness, peri-implantitis

Peri-implantitis is a chronic disease characterized by peri-implant soft tissue inflammation in conjunction with progressive peri-implant bone loss.[1,2] The risk of peri-implant diseases increases with age and could affect almost half of the implants after a 9-year period.[3] Several treatments for peri-implantitis have been described, but the results are not always predictable.[4–7] Most authors recommend an initial nonsurgical treatment followed by a surgical procedure.[8,9] Several surgical approaches are possible, and selection should be based on the bone defect anatomy, the esthetic involvement, and the presence of keratinized mucosa, among other factors.[9–12]

Implantoplasty, which consists of removing the threads and polishing the exposed area of an implant, has been recommended to reduce the surface roughness of implants affected by peri-implantitis. The aim of the procedure is to detoxify the implant and smooth the implant surface.[13,14] In the literature, it has been shown that a smoother surface reduces biofilm adhesion and facilitates its removal.[14–18] A recent systematic review[18] concluded that implantoplasty inhibits biofilm formation without affecting the biocompatibility of the implants. Several clinical studies have also shown good outcomes in resective or combined surgical approaches with implantoplasty.[9,13–16] Indeed, a recent report concluded that implantoplasty allows the peri-implant to maintain marginal bone levels and permits a high disease resolution rate (> 80%) in patients with at least 2 years of follow-up.[16]

[1]Department of Oral Surgery and Implantology, Faculty of Medicine and Health Sciences, University of Barcelona, Barcelona, Spain.
[2]Researcher at the Bellvitge Biomedical Research Institute , Barcelonsa, Spain.

Correspondence to: Dr Rui Figueiredo, Faculty of Medicine and Health Sciences - University of Barcelona, Campus de Bellvitge; Facultat de Medicina i Ciències de la salut. Despatx de Cirugía e Implantología Bucal C/ Feixa Llarga, s/n; Pavelló Govern, 2ª planta. 08907 L'Hospitalet de Llobregat; Barcelona, Spain.
Email: ruibarbosa@ub.edu

Submitted May 18, 2022; accepted August 15, 2022.
©2023 by Quintessence Publishing Co Inc.

© 2023 BY QUINTESSENCE PUBLISHING CO, INC. PRINTING OF THIS DOCUMENT IS RESTRICTED TO PERSONAL USE ONLY.
NO PART MAY BE REPRODUCED OR TRANSMITTED IN ANY FORM WITHOUT WRITTEN PERMISSION FROM THE PUBLISHER.

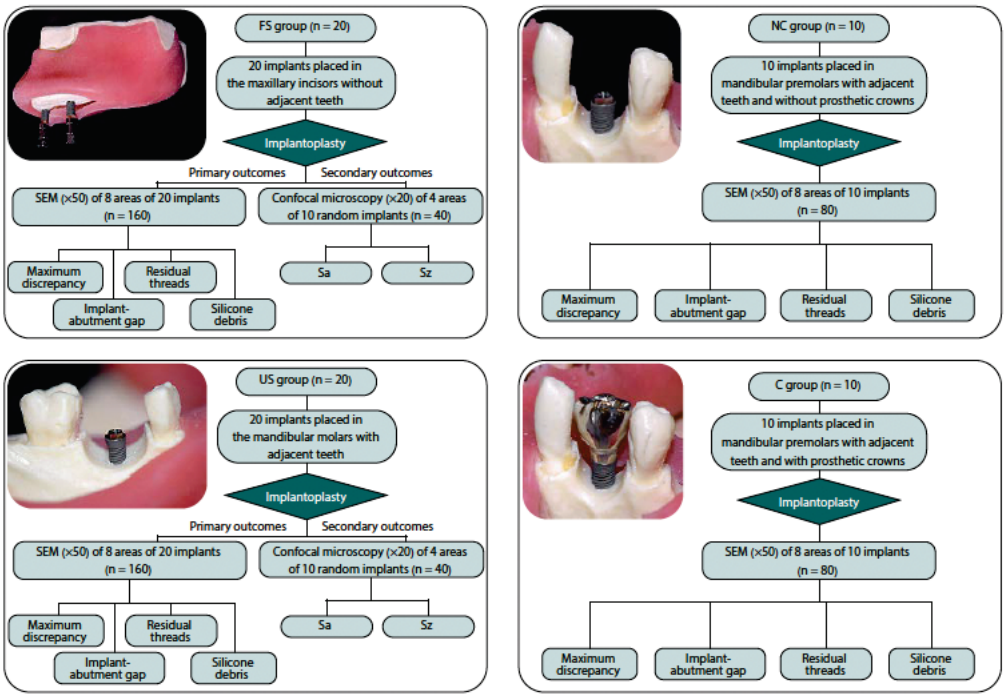


Fig 1 Study design flowchart showing the four analyzed groups: favorable situation (FS; maxillary incisors without adjacent teeth), unfavorable situation (US; mandibular molars with adjacent teeth), crown (C; mandibular premolars with a prosthetic crown and adjacent teeth), and noncrown (NC; mandibular premolars with adjacent teeth and without a prosthetic crown).

Although two recent systematic reviews[17,18] stated that implantoplasty seems to be a safe procedure without significant biologic or mechanical complications, other authors have expressed concerns. The reduction of implant walls might lower the resistance to fracture, especially in cases involving narrow-diameter implants with internal connections, unfavorable crown-to-implant ratios, or advanced bone loss.[19–22] In addition, implantoplasty releases titanium particles that can remain firmly attached to the soft and hard tissues and may induce an inflammatory reaction.[23–26] This technique might also affect the platform area of the implant, compromising the correct seating of the abutment. This could lead to biologic and mechanical complications due to the presence of gaps in the implant-abutment interface.

Several bur protocols have been described in the literature. One of the most suitable options seems to be the use of carbide tungsten burs followed by silicone polishers.[18,27] Several studies have obtained excellent surface roughness results with this protocol.[19,21,22,27] However, it should be noted that most of the studies were conducted in an ideal in vitro environment with excellent light, visibility, and access conditions. Indeed, to the best of the authors' knowledge, only one study used an anatomical model (without soft tissues) placed in phantom heads.[28] However, it only analyzed one particular clinical situation (single-unit implants placed in maxillary molars). Thus, there is no available data on whether surface roughness results might be affected by the position of the implant (anterior vs posterior), the presence of adjacent teeth, or the presence of a prosthetic crown. Therefore, the aim of the present in vitro study was to determine which clinical factors might affect the postimplantoplasty presence of residual threads, platform alterations, and surface roughness.

MATERIALS AND METHODS

Study Setup

An in vitro study was conducted using 60 grade V titanium dental implants with an external hexagonal connection (Avinent Coral HE 3.3 × 10 mm, Avinent Implant System) and 20 custom-made models with soft tissues (BoneModels) that simulated either an edentulous maxilla (n = 10) or a partially edentulous lower

© 2023 BY QUINTESSENCE PUBLISHING CO, INC. PRINTING OF THIS DOCUMENT IS RESTRICTED TO PERSONAL USE ONLY.
NO PART MAY BE REPRODUCED OR TRANSMITTED IN ANY FORM WITHOUT WRITTEN PERMISSION FROM THE PUBLISHER.

mandible (n = 10). The dental implants employed had a moderately rough surface as a result of the sandblasting, acid-etching, and anodizing techniques.

In the mandibular models, four dental implants were placed in the first molar and first premolar positions, and standard 5-mm–deep peri-implant subcrestal defects were created. In the edentulous maxillary models, two narrow-diameter implants were placed in the lateral incisor area, leaving 5 mm of the rough surface exposed to simulate a horizontal bone defect. In one group (n = 10), identical metal crowns were digitally designed, milled, and placed on the implants in the mandibular left first premolar position (Fig 1). A cover screw was placed in the remaining implants to protect their implant-abutment connection during the implantoplasty procedure. Before each instrumentation, the models were placed in their anatomical position in a phantom head simulator to recreate a clinical scenario.

For the analysis, implants were divided into four groups (Fig 1): favorable situation (FS; maxillary incisors without adjacent teeth), unfavorable situation (US; mandibular molars with adjacent teeth), crown (C; mandibular premolars with a prosthetic crown and adjacent teeth), and noncrown (NC; mandibular premolars with adjacent teeth but without a prosthetic crown).

Implantoplasty Procedure

An experienced clinician (G.B.B.) performed all implantoplasties using a turbine (GENTLEsilence LUX 8000B, Kavo Dental) under water irrigation with ×2.8 magnification (Galilean HD, ExamVision) and adequate illumination (Focus LED 6000k, ExamVision). The simplified three-bur protocol described by Burgueño-Barris et al[18] and Costa-Berenguer et al[27] was followed: An oval-shape tungsten carbide bur (H379.314.023, Komet Dental) was used to remove the threads, followed by two silicone carbide polishers (9618.314.030 and 9608.314.030, Komet Dental) to polish the surface. The preparation time for each implant was recorded. Finally, reference points on the buccal, lingual, mesial, and distal aspects were established before removing the fixtures with the implant driver. Identical polished titanium prosthetic abutments were then placed on each implant. After applying a 35 Ncm torque, prosthetic screws (Avinent Implant System) were used to retain the abutments.

PRIMARY OUTCOMES

An observer (G.B.B.) explored the implant-abutment and implant-crown interfaces with a scanning electron microscope (FEI ESEM Quanta-200, FELMI-ZFE). A total of eight areas (buccal, lingual, mesial, distal, mesiobuccal, mesiolingual, distobuccal, and distolingual) were assessed at ×50 magnification. Accordingly, eight images were obtained for each implant (n = 480) and, if the platform seemed affected, an additional image was taken at ×100 magnification. The following parameters were recorded for each image:

- Maximal discrepancy (µm) between prosthetic abutment and implant platform. As the images were captured with a 10-degree angle, the real discrepancy was obtained after applying the following trigonometry formula: Discrepancy = Measurement × (1/cos10°)
- Presence of a gap between the abutment and the implant connection (maximal discrepancy of the gap [µm])
- Presence of residual threads or irregularities on the implant surface.
- Presence of silicone debris over the implant surface.

This analysis was performed on the 60 implants included in the sample, as shown in Fig 1. To test intraexaminer agreement and consistency, the assessment of 50 randomly selected images (50 measurements) was repeated after a 2-week interval. The intraclass correlation coefficient was 0.98 (95% CI = 0.97 to 0.99; $P < .001$), showing excellent reliability and consistency.

SECONDARY OUTCOME

Additional analysis was performed to compare the surface roughness and topography of the FS and US groups. A total of 20 implants (10 from the FS group and 10 from the US group) were randomly selected, placed totally perpendicular to the tangent of the surface, and analyzed under an interferometric confocal microscope (Leica 3DCM) at ×20 magnification. Areas of interest (4 × 6 mm) located 2.5 mm below the platform of each area (buccal, lingual, mesial, and distal) were observed. An untreated implant and an untreated smooth prosthetic abutment were used as controls. Images were processed with LeicaSCAN and LeicaMAP software (Leica Microsystems). Surface roughness was defined by the following three-dimensional parameters:

- Sa (arithmetic mean height): difference in height of each point compared to the arithmetic mean of the surface
- Sz (average maximal height): sum of the highest peak height value and the highest pit depth value within the defined area

STATISTICAL ANALYSIS

The results of a previous study were used to calculate the sample size.[27] Considering the four groups (FS, US, C, and NC) and six comparison points (mesiobuccal, buccal, distobuccal, mesiolingual, lingual, and distolingual),

© 2023 BY QUINTESSENCE PUBLISHING CO, INC. PRINTING OF THIS DOCUMENT IS RESTRICTED TO PERSONAL USE ONLY.
NO PART MAY BE REPRODUCED OR TRANSMITTED IN ANY FORM WITHOUT WRITTEN PERMISSION FROM THE PUBLISHER.

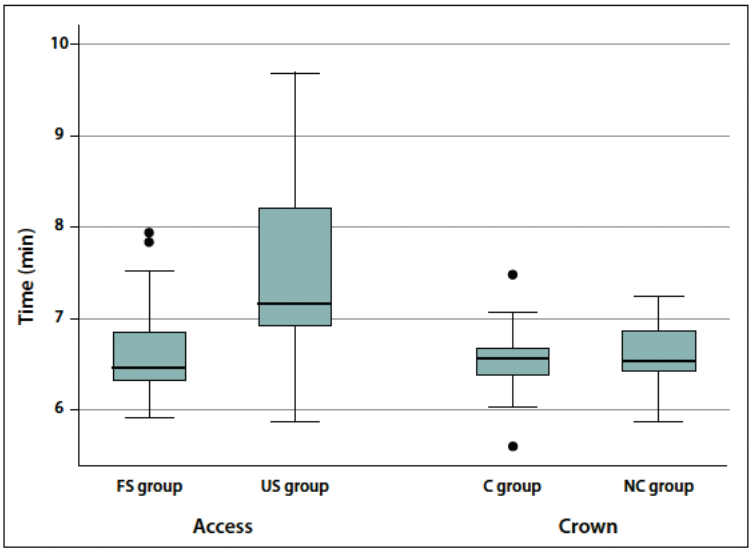


Fig 2 Box plot comparing the time taken to perform the implantoplasty in each group.

Table 1 Surface Roughnesses of the FS Group, US Group, and Controls

	Sa (µm)			Sz (µm)		
Clinical variables	Mean (SD)	MD (95% CI)	*P*	Mean (SD)	MD (95% CI)	*P*
FS group	0.53 (0.10)	−0.16 (−0.21 to −0.10)	< .001*	8.98 (1.40)	−4.86 (−6.29 to −3.43)	< .001*
US group	0.68 (0.13)			13.84 (4.33)		
Implantoplasty samples (total)	0.60 (0.14)			11.41 (4.03)		
Untreated implant surface (control)	1.83 (0.10)	NA	< .001†	37.78 (0.35)	NA	< .001†
Polished prosthetic abutment (control)	0.24 (0.01)			4.46 (0.15)		

MD: Mean difference.
*independent t test, $P < .001$; †Kruskal-Wallis test with Bonferroni correction.

a 33% difference between the roughest and least rough surfaces was estimated. Ten implants per group were required if a surface roughness of 0.1 µm with an SD value of 0.02 µm[27] was expected, assuming a clinical change of 0.033 µm (33% of the total) with a statistical power of 80% and an alpha risk of .05.

The implant characteristics were presented as absolute and relative frequencies for categorical outcomes. The groups were compared through bivariate analysis using chi-square or Fisher exact tests. The odds ratios (OR) with a 95% CI were calculated for each covariate.

The normality of the scale variables (roughness parameters and implant-abutment interface discrepancies) was explored through Shapiro-Wilk test and visual analysis of the P-P and box plots. Where normality was rejected, the interquartile range (IQR) and median were calculated. Where the distribution was compatible with normality, the mean and SD were used. Differences between groups of scale variables were explored using parametric tests (Student *t* test for independent samples or one-way ANOVA) or nonparametric tests (Mann-Whitney *U* test or Kruskal-Wallis test).

The statistical analysis was carried out with Stata14 software (StataCorp) using Bonferroni correction for multiplicity of contrasts. The assumptions underlying the statistical analysis were checked.

© 2023 BY QUINTESSENCE PUBLISHING CO, INC. PRINTING OF THIS DOCUMENT IS RESTRICTED TO PERSONAL USE ONLY.
NO PART MAY BE REPRODUCED OR TRANSMITTED IN ANY FORM WITHOUT WRITTEN PERMISSION FROM THE PUBLISHER.

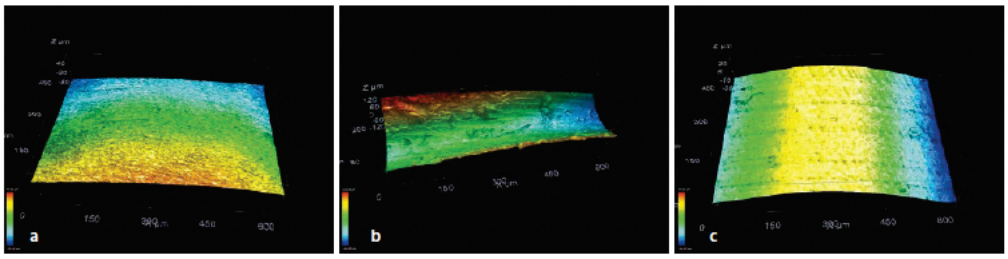


Fig 3 Image obtained with an interferometric confocal microscope assessing implant roughness after implantoplasty. *(a)* Sandblasted, acid-etched, and anodized implant after implantoplasty. *(b)* Untreated implant surface (control). *(c)* Polished prosthetic abutment (control).

RESULTS

The median implantoplasty procedure time was 6 minutes and 40 seconds (IQR = 48 seconds). Implants located in molar regions with adjacent teeth (limited access) were associated with a significantly more time-consuming procedure, requiring approximately 10% additional time ($P < .05$ for all pairwise comparisons; Fig 2).

Table 1 compares the surface roughness results obtained in the FS and US groups. The implantoplasty surfaces were significantly smoother than the untreated surfaces ($P < .001$) but rougher than the polished prosthetic abutment ($P < .001$; Fig 3). The roughness parameters were influenced by the position of the implant and the presence of adjacent teeth ($P < .001$). Specifically, posterior fixtures with adjacent teeth had a significantly rougher surface than anterior maxillary implants without adjacent teeth (Sa: MD = 0.16; 95% CI = 0.10 to 0.21; Sz: MD = 4.86; 95% CI = 3.42 to 6.29). Conversely, both the Sa ($F[3, 75] = 0.23$; $P = .876$) and the Sz ($F[3, 75] = 0.58$; $P = .629$) values were similar on all sides (ie, buccal, lingual, mesial, and distal) where implantoplasty was performed. Moreover, neither Sa ($P = .986$) nor Sz ($P = .906$) were affected by the side (left or right) in which the implant was placed.

Table 2 and Fig 4 show the presence of residual threads, gaps in the implant-abutment interfaces, or silicone debris in each situation analyzed. Residual threads (OR = 7.10; 95% CI = 4.15 to 12.14; $P < .001$; Fig 4a) and silicone debris (OR= 5.53; 95% CI = 3.21 to 9.53]; $P < .001$; Fig 4b) were significantly more frequent in the US group than the FS group. Four gaps (6.67%; median: 362.68 µm; IQR: 49.32; range: 342.00 to 408.29; Fig 4c) in implant-abutment interfaces were identified in the unfavorable situation group ($P = .123$). The presence of a prosthetic crown brought a 7-fold rise in the risk of observing residual threads (OR = 7.00; 95% CI = 3.50 to 13.99; $P < .001$). Silicone debris accumulation was also more frequent in implants with crowns, but this difference was not statistically significant (OR = 1.89; 95% CI = 1.00 to 3.60; $P = .053$).

Table 2 Risk of Residual Threads, Gaps in the Implant-Abutment Interface, and Silicone Debris After Implantoplasty

	Residual threads	Implant-abutment gap	Silicone debris
US group	87/160 (54.4%)	4/160 (2.5%)	75/160 (46.9%)
FS group	23/160 (14.4%)	0/160 (0%)	22/160 (13.8%)
OR (95%CI)	7.10 (4.15 to 12.14)*	NA	5.53 (3.21 to 9.53)*
P	< .001*	0.123†	< .001*
C group	56/80 (70.0%)	0/80 (0%)	37/80 (46.3%)
NC group	20/80 (25.0%)	0/80 (0%)	25/80 (31.3%)
OR (95% CI)	7.00 (3.50 to 13.99)*	NA	1.89 (1.00 to 3.60)
P	< .001*	NA	.053
Total	186/480 (38.8%)	4/480 (0.8%)	159/480 (33.1%)

*Statistically significant differences; †Fisher exact test; NA: Not applicable. Eight locations (mesial, mesiobuccal, buccal, distobuccal, distal, distolingual, lingual and mesiolingual) were assessed on each implant.

Figure 5 shows two radar charts of the distribution of the mean implant-abutment interface discrepancies in the four groups (ie, FS vs US and C vs NC) for each implant location. All implants subjected to implantoplasty exhibited some degree of discrepancy between the implant platform and the prosthetic abutment in at least one of the eight areas assessed (mean: 68 µm; SD = 57.93; range: 0 to 408.29). When the prosthetic crown was present, the amount of discrepancy increased significantly (MD = 22.04 µm; 95% CI = 9.13 to 34.95; $P = .002$). On the other hand, the discrepancy results were similar (MD = 9.15 µm; 95% CI = −12.32 to 30.62; $P = .394$) when comparing the anterior upper implants with no adjacent teeth to the implants located in the posterior lower zone with adjacent teeth.

© 2023 BY QUINTESSENCE PUBLISHING CO, INC. PRINTING OF THIS DOCUMENT IS RESTRICTED TO PERSONAL USE ONLY.
NO PART MAY BE REPRODUCED OR TRANSMITTED IN ANY FORM WITHOUT WRITTEN PERMISSION FROM THE PUBLISHER.

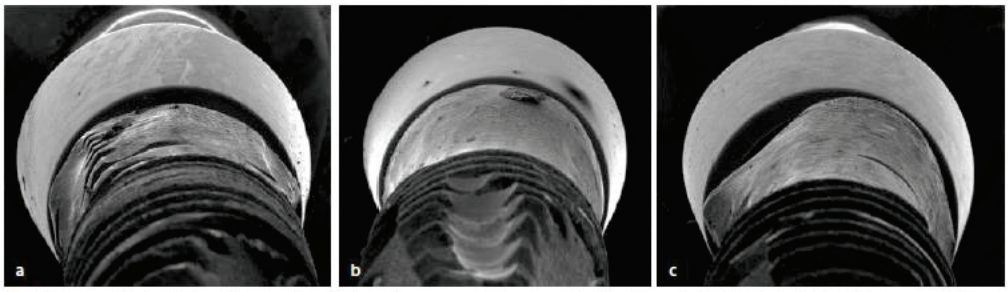


Fig 4 Images obtained through a scanning electron microscope. *(a)* Presence of residual threads after implantoplasty. *(b)* Presence of silicone debris after implantoplasty. *(c)* Presence of an implant-abutment gap after implantoplasty.

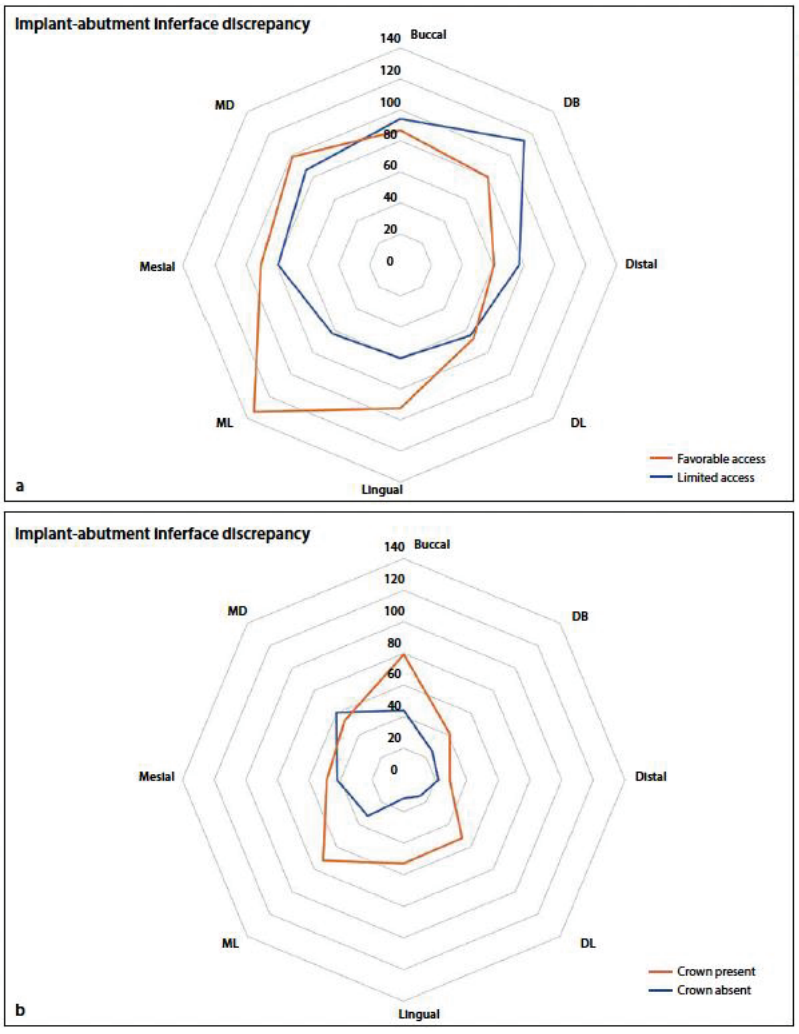


Fig 5 Radar chart evaluating the mean implant-abutment discrepancy after implantoplasty for each of the areas assessed. *(a)* Comparison between the FS and US groups. *(b)* Comparison between the C and NC groups.

© 2023 BY QUINTESSENCE PUBLISHING CO, INC. PRINTING OF THIS DOCUMENT IS RESTRICTED TO PERSONAL USE ONLY.
NO PART MAY BE REPRODUCED OR TRANSMITTED IN ANY FORM WITHOUT WRITTEN PERMISSION FROM THE PUBLISHER.

DISCUSSION

The present in vitro study aimed to determine whether clinical variables like implant location, presence of adjacent teeth, or presence of a prosthesis might affect the outcome of an implantoplasty. The present results have shown that these variables are indeed relevant and that worse surface roughness values were found in difficult access areas. However, all implantoplasty samples had significantly smoother surfaces than the untreated implant (control), which clearly indicates that implantoplasty can be performed even in unfavorable situations. In fact, the results were similar to those of most published studies.[18,28–30] Still, it is important to stress that it was not possible to obtain an evenly polished surface in all situations.

One limitation of the present research is related to its in vitro nature, which always limits the external validity of the results. However, in this study, custom-made anatomical models placed in simulation mannequins were used, reducing this source of bias. In fact, most published papers on this topic have a considerably simpler setup, so the reported roughnesses might be unrealistic in real patients.[19,21,22,27,30] Nevertheless, it is important to stress that our study only assesses some particular situations and does not allow for conclusions to be drawn on the role of many other possible relevant variables, such as the affected arch (maxilla vs mandible), the presence of adjacent implants, or the anatomy of the peri-implant defect, among others. Moreover, factors that can only be found in a clinical environment—such as bleeding, limited mouth opening, and patient anxiety—also require additional clinical research.

As already mentioned, one study employed custom-made anatomical models placed in a phantom head simulator to improve the generalization of the results.[28] However, the present study offers several additional advantages. Firstly, the models had soft tissue, which increases the external validity of the results because soft tissue might reduce surgeon visibility during the procedure. Secondly, the design assessed whether the presence of adjacent teeth or a crown might affect the result. Finally, several outcome variables were analyzed, such as surface roughness, presence of residual threads, observation of gaps in the implant-abutment interface, and presence of silicone debris. This clearly demonstrated that areas with more limited access had worse results for all the outcome variables. Indeed, gaps, residual threads, and silicone debris were found much more frequently in the most challenging situation (posterior mandibular implants with adjacent teeth and crowns).

According to some papers, implantoplasty slightly reduces dental implant resistance to fracture.[27,31] One possible explanation for this could be related to the discrepancies detected between the platforms and the abutments, which might affect the mechanical properties of the implant-abutment complex. In addition, a gap was observed in some locations, despite the connection being protected with a cover screw during the implantoplasty procedure. Tissue-level implants or implants with a polished collar would probably be less likely to suffer this complication. The discrepancy could also cause inflammation and marginal bone loss due to bacterial leakage,[32] an issue that might be especially relevant when a combined surgical treatment is used because the gap could be in a critical area very close to the peri-implant bone. However, this discrepancy would not be as clinically significant when resective approaches are employed, because the gap often lies above the mucosal margin. Future research is necessary to analyze the clinical repercussions of these discrepancies.

The presence of prosthetic crowns made implantoplasty less effective, with more gaps and residual threads and worse surface roughness values. Therefore, implantoplasty outcomes might be better in implants with screw-retained restorations that can be easily removed.

Other in vitro studies have reported slightly smoother surfaces after implantoplasty than those measured in these results. For example, using the same bur protocol, Costa-Berenguer et al[27] and Beheshti Maal et al[29] reached surface roughnesses (Sa) of 0.1 ± 0.02 µm and 0.41 ± 0.13 µm, respectively. Ramel et al[30] employed a different bur protocol (three diamond burs and two silicone polishers) and achieved a similar result (Ra = 0.32 ± 0.14 µm). The results of the present study are likely to be more realistic due to the study design.

Finally, implantoplasties generate titanium debris, which induces inflammatory reactions of the peri-implant soft tissue and bone.[23–26] In addition, silicone polishers can also release debris that stays on the implant surface. In this study, silicone debris was found at one-third of the locations, usually attached to the platform zone. Posterior implants with neighboring teeth and crowns seem to have a higher risk of accumulating silicone particles, which in turn might induce an undesirable inflammatory reaction.

CONCLUSIONS

Implantoplasty significantly reduces the surface roughness of implants, but this is affected by several clinical variables. On some occasions, implantoplasties can cause gaps in the implant-abutment interface and accumulation of silicone debris, especially in areas with limited access. Performing an implantoplasty on posterior mandibular implants with neighboring teeth seems to be more challenging compared to implants placed in the anterior region of a fully edentulous maxilla. The

© 2023 BY QUINTESSENCE PUBLISHING CO, INC. PRINTING OF THIS DOCUMENT IS RESTRICTED TO PERSONAL USE ONLY.
NO PART MAY BE REPRODUCED OR TRANSMITTED IN ANY FORM WITHOUT WRITTEN PERMISSION FROM THE PUBLISHER.

presence of a prosthetic crown should also be considered as a relevant factor because it seems to affect the final result. Further clinical and in vitro studies should be conducted to assess the results of implantoplasty for the treatment of peri-implantitis in different clinical scenarios.

ACKNOWLEDGMENTS

English editing assistance was provided by Mary Georgina Hardinge.

The authors are grateful for nonfinancial support from BoneModels and Avinent Implant System, who kindly provided the models and dental implants for this study. The authors would also like to thank the staff of the Centres Científics i Tecnològics de la Universitat de Barcelona for their assistance with the SEM and confocal analysis.

The authors declare that they have no conflicts of interest in relation to this study. The authors declare the following interests outside the presented work:

The present research was conducted by the Dental and Maxillofacial Pathology and Therapeutics research group at the IDIBELL Institute.

REFERENCES

1. Berglundh T, Armitage G, Araujo MG, et al. Peri-implant diseases and conditions: Consensus report of workgroup 4 of the 2017 World Workshop on the Classification of Periodontal and Peri-implant Diseases and Conditions. J Clin Periodontol 2018;45:286–291.
2. Schwarz F, Derks J, Monje A, Wang HL. Peri-implantitis. J Clin Periodontol 2018;45:246–266.
3. Derks J, Schaller D, Håkansson J, Wennström JL, Tomasi C, Berglundh T. Effectiveness of implant therapy analyzed in a swedish population: Prevalence of peri-implantitis. J Dent Res 2016;95:43–49.
4. Ramanauskaite A, Becker K, Juodzbalys G, Schwarz F. Clinical outcomes following surgical treatment of peri-implantitis at grafted and non-grafted implant sites: A retrospective analysis. Int J Implant Dent 2018;4:27.
5. Hallström H, Persson GR, Lindgren S, Renvert S. Open flap debridement of peri-implantitis with or without adjunctive systemic antibiotics: A randomized clinical trial. J Clin Periodontol 2017;44:1285–1293.
6. Mercado F, Hamlet S, Ivanovski S. Regenerative surgical therapy for peri-implantitis using deproteinized bovine bone mineral with 10% collagen, enamel matrix derivative and doxycycline—A prospective 3-year cohort study. Clin Oral Implants Res 2018;29:583–591.
7. Roccuzzo M, Pittoni D, Roccuzzo A, Charrier L, Dalmasso P. Surgical treatment of peri-implantitis intrabony lesions by means of deproteinized bovine bone mineral with 10% collagen: 7-year-results. Clin Oral Implants Res 2017;28:1577–1583.
8. Renvert S, Roos-Jansåker AM, Claffey N. Non-surgical treatment of peri-implant mucositis and peri-implantitis: A literature review. J Clin Periodontol 2008;35:305–315.
9. Renvert S, Polyzois I. Treatment of pathologic peri-implant pockets. Periodontol 2000 2018;76:180–190.
10. Khoury F, Keeve PL, Ramanauskaite A, et al. Surgical treatment of peri-implantitis – Consensus report of working group 4. Int Dent J 2019;69:18–22.
11. Ramanauskaite A, Daugela P, Faria e Almeida R, Saulacic N. Surgical non-regenerative treatments for peri-implantitis: A systematic review. J Oral Maxillofac Res 2016;7:1–11.
12. Daugela P, Cicciù M, Saulacic N. Surgical regenerative treatments for peri-implantitis: Meta-analysis of recent findings in a systematic literature review. J Oral Maxillofac Res 2016;7:1–20.
13. Romeo E, Lops D, Chiapasco M, Ghisolfi M, Vogel G. Therapy of peri-implantitis with resective surgery. A 3-year clinical trial on rough screw-shaped oral implants. Part II: Radiographic outcome. Clin Oral Implants Res 2007;18:179–187.
14. Romeo E, Ghisolfi M, Murgolo N, Chiapasco M, Lops D, Vogel G. Therapy of peri-implantitis with resective surgery: A 3-year clinical trial on rough screw-shaped oral implants. Part I: Clinical outcome. Clin Oral Implants Res 2005;16:9–18.
15. Schwarz F, John G, Schmucker A, Sahm N, Becker J. Combined surgical therapy of advanced peri-implantitis evaluating two methods of surface decontamination: A 7-year follow-up observation. J Clin Periodontol 2017;44:337–342.
16. Bianchini MA, Galarraga-Vinueza ME, Apaza-Bedoya K, De Souza JM, Magini R, Schwarz F. Two to six-year disease resolution and marginal bone stability rates of a modified resective-implantoplasty therapy in 32 peri-implantitis cases. Clin Implant Dent Relat Res 2019;21:758–765.
17. Stavropoulos A, Bertl K, Eren S, Gotfredsen K. Mechanical and biological complications after implantoplasty—A systematic review. Clin Oral Implants Res 2019;30:833–848.
18. Burgueño-Barris G, Camps-Font O, Figueiredo R, Valmaseda-Castellón E. The influence of implantoplasty on surface roughness, biofilm formation, and biocompatibility of titanium implants: A systematic review. Int J Oral Maxillofac Implants 2021;36:e111–e119.
19. Camps-Font O, González-Barnadas A, Mir-Mari J, Figueiredo R, Gay-Escoda C, Valmaseda-Castellón E. Fracture resistance after implantoplasty in three implant-abutment connection designs. Med Oral Patol Oral y Cir Bucal 2020;25:691–699.
20. Gehrke S, Junior J, Dedavid B, Shibli J. Analysis of implant strength after implantoplasty in three implant-abutment connection designs: An in vitro study. Int J Oral Maxillofac Implants 2016;65–70.
21. Leitão-Almeida B, Camps-Font O, Correia A, Mir-Mari J, Figueiredo R. Effect of bone loss on the fracture resistance of narrow dental implants after implantoplasty: An in vitro study 2021;26.
22. Almeida BL, Font OC, Correia A, Mari JM, Figueiredo R. Effect of crown to implant ratio and implantoplasty on the fracture resistance of narrow dental implants with marginal bone loss: An in vitro study. BMC Oral Health 2020:1–10.
23. Mombelli A, Hashim D, Cionca N. What is the impact of titanium particles and biocorrosion on implant survival and complications? A critical review. Clin Oral Implants Res 2018;29:37–53.
24. Suárez-López del Amo F, Garaicoa-Pazmiño C, Fretwurst T, Castilho RM, Squarize CH. Dental implants-associated release of titanium particles: A systematic review. Clin Oral Implants Res 2018;29:1085–1100.
25. Happe A, Sielker S, Hanisch M, Jung S. The biologic effect of particulate titanium contaminants of dental implants on human osteoblasts and gingival fibroblasts. Int J Oral Maxillofac Implants 2019;34:673–680.
26. Bressan E, Ferroni L, Gardin C, et al. Metal nanoparticles released from dental implant surfaces: Potential contribution to chronic inflammation and peri-implant bone loss. Materials (Basel) 2019;12:2036.
27. Costa-Berenguer X, García-García M, Sánchez-Torres A, Sanz-Alonso M, Figueiredo R, Valmaseda-Castellón E. Effect of implantoplasty on fracture resistance and surface roughness of standard diameter dental implants. Clin Oral Implants Res 2018;29:46–54.
28. Sahrmann P, Luso S, Mueller C, et al. Titanium implant characteristics after implantoplasty: An in vitro study on two different kinds of instrumentation. Int J Oral Maxillofac Implants 2019;34:1299–1305.
29. Beheshti Maal M, Aanerød Ellingsen S, Reseland JE, Verket A. Experimental implantoplasty outcomes correlate with fibroblast growth in vitro. BMC Oral Health 2020;20:25.
30. Ramel CF, Lüssi A, Özcan M, Jung RE, Hämmerle CHF, Thoma DS. Surface roughness of dental implants and treatment time using six different implantoplasty procedures. Clin Oral Implants Res 2016;27:776–781.
31. Chan H-L, Oh W-S, Ong HS, et al. Impact of implantoplasty on strength of the implant-abutment complex. Int J Oral Maxillofac wImplants 2013;28:1530–1535.
32. Caricasulo R, Malchiodi L, Ghensi P, Fantozzi G, Cucchi A. The influence of implant-abutment connection to peri-implant bone loss: A systematic review and meta-analysis. Clin Implant Dent Relat Res 2018;20:653–664.

© 2023 BY QUINTESSENCE PUBLISHING CO, INC. PRINTING OF THIS DOCUMENT IS RESTRICTED TO PERSONAL USE ONLY.
NO PART MAY BE REPRODUCED OR TRANSMITTED IN ANY FORM WITHOUT WRITTEN PERMISSION FROM THE PUBLISHER.