



VNiVERSiDAD  
D SALAMANCA

FACULTAD DE MEDICINA - DEPARTAMENTO DE CIRUGÍA

TESIS DOCTORAL

---

EVALUACIÓN DE LA REABSORCIÓN ÓSEA EN  
EL HUESO CIGOMÁTICO TRAS LA INSERCIÓN  
DE IMPLANTES CIGOMÁTICOS Y CARGA  
PROTÉSICA A LOS DIEZ AÑOS

---

Doctorando: Fernando Manuel Pinto Duarte

Directores: Prof. Dr. Juan Antonio Santos Marino  
Prof. Dr. José María Martínez González

**Salamanca 2025**



VNiVERSiDAD  
D SALAMANCA



**PROF. DR. JUAN ANTONIO SANTOS MARINO,**  
PROFESOR CONTRATADO DOCTOR DEL DEPARTAMENTO DE  
CIRUGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA.

**CERTIFICA:**

Que la Tesis Doctoral titulada: EVALUACIÓN DE LA REABSORCIÓN ÓSEA EN EL HUESO CIGOMÁTICO TRAS LA INSERCIÓN DE IMPLANTES CIGOMÁTICOS Y CARGA PROTÉSICA A LOS DIEZ AÑOS, de la que es autor **Fernando Manuel Pinto Duarte** ha sido realizada en el Departamento de Cirugía de la Facultad de Medicina bajo mi dirección y supervisión, reuniendo, en mi opinión todos los requisitos para ser presentada y defendida para la obtención del Grado de Doctor por la Universidad de Salamanca.

Lo que firmo en Salamanca a 3 de MARZO de 2025 para que así conste a los efectos oportunos donde convenga.

Firmado por SANTOS MARINO  
JUAN ANTONIO - \*\*\*8140\*\* el  
día 03/03/2025 con un

Fdo: Prof. Dr. Juan Antonio Santos-Marino



VNiVERSiDAD  
D SALAMANCA





U N I V E R S I D A D  
**COMPLUTENSE**  
M A D R I D

Facultad de Odontología  
Plaza Ramón y Cajal S/N  
Ciudad Universitaria  
28040 Madrid

**Departamento Especialidades Clínicas Odontológicas**

José María Martínez González, Profesor Titular de Cirugía Maxilofacial adscrito al

Departamento de Especialidades Clínicas odontológicas:

**CERTIFICA:**

Que he codirigido junto al Pof. Dr. D. Juan Santos Marino el trabajo de investigación  
“EVALUACIÓN DE LA REABSORCIÓN ÓSEA EN EL HUESO CIGOMÁTICO TRAS LA  
INSERCIÓN DE IMPLANTES CIGOMÁTICOS Y CARGA PROTÉSICA A LOS DIEZ AÑOS”,  
realizado por D. Fernando Manuel Pinto Duarte, el cual considero que reúne las condiciones necesarias  
y exigibles para ser presentado y defendido como Tesis Doctoral.

Y para que conste, expido y firma el presente certificado, en Madrid a 5 de marzo de 2025.

Firmado por MARTINEZ GONZALEZ  
JOSE MARIA - DNI \*\*\*7896\*\* el día  
05/03/2025 con un certificado  
emitido por AC Sector Público

Fdo.- Prof. JM. Martínez González



VNiVERSiDAD  
D SALAMANCA



## ÍNDICE GENERAL

|                                                      |      |
|------------------------------------------------------|------|
| ÍNDICE GENERAL .....                                 | VII  |
| AGRADECIMIENTOS.....                                 | XI   |
| RESUMEN .....                                        | XIII |
| ABSTRACT .....                                       | XVI  |
| 1 - INTRODUCCIÓN .....                               | 1    |
| 2 - REVISIÓN DE LITERATURA.....                      | 6    |
| 2.1 PATRONES DE REABSORCIÓN ÓSEA MAXILAR .....       | 6    |
| 2.2 ANATOMÍA DEL HUESO CIGOMÁTICO .....              | 10   |
| 2.2.1 Superficie lateral .....                       | 10   |
| 2.2.2 Superficie temporal .....                      | 10   |
| 2.2.3 Superficie orbital .....                       | 11   |
| 2.2.4 Procesos.....                                  | 12   |
| 2.2.5 Fronteras .....                                | 12   |
| 2.2.6 Fijaciones musculares .....                    | 13   |
| 2.3 BASE ANATÓMICA DE LOS IMPLANTES CIGOMÁTICOS..... | 13   |
| 2.3.1 Distancias angulares y lineales .....          | 14   |
| 2.3.2 Puntos de referencia y mediciones .....        | 16   |
| 2.3.3 Estructura interna del cigoma.....             | 18   |
| 2.3.4 Distribución de tensiones .....                | 20   |
| 2.4 EVALUACIÓN RADIOGRÁFICA .....                    | 21   |
| 2.5 PRINCIPIOS BIOMECÁNICOS .....                    | 25   |
| 2.5.1 La técnica Branemark original.....             | 26   |
| 2.5.2 La técnica de Stella y Warner .....            | 27   |
| 2.5.3 Técnica extrasinusal .....                     | 28   |
| 2.5.4 Combinación de implantes anteriores .....      | 29   |

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.5.5 Transferencia de cargas funcionales: la perspectiva quirúrgica ..... | 31 |
| 2.5.6 Transferencia de cargas funcionales: la perspectiva protésica .....  | 32 |
| 2.5.8 Estabilización tetracortical.....                                    | 34 |
| 2.5.9 Estabilización bicortical .....                                      | 34 |
| 2.6 TOMA DE DECISIONES EN LOS IMPLANTES CIGOMÁTICOS .....                  | 35 |
| 2.6.1 Clasificación de Bedrossian .....                                    | 36 |
| 2.6.2 Clasificación de Jensen .....                                        | 37 |
| 2.6.3 Clasificación ZAGA .....                                             | 39 |
| 2.6.4 Técnica de los cuatro zigomas.....                                   | 40 |
| 2.7 INDICACIONES Y CONTRAINDICACIONES.....                                 | 42 |
| 2.7.1 Indicaciones.....                                                    | 42 |
| 2.7.2 Contraindicaciones .....                                             | 43 |
| 2.8 CONSIDERACIONES QUIRÚRGICAS.....                                       | 43 |
| 2.9 CONSIDERACIONES PROTÉSICAS.....                                        | 45 |
| 2.10 COMPLICACIONES .....                                                  | 47 |
| 2.10.1 Sinusitis .....                                                     | 47 |
| 2.10.2 Perforación de la membrana sinusal y comunicación oroantral.....    | 48 |
| 2.10.3 Fenestración de la mucosa alveolar.....                             | 49 |
| 2.10.4 Emergencia palatina de fijaciones.....                              | 49 |
| 2.10.5 Mucositis y periimplantitis .....                                   | 50 |
| 2.10.6 Traumatismos de tejidos blandos.....                                | 50 |
| 2.10.7 Hematoma .....                                                      | 51 |
| 2.10.8 Parestesia.....                                                     | 51 |
| 2.10.9 No osteointegración .....                                           | 52 |
| 2.10.10 Fístula.....                                                       | 52 |
| 2.10.11 Complicaciones protésicas .....                                    | 52 |
| 2.10.12 Otras complicaciones.....                                          | 53 |
| 2.11 INNOVACIONES.....                                                     | 54 |
| 3 - JUSTIFICACIÓN .....                                                    | 57 |

|                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------|-----|
| 4 - HIPÓTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS .....                        | 61  |
| 4.1 HIPÓTESIS DE TRABAJO .....                                    | 61  |
| 4.2 OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....                 | 61  |
| 5 - MATERIALES Y MÉTODOS .....                                    | 63  |
| 5.1 DISEÑO DEL ESTUDIO .....                                      | 63  |
| 5.2 POBLACIÓN DE REFERENCIA Y DE ESTUDIO.....                     | 63  |
| 5.3 CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN.....                       | 63  |
| 5.4 IMPLANTE .....                                                | 64  |
| 5.5 CÁLCULO DEL TAMAÑO MUESTRAL .....                             | 64  |
| 5.6 RECOGIDA DE DATOS Y VARIABLES A ANALIZAR (TABLAS 2 Y 3) ..... | 64  |
| 5.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....                                    | 67  |
| 6 - RESULTADOS.....                                               | 70  |
| 7 - DISCUSIÓN .....                                               | 77  |
| 7.1 SUPERVIVENCIA DE LOS IMPLANTES .....                          | 77  |
| 7.2 ABORDAJE QUIRÚRGICO .....                                     | 77  |
| 7.3 PROTOCOLO DE CARGA.....                                       | 79  |
| 7.5 REABSORCIÓN ÓSEA .....                                        | 80  |
| 7.6 DENSIDAD ÓSEA.....                                            | 81  |
| 7.7 COMPLICACIONES.....                                           | 83  |
| 7.8 SUPERVIVENCIA DE LAS PRÓTESIS.....                            | 83  |
| 7.9 LIMITACIONES .....                                            | 84  |
| 8 - CONCLUSIONES .....                                            | 86  |
| 9 - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                               | 88  |
| 10 - ANEXOS.....                                                  | 110 |
| 10.1 ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....                                  | 110 |
| 10.2 PUBLICACIÓN CIENTÍFICA .....                                 | 112 |



VNiVERSiDAD  
D SALAMANCA



## **AGRADECIMIENTOS**

Me gustaría expresar mi agradecimiento y reconocimiento al profesor Juan Antonio Santos Marino, él fue un verdadero supervisor, sus sugerencias y comentarios fueron extremadamente valiosos para este proyecto.

Estoy muy agradecido al profesor José María Martínez González, por su valiosísima orientación y aliento durante el curso de mi doctorado. Su capacidad única para compartir conocimientos científicos ha hecho que este viaje sea inolvidable.

Un reconocimiento especial a las profesoras Natalia Martínez Rodríguez y Cristina Barona Dorado por su inestimable ayuda en la organización de los datos y los procedimientos logísticos de este proyecto.

Un agradecimiento especial al profesor João Neves da Silva por su ayuda en las estadísticas, su contribución dio orden y organización a mis resultados.

A mi familia, por darme mi ánimo y mantener mis esperanzas siempre a flote y por estar ahí cuando lo he necesitado.

Esta tesis está dedicada a mi querida esposa Carina Ramos y a mis dos hijos Henrique Mar y Bruna Mar, todos juntos son mi vida.



VNiVERSiDAD  
D SALAMANCA



## **RESUMEN**

### **Título: Evaluación de la resorción ósea tras la cirugía de implantes cigomáticos en 10 años de seguimiento**

**Introducción:** La presencia de volumen óseo suficiente es uno de los criterios fundamentales para garantizar la osteointegración de los implantes. Por ello, la rehabilitación de maxilares atróficos edéntulos representa un desafío significativo en el ámbito de la rehabilitación oral. Técnicas como los injertos óseos, implantes angulados, implantes cortos, así como implantes en la tuberosidad y pterigoides, no siempre son alternativas viables para la rehabilitación de la zona posterior de maxilares atróficos. Un avance revolucionario se produjo cuando Brånemark introdujo, por primera vez en la década de 1980, implantes más largos y diseñados a la medida, insertados en el hueso cigomático para soportar prótesis craneofaciales. Al ser utilizados en el tratamiento de maxilas atróficas, los implantes cigomáticos ofrecen una alternativa segura y efectiva, con resultados estables a largo plazo.

**Objetivos:** Evaluar retrospectivamente la reabsorción ósea cigomática diez años después de la colocación de implantes cigomáticos.

**Métodos:** Se diseñó un estudio retrospectivo y observacional para evaluar la reabsorción ósea diez años después de la colocación de implantes cigomáticos. En un grupo de estudio de 50 pacientes se estableció y evaluó el área del cigoma y su densidad ósea mediante escalas de Hounsfield. Se utilizó el software NewTom NNT Analysis (NewTom®, Italia) para trazar los límites del hueso y los implantes en las exploraciones CBCT. Mediante este software, se comparó la información tridimensional de la imagen CBCT postoperatoria con la imagen CBCT postoperatoria de diez años y se pudo evaluar la reabsorción ósea cigomática y la densidad ósea.

**Resultados:** Se han identificado diferencias estadísticas altamente significativas a un nivel alfa de 0,01 entre T0 (preoperatorio), T1 (12 meses) y T2 (120 meses) respecto a la

densidad ósea cigomática, tanto en el 1°. como en el 2°. cuadrantes. La prueba post-hoc de Bonferroni ha identificado que las diferencias estadísticas significativas se sitúan entre T0 y los restantes puntos temporales (T1 y T2), presentando los dos últimos valores similares entre sí.

**Conclusiones:** La evaluación de la reabsorción ósea a nivel del hueso cigomático, realizada diez años después de la colocación de los implantes cigomáticos, revela que no existen pérdidas significativas entre los controles iniciales y los finales. Esto sugiere que este tipo de rehabilitación implantológica representa una alternativa viable para pacientes con atrofia ósea maxilar, ofreciendo una solución terapéutica predecible, que permite recuperar la función de manera inmediata y con excelentes tasas de éxito a largo plazo. Sin embargo, no debemos pasar por alto el potencial de futuras innovaciones en la ROG, incluyendo el uso de membranas, tanto reabsorbibles o no reabsorbibles, así como la incorporación de andamios osteogénicos alveolares de titanio personalizados, combinados con injertos óseos autólogos o biomateriales.

**Palabras clave:** Implante cigomático; Reabsorción ósea del cigoma; Reabsorción ósea a largo plazo



VNiVERSiDAD  
D SALAMANCA



## ABSTRACT

**Title:** Bone resorption assessment following zygomatic implants surgery over 10 years of follow-up

**Introduction:** The presence of sufficient bone volumes is one of the most important criteria for the success of oral implant osseointegration. Therefore, the rehabilitation of edentulous atrophic maxillae represents the greatest challenge in terms of oral rehabilitation. Techniques such as bone grafts, angled implants, short implants, tuberosity, and pterygoid implants may not always be a viable alternative in the subsequent rehabilitation of the posterior atrophic maxilla. A breakthrough occurred when Brånemark first introduced longer, custom-designed implants inserted into the zygomatic bone to support craniofacial prosthesis in the 1980s. When used in the treatment of atrophic jaws, zygomatic implants provide a safe and effective alternative, with stable long-term results;

**Objectives:** Retrospectively evaluate zygomatic bone resorption ten years after the placement of zygomatic implants.

**Methods:** A retrospective, observational study was designed to evaluate bone resorption ten years after the placement of zygomatic implants. In a study group of 50 patients the area of the zygoma and its bone density using Hounsfield scales were establish and evaluated. The NewTom NNT Analysis software (NewTom®, Italy) was used to trace the bone and implants limits on CBCT scans. Using this software, the three-dimensional information of the postoperative CBCT image were compared with the ten-year postoperative CBCT image and the zygomatic bone resorption and bone density could be assessed.

**Results:** Highly significant statistical differences to an alpha level of 0.01 have been identified between T0 (pre-op), T1 (12 months) and T2 (120 months) concerning zygomatic bone density, both in the 1<sup>st</sup> and in the 2<sup>nd</sup> quadrants. Post-Hoc Bonferroni test

has identified the significant statistical differences as being placed between T0 and the remaining timepoints (T1 and T2), with the later two exhibiting similar values among them.

**Conclusions:** The evaluation of the resorption at the level of the zygoma, ten years after the placement of zygomatic implants reveals that there are no significant losses between the initial and final controls. Therefore, it follows that this type of implant rehabilitation represents a viable alternative approach in patients with bone atrophy of the maxilla, offering a predictable therapeutic solution that enables immediate full function and excellent long-term success rates. However, we must not neglect the potential for future innovations in GBR involving the use of barrier membranes, either resorbable or non-resorbable, and even the application of titanium alveolar customized osteogenic scaffold; in conjunction with autologous bone grafts or biomaterials.

**Keywords:** Zygomatic Implant; Zygoma bone resorption; Long-term bone resorption



# 1

## INTRODUCCIÓN

## 1 - INTRODUCCIÓN

La rehabilitación del maxilar atrófico mediante implantes dentales es un procedimiento difícil; a menudo es necesaria una amplia intervención quirúrgica de aumento óseo para conseguir un soporte óseo suficiente para colocar implantes estándar en el maxilar posterior gravemente atrófico. La cirugía de aumento, independientemente del procedimiento reconstructivo, conlleva un mayor riesgo de morbilidad y complicaciones para el paciente (por ejemplo, infecciones, pérdida de material de injerto), así como costes más elevados e intervalos de tiempo más largos para completar el tratamiento (Del Fabbro y cols., 2004). Para evitar los procedimientos de injerto y utilizar el hueso preexistente de la forma más eficaz, los implantes angulados son una alternativa bien documentada, sin diferencias clínicamente significativas aparentes en las tasas de éxito en comparación con los implantes colocados axialmente (Patzelt y cols., 2014; Del Fabbro y cols., 2004).

Branemark publicó la posibilidad de utilizar "implantes cigomáticos" para rehabilitar a pacientes que no disponían de estructura ósea (Brånemark y cols., 2004). Porque los implantes considerados como convencionales en la región posterior del maxilar, no podían ser utilizados para la mínima cantidad de hueso debido a la gran neumatización del seno maxilar y al gran trauma causado por el uso de prótesis totales. Entonces se inició una nueva fase en la implantología, en la que sería posible devolver a los pacientes desdentados totales la posibilidad de masticar, sonreír y vivir en sociedad sin la necesidad de injertos óseos agresivos, que dejarían a los pacientes con secuelas y gran morbilidad.

Se sabe que el uso de hueso cigomático como estructura de soporte para la fijación de implantes está indicado para casos de edentulismo maxilar total o parcial con reabsorción extrema. Los implantes cigomáticos se documentaron como una alternativa para la rehabilitación maxilar posterior atrófica con el protocolo clásico de dos fases o de carga inmediata. Los implantes cigomáticos evitan los procedimientos de injerto y elevación del seno maxilar y, por tanto, contribuyen a un tratamiento más corto, cómodo y con menor morbilidad. Otras indicaciones de los implantes cigomáticos incluyen el fracaso de la colocación de implantes convencionales, el fracaso de los procedimientos de aumento o injerto del seno maxilar y la rehabilitación tras la resección de tumores y traumatismos (Miglorança, 2019).

La técnica inicial propuesta por P.I. Branemark contemplaba una incisión vestibular inicial, similar a una incisión LeFort I, con despegamiento perióstico hasta la parte medial del hueso y el arco cigomáticos. A continuación, se abrían dos ventanas (antrotomía) en la pared lateral del seno maxilar junto con el despegamiento de la membrana de Schneider a lo largo del trayecto de inserción del implante, independientemente de la integridad de la membrana, para la colocación posterior de los implantes cigomáticos intrasinales anclados en la porción medial del hueso cigomático, que eran totalmente internos al seno maxilar (Brånemark y cols., 2004).

Stella y Warner, modificaron la técnica haciendo ranuras en la pared externa del seno maxilar, y así mejorando en parte el mayor problema que era el posicionamiento de la cabeza del implante (posicionamiento protésico), sin embargo 2/3 del implante seguían internamente en el seno maxilar y 1/3 siendo externo al seno maxilar, cerrando la ranura, y su inserción aún en la pared medial del hueso cigomático, mejorando la posición protésica en relación a la técnica presentada por Branemark, dejando el implante menos palatinado para la futura colocación de la prótesis (Stella y Warner, 2000).

Años más tarde, Migliorança publicó la utilización de la técnica de colocación extrasinusal. En este contexto, la técnica externalizada permitió una serie de mejoras relacionadas con las fijaciones cigomáticas, entre ellas: mejor posicionamiento protésico; menor invasividad quirúrgica y mejor postoperatorio; menor tiempo quirúrgico; ausencia de antrotomía y mejor visualización quirúrgica. (Migliorança y cols., 2012).

El protocolo original de fijación cigomática en dos etapas quirúrgicas también contemplaba un período de espera y cicatrización de seis meses (Brånemark y cols., 2004). Así, se desarrollaron algunos estudios para proporcionar una mejor aceptación por parte del paciente y proporcionar a estos pacientes una prótesis provisional fija con gran estabilidad, sin necesidad de un segundo tiempo quirúrgico (Migliorança, 2019).

Basándose en la morfología del hueso cigomático y la posterior ubicación del implante, Aparicio publicó un estudio en el que presentaba una nueva clasificación para los implantes cigomáticos (Aparicio, 2011). Aparicio denominó ZAGA a su clasificación (zygoma anatomy guided approach), compuesta por cinco grupos, del ZAGA 0 al 4 (Aparicio, 2011).

En general, se cree que el esqueleto facial se expande continuamente a lo largo de la vida (Mendelson y Wong, 2012). Esto se refleja en el aumento progresivo de ciertas medidas antropométricas faciales con la edad, como la distancia entre el nasal anterior y

el nasal posterior y la anchura facial (Bartlett y cols., 1992). El hecho de que ciertas zonas del esqueleto facial también sufran reabsorción con el envejecimiento no está bien valorado o incluso aceptado. Por ejemplo, se ha pensado que la retracción maxilar del maxilar no se produce con el envejecimiento en el paciente totalmente dentado (Bartlett y cols., 1992). Sin embargo, en contra de esta opinión, pruebas recientes demuestran claramente que el envejecimiento del maxilar es principalmente un proceso de reabsorción ósea (Pessa y cols., 2008).

Los artículos de principios de la década de 1990 definían criterios de éxito para los implantes osteointegrados e indicaban una pérdida ósea aceptable de 1 mm en el primer año, seguida de una pérdida ósea anual de 0,1 mm o 0,2 mm. No existen informes actuales sobre estos criterios. En consecuencia, los cambios acumulados del nivel óseo notificados no indican ninguna evidencia de un proceso patológico y deben considerarse aceptables (Patzelt y cols., 2014).

La resorción ósea selectiva en el esqueleto facial no carece de precedentes. En particular, en el proceso de crecimiento diferencial se producen zonas de resorción ósea adyacentes a zonas de deposición ósea. El crecimiento diferencial permite al cráneo infantil adoptar las proporciones de la forma adulta (Pessa y cols., 2008). Este proceso continúa remodelando el hueso facial maduro, completamente dentado, y altera la morfología craneofacial en una que es instantáneamente reconocible como un cráneo envejecido. A pesar de ello, el concepto de que zonas específicas del esqueleto facial adulto son susceptibles de reabsorción sigue siendo controvertido (Mendelson y Wong, 2012).

El éxito del implante suele evaluarse según los siguientes parámetros clínicos y radiográficos: ausencia de dolor; ausencia de reabsorción ósea marginal progresiva o radiolucidez periimplantaria; y ausencia de sangrado excesivo durante el sondaje periimplantario o movilidad del implante (Migliorança y cols., 2012).

La falta de osteointegración provoca el aflojamiento del implante, lo que a su vez provoca el movimiento o la pérdida de hueso. La pérdida ósea se produce en 2 etapas: la pérdida ósea temprana, que depende del tiempo de exposición del implante y de la conexión protésica. Y la pérdida ósea tardía, que es visible durante la función del implante (Nimbalkar y cols., 2021). Varios factores pueden influir en la pérdida ósea marginal, como las características de la prótesis (método de retención, número de elementos), las características del implante dental (diámetro, tratamiento de la superficie, tipo de conexión y sobrecarga) (Nimbalkar y cols., 2021). Una carga inadecuada puede dar lugar

a la concentración de tensiones en el hueso alrededor del implante, lo que podría provocar la reabsorción ósea. Se sabe que el componente de carga vertical desempeña un papel importante en la carga masticatoria. Por el contrario, el papel del componente de carga horizontal no puede comprometerse, aunque su valor es mínimo, especialmente cuando se utiliza un implante angulado (Brunski, 1988).



# 2

## REVISIÓN DE LITERATURA

## 2 - REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 PATRONES DE REABSORCIÓN ÓSEA MAXILAR

La calidad ósea se refiere a la cantidad y relación topográfica del hueso cortical y esponjoso, involucrando características como densidad mineral, espesor, microarquitectura trabecular, metabolismo óseo, células, matriz intercelular y vascularización (Oliveira y cols., 2020; Ribeiro-Rotta y cols., 2014). La densidad ósea es uno de los parámetros de la calidad ósea, siendo un factor clave para la estabilidad inicial del implante y para su éxito, variando en función del sexo, edad, localización mandibular y estado sistémico del paciente (Oliveira y cols., 2020; Ribeiro-Rotta y cols., 2014).

Se cree que la calidad ósea es uno de los factores etiológicos más importantes para predecir el fracaso precoz de los implantes. Para lograr este propósito, es habitual utilizar la clasificación de Lekholm y Zarb (1985) que permite evaluar la calidad ósea en tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) en cuatro tipos: tipo I, hueso compacto o cortical completamente homogéneo; tipo II, capa gruesa de hueso compacto que rodea al hueso trabecular denso; tipo III, capa fina de hueso compacto que rodea al hueso trabecular denso; y tipo IV, capa fina de hueso compacto que rodea al hueso trabecular denso con escasa densidad (Lekholm y Zarb, 1985). En este sentido, se ha informado que, en promedio, la tasa de supervivencia de los implantes dentales colocados en los maxilares con tipos de hueso I, II, III y IV fue del 97,6%, 96,2%, 96,5% y 88,8%, respectivamente (Goiato y cols., 2014a). Además, en algunos estudios clínicos se ha informado de que los implantes colocados en la mandíbula tenían mayores tasas de supervivencia en comparación con los colocados en el maxilar, especialmente en la zona posterior (Chrcanovic y cols., 2017; Goiato y cols., 2014a).

Generalmente, el estado del hueso mandibular se determina midiendo la densidad del hueso esponjoso y el grosor del hueso cortical o compacto. Además, se sabe que la densidad ósea esponjosa es mayor en la región mandibular anterior, seguida de la región maxilar anterior, la región mandibular posterior y la región maxilar posterior (Chrcanovic y cols., 2017). Por el contrario, se ha informado de que el hueso cortical tiende a ser más grueso en la región mandibular posterior, seguida de la región mandibular anterior, la región maxilar anterior y, por último, la región maxilar posterior (Rosas-Díaz y cols., 2023).

Los sistemas de clasificación para la planificación y colocación de implantes dentales son necesarios para proporcionar un esquema ordenado, aplicable y científico con fines diagnósticos. La clasificación de Lekholm y Zarb se utiliza para evaluar la calidad ósea y es la más referenciada y utilizada (Chrcanovic y cols., 2017; Oliveira y cols., 2020; Rosas-Díaz y cols., 2023).

Se propuso una modificación de esta clasificación basada en la evaluación de la calidad ósea en relación con el grosor de la capa cortical ósea, el número de trabéculas visibles y el tamaño de los espacios medulares en el hueso esponjoso. Se introdujeron dos nuevos tipos de hueso correspondientes a; tipo V, hueso regenerado y tipo VI, hueso con patología (Rosas-Díaz y cols., 2023).

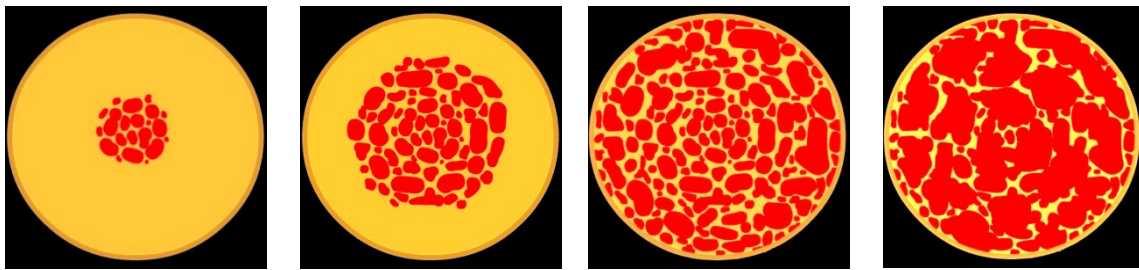


**Fig. 1** - Clasificación de Lekholm y Zarb: (a) Hueso tipo I, (b) Hueso tipo II, (c) Hueso tipo III y (d) Hueso tipo IV (Lekholm y Zarb, 1985).

Se elaboró un patrón de reabsorción ósea maxilar de los maxilares edéntulos basado en un estudio transversal aleatorizado a partir de una muestra de 300 cráneos desecados. Se observó que, mientras que la forma de la apófisis basal de la mandíbula y el maxilar permanece relativamente estable, los cambios de forma de la apófisis alveolar son muy significativos tanto en el eje vertical como en el horizontal. En general, los cambios de forma del proceso alveolar siguen un patrón predecible (Cawood y Howell, 1988).

Dicha clasificación sirve para simplificar la descripción de la cresta residual y, por lo tanto, facilitar la comunicación entre los clínicos; ayuda a seleccionar la técnica prostodóncica quirúrgica adecuada; ofrece una línea de base objetiva a partir de la cual evaluar y comparar diferentes métodos de tratamiento; y ayuda a decidir sobre técnicas interceptivas para preservar el proceso alveolar. El conocimiento del patrón de reabsorción que tiene lugar en diversas partes de los maxilares edéntulos permite a los clínicos anticiparse y evitar futuros problemas (Cawood y Howell, 1988).

A partir de estos estudios morfológicos de maxilares desdentados, se han extraído las siguientes conclusiones: (i) El hueso basal no cambia de forma de forma significativa, a menos que esté sometido a efectos locales perjudiciales como la sobrecarga de prótesis dentales mal ajustadas. (ii) El hueso alveolar cambia de forma significativamente tanto en el eje horizontal como en el vertical. (iii) En general, los cambios de forma del hueso alveolar siguen un patrón predecible. (iv) El patrón de pérdida ósea varía según las zonas. Mandíbula anterior - la pérdida ósea es vertical y horizontal (desde la cara labial). Mandíbula posterior: la pérdida ósea es principalmente vertical. Maxilar anterior: la pérdida ósea es vertical y horizontal (desde la cara labial). Maxilar posterior - la pérdida ósea es tanto vertical como horizontal (desde el aspecto bucal). (v) El estadio de pérdida ósea puede variar en sentido anterior y posterior y entre maxilares (Cawood y Howell, 1988).

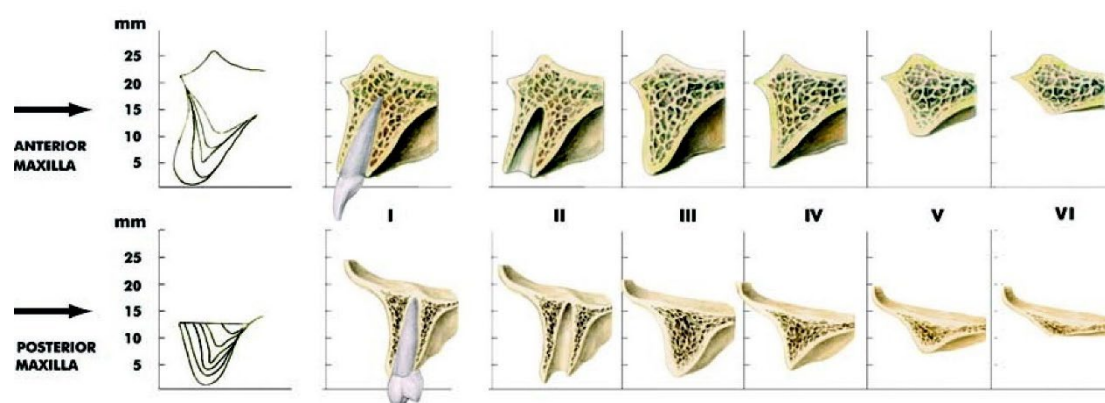


**Fig. 2** - Clasificación de Cawood y Howell: (a) maxilar anterior y (b) maxilar posterior (Cawood y Howell, 1988).

Tras la extracción del diente, se activa una cascada de reacciones inflamatorias y el alveolo de extracción se cierra temporalmente con un coágulo de sangre. En la primera semana, el tejido epitelial comienza su proliferación y migración. En 2 semanas, se observa una formación ósea activa en el fondo del alveolo (Tiwari y cols., 2016).

Aproximadamente a los 6 meses el alveolo se rellena con hueso recién formado. Incluso después de la cicatrización de las heridas, el hueso alveolar de la cresta residual sufre una remodelación catabólica durante toda la vida. El tamaño de la cresta residual se reduce más rápidamente en los primeros 6 meses, pero la actividad de reabsorción ósea de la cresta residual continúa durante toda la vida a un ritmo más lento, dando lugar a la eliminación de una gran cantidad de estructura maxilar. Este fenómeno único se ha

descrito como reducción de la cresta residual (RCR). El inicio de la RCR siempre va precedido de la pérdida de dientes y de sus membranas periodontales, que tienen la capacidad de formar hueso. El fenómeno de RCR es fácilmente observable clínicamente tras la extracción dental, pero la secuencia de eventos biológicos no se comprende bien (Tiwari y cols., 2016).

A partir de los 40 años, la densidad mineral ósea (DMO) del esqueleto disminuye. La disminución de la actividad física, la menor secreción de estrógenos, la dieta, la raza y la herencia pueden desempeñar un papel en la pérdida ósea relacionada con la edad. En algunas fases de la reabsorción alveolar, la pérdida mineral generalizada del esqueleto afecta a la velocidad de la RCR y a la densidad ósea de los maxilares. Según Atwood (2001), el aumento de la porosidad cortical y el adelgazamiento relacionados con la edad se producen principalmente en el proceso alveolar, mientras que la porción basal permanece más intacta. Won Woven (1973), determinó que los pacientes edéntulos que llevaban dentaduras postizas tenían, por término medio, crestas residuales más pequeñas que los que no las llevaban. La mayor reabsorción de cresta residual observada en los usuarios de dentaduras postizas se atribuyó a la presión ejercida por la prótesis (Won Woven, 1973).

Wyatt (1998) descubrió una pérdida ósea media anual de 0,4 mm en la mandíbula y de 0,1 mm en el maxilar. La reabsorción residual diferencial observada entre el maxilar y la mandíbula se ha atribuido a que la mandíbula proporciona una superficie de apoyo menor para la dentadura (Wyatt, 1998).

Es posible que algunos de los factores bioquímicos locales que se han estudiado en relación con la enfermedad periodontal puedan desempeñar un papel importante en la RCR. Estos factores incluyen: endotoxinas de la placa dental, factor activador de osteoclastos (FAO), prostaglandinas, factor estimulante de la resorción ósea gingival humana, la heparina actúa como cofactor en la resorción ósea que se produce a partir de mastocitos, que se encuentran cerca de los márgenes óseos, traumatismos, que provocan un aumento o disminución de la vascularidad y cambios en la tensión de oxígeno. Los factores sistémicos influyen en el equilibrio entre la formación ósea normal y la resorción ósea. No existe correlación entre la tasa de RCR y la presencia de osteoporosis, mientras que existe la hipótesis de que la osteoporosis podría ser un factor que contribuye a la tasa de RCR. Se puede decir que la RCR implica células óseas que están bajo la influencia de factores tanto locales como sistémicos que muy probablemente pueden afectar a la tasa de RCR (Tiwari y cols., 2016).

## **2.2 ANATOMÍA DEL HUESO CIGOMÁTICO**

El hueso cigomático es uno de los huesos funcionalmente más importantes y diversos del esqueleto craneofacial. Desempeña muchas funciones mecánicas, como disipar las fuerzas de alimentación, proteger y posicionar el contenido orbitario y proporcionar anclajes para los músculos que mueven la mandíbula, los labios y las mejillas (Prado y cols., 2016).

Es un hueso par que se articula con el maxilar, el hueso temporal, el hueso frontal y el hueso esfenoides. Está situado en la parte superior y lateral de la cara y forma la prominencia de la mejilla, parte de la pared lateral y el suelo de la órbita, y partes de la fosa temporal y la fosa infratemporal. Tiene tres superficies (lateral, temporal y orbitaria); tres procesos (frontal, maxilar y temporal); y cuatro bordes (anterosuperior o borde orbitario, anteroinferior o borde maxilar, posterosuperior o borde temporal y posteroinferior o borde cigomático (Al-Faraje, 2021; Rigolizzo y cols., 2005).

### **2.2.1 Superficie lateral**

La superficie lateral es convexa y perforada cerca de su centro por una pequeña abertura, el foramen cigomático facial, para el paso del nervio cigomático facial y los vasos (Fig. 3a y 3b). Debajo de este foramen hay una ligera elevación, que da origen al músculo cigomático mayor. El nervio cigomático facial o rama cigomático facial del nervio cigomático (rama malar) pasa a lo largo del ángulo inferolateral de la órbita, emerge sobre la cara a través del agujero cigomático facial en el hueso cigomático y perfora el orbicular de los ojos para alcanzar la piel de la zona malar. Se une con las ramas cigomáticas del nervio facial y con las ramas palpebrales inferiores del nervio maxilar (v2). La zona de piel irrigada por este nervio se encuentra sobre la prominencia de la mejilla (Al-Faraje, 2021).

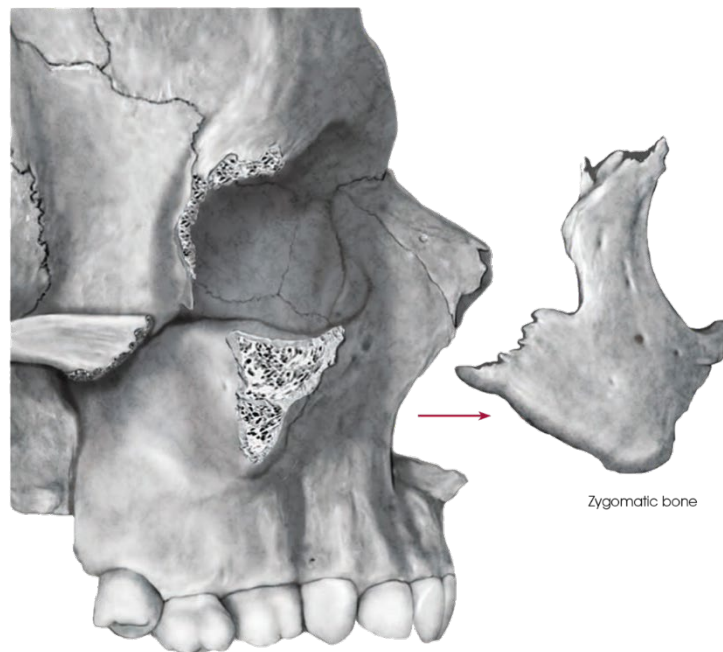
### **2.2.2 Superficie temporal**

La superficie temporal dirigida posterior y medialmente es cóncava, medialmente presenta una zona rugosa y triangular de articulación con el maxilar (superficie articular). Lateralmente, presenta una superficie lisa, cóncava, cuya parte superior forma el límite

anterior de la fosa temporal; la inferior, una parte de la fosa infratemporal. Cerca del centro de esta superficie se encuentra el agujero cigomático temporal para la transmisión del nervio cigomático temporal (Fig. 3c y 3d). El nervio cigomático temporal o rama cigomático temporal (rama temporal) es un pequeño nervio de la cara. Deriva del nervio cigomático, una rama del nervio maxilar. Discurre a lo largo de la pared lateral de la órbita en un surco del hueso cigomático, recibe un ramo de comunicación del nervio lagrimal y atraviesa el agujero cigomático-temporal del hueso cigomático para entrar en la fosa temporal. Ascende entre el hueso y la sustancia del músculo temporal, perfora la fascia temporal unos 2,5 cm por encima del arco cigomático, se distribuye a la piel del lado de la frente y se comunica con el nervio facial y la rama auriculotemporal del nervio mandibular. Al perforar la fascia temporal, emite otra pequeña rama, que discurre entre las dos capas de la fascia hasta el ángulo lateral de la órbita (Al-Faraje, 2021).

### 2.2.3 Superficie orbital

La superficie orbitaria forma la parte lateral y parte de la parte inferior de la órbita ósea. El nervio cigomático pasa a través del agujero cigomático-orbital en esta superficie. El ligamento palpebral lateral se une a una pequeña protuberancia denominada tubérculo orbitario (Fig. 3a y 3c) (Al-Faraje, 2021).



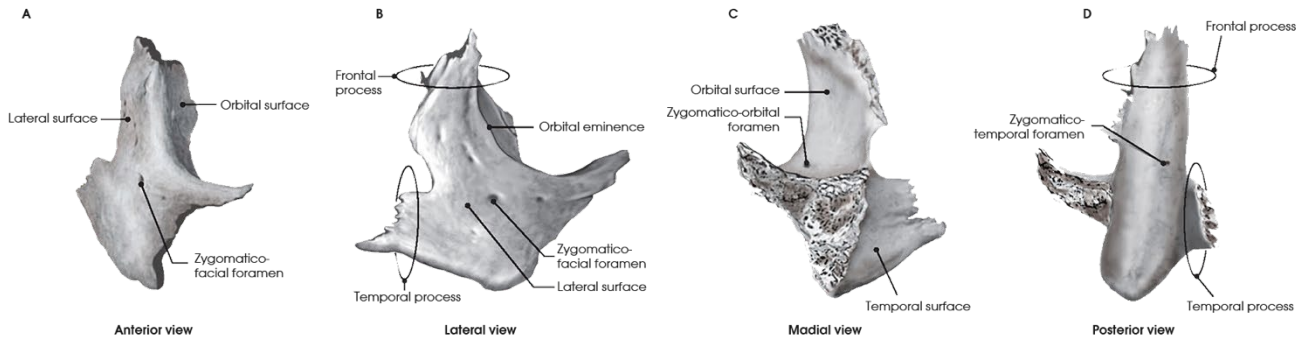


**Fig. 3 -** (a) Vista anterior del hueso cigomático mostrando la superficie lateral, la superficie orbitaria y el agujero cigomático facial. (b) Vista lateral del hueso cigomático mostrando la superficie lateral, el proceso frontal, el proceso temporal, el forame (Al-Faraje, 2021).

### 2.2.4 Procesos

Cada hueso cigomático tiene forma de diamante y está compuesto por tres apófisis con articulaciones óseas asociadas de nombre similar: frontal, temporal y maxilar. Cada apófisis del hueso cigomático forma estructuras importantes del cráneo. La superficie orbitaria de la apófisis frontal del hueso cigomático forma la pared orbitaria lateral anterior. Suele haber un pequeño agujero pareado, el agujero cigomático facial, que se abre en su superficie lateral. La apófisis temporal del hueso cigomático forma el arco cigomático junto con la apófisis cigomática del hueso temporal, con un foramen cigomático temporal par presente en la superficie medial profunda del hueso. La superficie orbitaria del proceso maxilar del hueso cigomático forma una parte del reborde infraorbitario y una pequeña parte de la parte anterior de la pared orbitaria lateral (Al-Faraje, 2021; Rigolizzo y cols., 2005).

### 2.2.5 Fronteras

El borde anterosuperior u orbitario es liso y cóncavo, y forma una parte considerable de la circunferencia de la órbita. El borde anteroinferior o maxilar es rugoso y biselado a expensas de su tabla interna, lo que le permite articularse con el maxilar. Cerca del margen orbitario, da origen al músculo elevador del labio superior. El borde posterosuperior o temporal, curvado como una letra f cursiva, es continuo por arriba con el comienzo de la línea temporal, y por abajo con el borde superior del arco cigomático; la fascia temporal está unida a él (Al-Faraje, 2021).

El borde posteroinferior o cigomático permite la fijación por su borde rugoso al masetero (Al-Faraje, 2021; Rigolizzo y cols., 2005).

### 2.2.6 Fijaciones musculares

Hay cuatro músculos que se unen parcialmente al hueso cigomático: cigomático mayor, cigomático menor, elevador del labio superior y masetero (Tabla 1) (Al-Faraje, 2021).

**Tabla 1** - Origen, inserción, inervación y acciones principales de los músculos del hueso cigomático.

| Fijaciones musculares del hueso cigomático |                                                                                                                                          |                                                     |                                                            |                                                                        |
|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Músculo                                    | Origen                                                                                                                                   | Inserción                                           | Inervación                                                 | Acciones principales                                                   |
| Zygomaticus mayor                          | Hueso cigomático (lateral superficie, parte posterior).                                                                                  | Piel de la comisura de los labios                   | Nervio craneal VII                                         | Tira de la comisura de los labios hacia arriba y lateralmente          |
| Zygomaticus menor                          | Hueso cigomático (lateral superficie, parte posterior).                                                                                  | Labio superior justo medial a la comisura del boca  | Nervio craneal VII                                         | Tira del labio superior superiormente                                  |
| Levator labii superioris                   | Maxilar (apófisis frontal) y región infraorbitaria. Sin embargo, podría extenderse hasta el cigoma en su borde anterosuperior u orbital. | Piel del labio superior, cartilago alar de la nariz | Nervio craneal VII                                         | Eleva el labio superior, dilata la fosa nasal, eleva ángulo de la boca |
| Masetero                                   | Cabeza superficial: cigomático arco (dos tercios anteriores)<br>Parte profunda: arco cigomático (tercio posterior).                      | Ángulo mandibular (tuberosidad masetéica)           | Mandibular nervio (Nervio craneal V3) vía masetéica nervio | Eleva (aduce) y sobresale la mandíbula                                 |

## 2.3 BASE ANATÓMICA DE LOS IMPLANTES CIGOMÁTICOS

El implante cigomático se desarrolló para pacientes con reabsorción grave del maxilar posterior con el fin de eliminar o minimizar la necesidad de aumento óseo o sinusal. La tasa de éxito global de los implantes cigomáticos fue del 97,9 % en una revisión sistemática que incluyó un total de 1541 implantes colocados en un periodo de 3 años (Goiato y cols., 2014b; Rigolizzo y cols., 2005).

### **2.3.1 Distancias angulares y lineales**

En un estudio anatómico realizado por Uchida y cols., (2001) en 12 cadáveres (22 lados) que se clasificaron en grupos de estatura baja y alta (de 140 a 159 cm y de 160 a 180 cm, respectivamente), se definieron los siguientes puntos de referencia:

La distancia lineal para la selección del implante cigomático. Es la distancia entre el punto de entrada del implante cigomático en la cresta del proceso alveolar maxilar (punto A), que suele ser la zona del primer molar o segundo premolar, y el punto yugal (punto Yu) en el hueso cigomático. El punto Yu es el punto más deprimido de la superficie lateral del cigoma, donde el margen lateral de la apófisis cigomático frontal se encuentra con el margen superior de la apófisis cigomático temporal (Uchida y cols., 2001).

La medición angular se realiza en la línea que une el punto A con el punto Yu y la línea horizontal que pasa por los forámenes infraorbitarios bilaterales (FI). Esta línea horizontal es perpendicular al plano medio sagital (PMS), conectando el nasión (N) el punto medio del margen superior del hueso nasal con el agujero incisivo (AI<sub>n</sub>) (Uchida y cols., 2001).

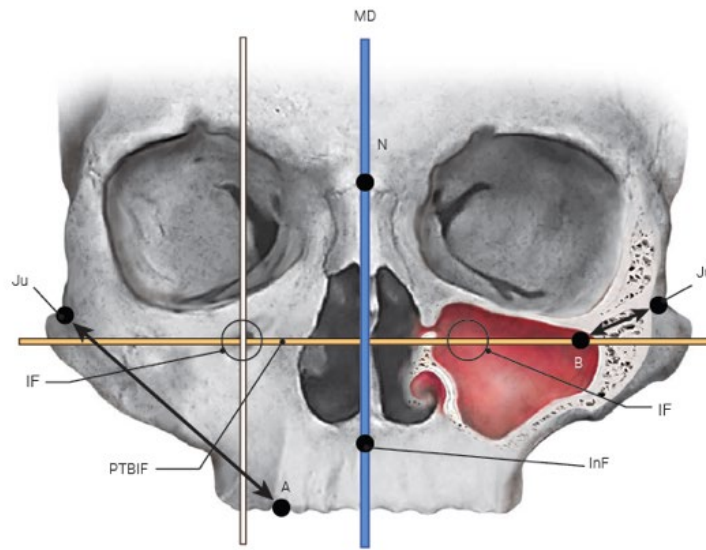


**Fig. 4** - Puntos de referencia y medidas de los huesos nasal, maxilar y cigomático definidos como ayuda para la colocación de implantes cigomáticos. El plano medio sagital (PMS) se define como el plano que pasa por el punto medio del margen superior del hueso nasal (nación-N) y el agujero incisivo (AIn). Se define el plano que pasa por los forámenes infraorbitarios bilaterales (FI) perpendicular al PMS. El punto A se define como el punto correspondiente al punto de partida para la inserción del implante cigomático, que se encuentra en el proceso alveolar. El yugale (punto Yu), correspondiente al punto final alcanzado por el implante, se define como el punto de la superficie lateral cigomática situado en el punto más deprimido de la región de transición desde el margen lateral de la apófisis cigomático frontal hasta el margen superior de la apófisis cigomático temporal. El punto B es un punto situado en el ángulo más lateral del techo posterosuperior del seno maxilar (Al-Faraje, 2021).

La estabilidad del soporte óseo y la osteointegración del implante cigomático dependen del grado de encaje de la porción apical del implante con el hueso cigomático. En otras palabras, la distancia de penetración del implante cigomático entre la esquina más lateral del seno maxilar y el cigoma. Para obtener esta información, se debe especificar el punto B, la esquina más lateral del seno maxilar penetrada por la porción apical del implante. Se define como el punto situado en la esquina más lateral del techo posterosuperior del seno (Uchida y cols., 2001).

Intraquirúrgicamente, utilizando una fresa redonda de diamante, debe abrirse una ventana de aproximadamente 5x15 mm adyacente a la pared lateral del seno, cerca de la cresta infra glomerular, y debe retirarse la membrana del seno maxilar en esta zona para determinar el punto B (Uchida y cols., 2001).

Basándose en los valores de la media y la desviación estándar, el ángulo de instalación de los implantes cigomáticos (la línea horizontal que pasa por los agujeros infraorbitarios bilaterales y el A-Yu) estaba entre 43,8 y 50,6 grados, con el valor máximo

en el grupo más corto. La distancia entre la cresta del proceso alveolar maxilar cerca del paladar y el punto Yu del cigoma (A-Yu) estaba entre 44,3 y 54,3 mm, con el valor mínimo en el grupo más corto. La distancia media entre la esquina más lateral del seno maxilar y el punto Yu (B-Yu) fue de 10 mm o menos sólo en el grupo más corto. El valor mínimo, que sumaba la media y la desviación estándar, era de 6,41 mm en el grupo de menor estatura. Se reconocieron diferencias significativas entre los grupos de altura (Uchida y cols., 2001).

La longitud anteroposterior de la apófisis cigomática maxilar y el cigoma para evitar la exposición de las roscas en el lado anteroposterior tras la colocación del implante cigomático fue menor en el grupo más corto, con 5,68 mm (Uchida y cols., 2001).

### 2.3.2 Puntos de referencia y mediciones

En un estudio presentado por Takamaru y cols., (2016) destinado a medir el hueso cigomático para una inserción más segura de implantes cigomáticos, se utilizaron varios cadáveres sin molares. Las alturas corporales de los cadáveres oscilaban entre 148 y 179 cm (media:  $159,4 \pm 9,2$  cm), y su edad entre 62 y 88 años (media:  $79,9 \pm 8,3$  años). Según sus historiales médicos, no habían padecido ninguna enfermedad que afectara al cigoma, el maxilar o el seno maxilar, y no mostraban ninguna asimetría facial. Todas las membranas sinusales se mostraron sanas cuando se expuso el seno maxilar (Takamaru y cols., 2016).

Desde la vista lateral, el punto de intersección (el llamado punto de ángulo de 90 grados) entre el margen superior del arco cigomático y el margen temporal de la apófisis frontal del hueso cigomático se designó como punto A (Fig. 5). Se trazó una línea perpendicular al margen superior del arco cigomático desde el punto A. El punto de intersección entre la línea perpendicular y el margen inferior del arco cigomático se designó como punto B (Takamaru y cols., 2016).

El segmento A-B se dividió en cuatro partes, que se designaron, empezando por el aspecto más superior, como puntos A1, A2 y A3. El punto medio de la línea que se extiende desde el margen superior de la apófisis frontal del hueso cigomático, entre el margen orbitario y el margen temporal de la apófisis frontal del hueso cigomático, se designó como C1. Desde el punto C1 se trazó una línea perpendicular al margen superior del arco cigomático, y el punto de intersección entre la línea perpendicular y el margen inferior del arco cigomático se designó como punto C5. El segmento C1-C5 se dividió en

cuatro partes, que se designaron, empezando por el aspecto más superior, como puntos C2, C3 y C4 (Takamaru y cols., 2016).

El grosor en cada punto (A, A1, A2, A3, C1, C2, C3 y C4) se midió cinco veces con calibradores. El punto de partida para la inserción de un implante cigomático fue en la región del segundo premolar del proceso alveolar maxilar, en una posición ligeramente palatina. Dado que los especímenes no tenían molares, la posición del segundo premolar se estimó a partir del agujero infraorbitario. El punto de partida para la inserción del implante cigomático se desplazó 3 mm hacia palatino desde el segundo premolar. Como referencia para la longitud del posible implante cigomático, también se midieron las distancias desde el punto de partida hasta cada punto de la superficie externa del hueso cigomático (Takamaru y cols., 2016).

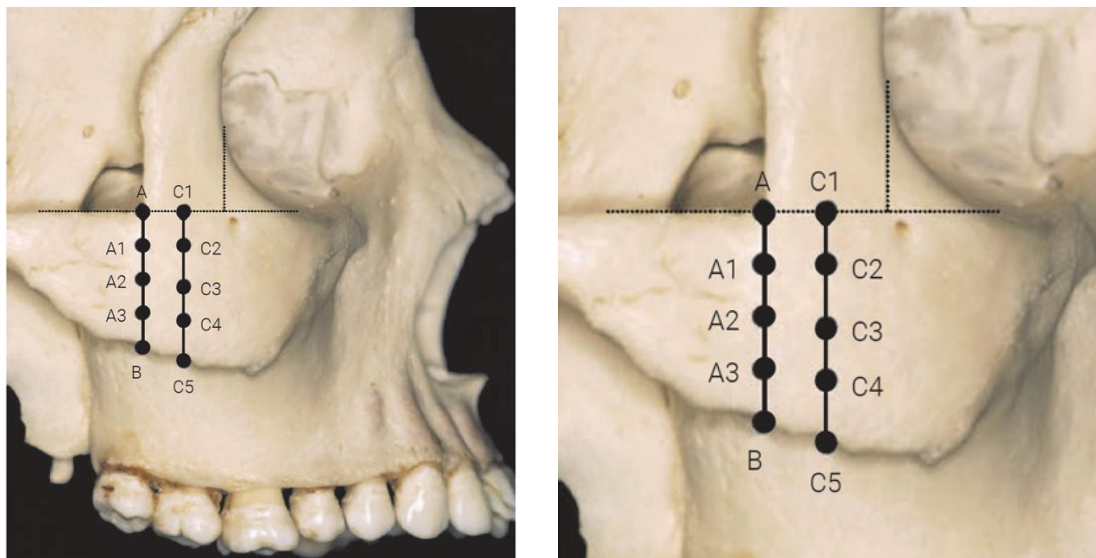


**Fig. 5** - Altura y grosor del hueso cigomático (Takamaru y cols., 2016).

El grosor en el punto A (correspondiente al punto de ángulo de 90 grados) tenía una media de  $1,8 \pm 0,4$  mm. El grosor aumentó gradualmente del punto A al A2 y del punto C1 al C3. Los grosores en los puntos A, A1, A2 y A3 eran más finos que los correspondientes puntos anteriores C1, C2, C3 y C4, respectivamente. En otras palabras, la porción más inferoanterior era más gruesa que el punto A. Aunque no se observaron diferencias significativas en la altura del hueso cigomático entre machos y hembras, el hueso cigomático de las hembras era significativamente más delgado que el de los machos en todos los puntos, excepto en el punto A. El grosor del hueso cigomático en algunos de los puntos medidos (A, A1, A3, C3 y C4) se correlacionaba con la altura corporal. Sin

embargo, no se encontró correlación entre la altura corporal y la altura del hueso cigomático (Takamaru y cols., 2016).

Por lo tanto, al colocar el implante, el cirujano debe apuntar al punto C2 o C3 para que el ápice del implante se encuentre en la parte más gruesa del hueso cigoma. Si se busca el punto de ángulo de 90 grados, el implante cigomático podría quedar expuesto en la cara interna de la apófisis temporal del hueso cigomático o en ambas caras (interna y externa). Para evitarlo, la cara externa del hueso cigoma debe penetrarse en una posición inferioranterior al punto del ángulo de 90 grados (la zona entre C1 y C3). El espacio interno del hueso cigomático, la fosa infratemporal, contiene muchas estructuras anatómicas importantes, como el músculo temporal, la arteria maxilar y sus ramas, y el plexo pterigoideo (Takamaru y cols., 2016).

Distancias desde el punto de partida hasta cada punto de la superficie externa del hueso cigomático. Para todos los especímenes, la distancia media osciló entre 42,4 y 55,5 mm. No hubo diferencias significativas entre machos y hembras en relación con las distancias desde los puntos de partida hasta sus respectivos puntos correspondientes. Además, la distancia desde el punto de partida hasta cada punto de la superficie externa del hueso cigomático no se correlacionó con la altura corporal. Al colocar el implante cigomático, el cirujano querría apuntar al punto C1 para obtener la mayor distancia entre el punto de inicio en la cresta y la superficie externa del hueso cigomático (Takamaru y cols., 2016).

### **2.3.3 Estructura interna del cigoma**

En un estudio anatómico realizado por Kato y cols. (2005) sobre la estructura interna del hueso cigomático en relación con los implantes cigomáticos, se utilizaron 28 huesos cigomáticos de maxilares edéntulos procedentes de cadáveres. La edad media de los especímenes de cadáver era de 79,6 años y los especímenes se analizaron mediante micro-tomografía computarizada (Kato y cols., 2005).

El hueso cigomático se dividió en tres regiones: alrededor del punto Yu, alrededor de la región cigomaxilar (Rc) y alrededor del punto medio entre Yu y Rc (PM). En cada región se designaron tres volúmenes de interés (VI) (Fig. 6). Los VI no incluían hueso cortical. El tamaño de cada VI era de 80x80x80 píxeles (Kato y cols., 2005).

Los parámetros morfológicos de cada región se calcularon contando los vóxeles de las imágenes tridimensionales. La unidad de micro-tomografía computarizada produjo

un informe de datos microestructurales en las tres dimensiones. Los parámetros de este análisis fueron la densidad de volumen óseo (D/VO), el grosor de la placa trabecular (G.Pt), el número de placas trabeculares (N.Pt) y la separación de las placas trabeculares (Sp.Pt). Se realizaron comparaciones de los parámetros VI en cada región (Kato y cols., 2005).

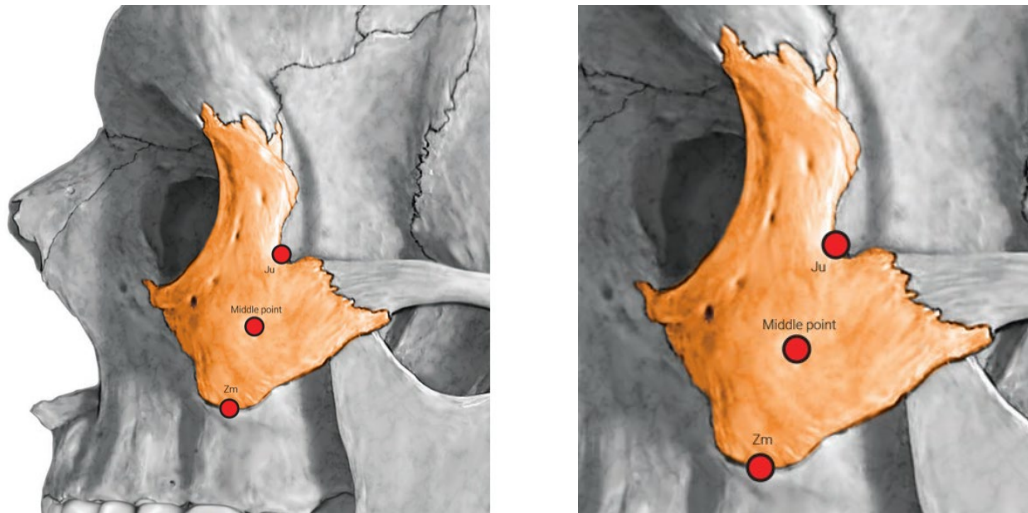


**Fig. 6** - Las tres regiones del hueso cigoma (Yu, Rc y PM) (Kato y cols., 2005).

Se evaluaron un total de 56 localizaciones en hueso cigomático de maxilares edéntulos. La observación visual de la reconstrucción de las tres regiones mostró claramente que las trabéculas eran más gruesas en la región Yu que en las demás regiones. Las trabéculas de la región Yu presentaban una estructura en forma de placa. Las trabéculas de la región del punto medio y de la región Rc contenían menos elementos trabeculares y más finos que las trabéculas de la región Yu (Kato y cols., 2005).

La densidad del volumen óseo era mayor en la región Yu que en las demás regiones. Asimismo, el grosor de la placa trabecular y el número de placas trabeculares eran mayores en la región Yu que en las demás regiones. El examen de la separación de la placa trabecular mostró que el espacio entre la placa trabecular y el hueso trabecular era estrecho en la región Yu. Estos resultados indican que la densidad trabecular en el hueso cigomático de los maxilares edéntulos era mayor en la región Yu que en las demás regiones. En las regiones del punto medio y Rc, las trabéculas más finas y separadas daban lugar a una menor densidad de volumen óseo (Kato y cols., 2005).

Nkenke y colegas (2003), estudiaron las proporciones de 30 huesos cigomáticos y hallaron valores de  $19,99\% \pm 7,60\%$  para el hueso trabecular y  $83,18\% \pm 8,87\%$  para el hueso cortical en el grupo femenino. Los valores para los huesos de los varones fueron  $27,32\% \pm 9,49\%$  para el hueso trabecular y  $83,68\% \pm 6,35\%$  para el hueso cortical. Esos autores presentaron medidas medias de espesor lateral de  $7,60 \pm 1,45$  mm para los huesos de las mujeres y de  $8,00 \pm 2,26$  mm para los huesos de los hombres. A pesar de los valores menos favorables encontrados en el hueso cigomático femenino, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas (Nkenke y cols., 2003).

### **2.3.4 Distribución de tensiones**

El hueso cigomático se encuentra en el centro de lo que se conoce como complejo cigomático, complejo orbito-cigomático, complejo cigomático-maxilar y contrafuerte cigomático-maxilar (Linnau y cols., 2003). Estos complejos incluyen no sólo el cuerpo del hueso cigomático y sus apófisis, sino también las apófisis cigomáticas de los huesos frontal y temporal, y la cresta cigomáticoalveolar de los huesos maxilar y cigomático. En los humanos modernos, se dice que el cigoma y los huesos asociados actúan como importantes "contrafuertes" del tercio medio facial, protegiendo la cara de agresiones externas, proporcionando puntos de anclaje para diversas placas y accesorios, y desempeñando un papel fundamental en la estética facial a través de su influencia en la anchura y proyección facial. De hecho, si no se reparan adecuadamente las fracturas del complejo cigomático, pueden producirse una amplia gama de deformidades y disfunciones en los sistemas de alimentación, visual y respiratorio (Linnau y cols., 2003).

El pilar cigomático es el hueso alveolar que sostiene el tercer premolar y el primer molar; la cresta y la raíz cigomáticas, hueso cortical que forma la cresta cigomático alveolar, delimitada mesial y distalmente por los puntos donde el hueso se curva hacia fuera desde el proceso alveolar, y superiormente donde la cresta se hace continua con el borde inferior del arco cigomático; el cuerpo cigomático, delimitado por la sutura cigomático-maxilar inferior y medialmente, el nivel del reborde orbitario inferior superiormente, y lateralmente, la región del arco donde los bordes superior e inferior se vuelven aproximadamente paralelos; la barra postorbitaria, delimitada por la región del cuerpo cigomático inferiormente y la sutura cigomático-frontal superiormente (excluyendo el tabique postorbital) (Prado y cols., 2016).

Algunas partes del pilar cigomático, como la cresta cigomático alveolar y la apófisis temporal del hueso cigomático experimentan tensiones de Von Mises elevadas (7-12 MPa), mientras que las tensiones en el cuerpo cigomático y la apófisis frontal del hueso cigomático son menores (3-4 MPa). Las tensiones de tracción elevadas son evidentes en la unión de la parte superior del arco cigomático con la barra postorbitaria, y se observan tensiones de compresión elevadas en la cresta cigomático alveolar (Prado y cols., 2016).

El complejo cigomático es especialmente importante porque es el más fuerte y de más fácil acceso de los "pilares" faciales verticales, el cigoma sirve como un punto de anclaje importante para los implantes cigomáticos, y las fracturas del complejo cigomático debidas a accidentes automovilísticos y violencia interpersonal son las fracturas faciales más comunes tratadas por los cirujanos maxilofaciales (Fernández y cols., 2014; Prado y cols., 2016).

## **2.4 EVALUACIÓN RADIOGRÁFICA**

La planificación prequirúrgica es esencial para lograr excelentes resultados estéticos y funcionales con los implantes dentales. Por lo general, los profesionales han utilizado radiografías dentales convencionales (radiografías panorámicas y periapicales) y guías quirúrgicas fabricadas convencionalmente para la colocación de implantes (Chrcanovic y cols., 2010). Las radiografías panorámicas que se utilizan habitualmente en la planificación del tratamiento implantológico están limitadas por sus características de aumento y distorsión, así como por la falta de nitidez de la imagen. Además, una radiografía panorámica es una imagen bidimensional que proporciona poca información sobre la anchura bucolingual de los huesos maxilares (Chrcanovic y cols., 2010).

La tomografía computarizada (TC) es una herramienta útil para los pacientes con implantes, especialmente en situaciones con limitaciones anatómicas, dimensiones óseas insuficientes y densidad ósea deficiente (Jacobs y cols., 1999). El uso de la TC mejora la correlación entre la planificación y la colocación real de los implantes en comparación con los métodos radiográficos convencionales (Jacobs y cols., 1999).

Se han descrito varias técnicas para abordar el maxilar atrófico, incluyendo el uso de implantes inclinados en la región parasinusal, implantes en la apófisis pterigoides, injertos del suelo del seno maxilar, implantes cortos, implantes anchos, diferentes tipos de injertos e implantes de zigoma (Brånemark y cols., 1995; Chrcanovic y cols., 2010).

Sin embargo, la colocación de implantes en el hueso cigoma puede resultar difícil debido a la anatomía variable y a los distintos grados de atrofia posibles en la región maxilofacial (Aparicio y cols., 2014). En el caso de los implantes de cigoma, la precisión de la transferencia del plan preoperatorio al campo quirúrgico es aún más crucial. Dada una visualización adecuada, las imágenes de TC en 3D proporcionan una representación sin igual de la compleja topografía anatómica que debe respetarse cuando se decide la trayectoria de un implante de cigoma (Chrcanovic y cols., 2010).

La presencia de septos o tabiques óseos en el interior del seno maxilar crea regiones de adherencia de la membrana de Schneider e irregularidades, que pueden dificultar los procedimientos (de Oliveira-Santos y cols., 2013). Otra característica anatómica que presenta variaciones considerables es el canalis sinuosus, situado en la región maxilar anterior (premaxilar). Se origina en el canal infraorbitario y discurre caudalmente y medialmente hasta el canal nasopalatino, presentando ocasionalmente ramas del haz neurovascular alveolar anterosuperior a lo largo de todo su recorrido por la premaxila (de Oliveira-Santos y cols., 2013; la Encina y cols., 2022). A menos que estas variaciones anatómicas en el maxilar se diagnostiquen correctamente con antelación, pueden dar lugar a una mayor incidencia de complicaciones, incluyendo hemorragias, problemas nerviosos y traumáticos, y el consiguiente fracaso de los procedimientos implantológicos y regenerativos (la Encina y cols., 2022).

A partir del escáner TC o CBCT (utilizando imágenes axiales, frontales, sagitales, transversales, coronales y 3D de los escáneres) se puede obtener la siguiente información (i) forma del cigoma; (ii) anchura (bucolingual y mesiodistal); (iii) longitud (la distancia disponible en el hueso cigomático para el encaje del implante); (iv) densidad del cigoma; (v) curvatura del borde lateral del seno maxilar y de la cresta alveolar y su relación espacial con el cigoma; (vi) dimensiones y condiciones del proceso alveolar remanente y del paladar duro adyacente donde se pretende anclar el implante; (vii) el seno maxilar debe examinarse en busca de posibles patologías de tejidos duros y blandos y (viii) anchura, altura, forma y densidad de la región anterior del proceso alveolar en el maxilar anterior, donde se necesitan implantes adicionales para casos de rehabilitación de arcada completa (Aparicio y cols., 2008).

Las plantillas de fresado personalizadas pueden fabricarse mediante una transferencia informática a partir de los datos de planificación de TC 3D disponibles; esto permite incorporar todos los factores biomecánicos, estéticos y anatómicos predeterminados durante el procedimiento quirúrgico (Aparicio y cols., 2008).

La fuerza del anclaje en el cigoma compensa la mala calidad del hueso, mayoritariamente de tipo IV en el maxilar posterior. Desde un punto de vista biomecánico, se ha demostrado que si los anclajes del cigoma están conectados a los implantes anteriores, las fuerzas masticatorias aplicadas a la prótesis fija se transfieren al cigoma (Van Steenberghe y cols., 2003).

En un estudio realizado en cadáver humano por Van Steenberghe y cols., (2003) se incluyeron 6 implantes de cigoma con guías de perforación quirúrgica basadas en datos de TC; se cotejaron las TC preoperatorias con las postoperatorias para evaluar la desviación entre los implantes de cigoma planificados y colocados. Los investigadores informaron de que las desviaciones angulares en el eje para 4 implantes planificados y colocados fueron inferiores a 3 grados, mientras que 1 implante mostró 3,1 grados y el último 6,9 grados de desviación angular en el eje (Van Steenberghe y cols., 2003).

La precisión de todo el procedimiento depende en gran medida de la capacidad de colocar con precisión la guía de broca en la parte superior del hueso y de mantener esa posición estable durante todo el procedimiento.

Debido a la perforación con fresas largas cerca de estructuras anatómicas críticas, la visibilidad comprometida, las trayectorias oblicuas de las fresas para la colocación de implantes cigomáticos suponen un reto (Vosselman y cols., 2022). Una colocación imprecisa podría provocar hemorragias incontroladas, daños en la órbita y su contenido, daños en el seno maxilar y fracturas traumáticas del complejo orbito-zigomático (Vosselman y cols., 2022). Hay que tener cuidado para garantizar una dirección mesiocraneal adecuada para el implante. Si el implante se planifica demasiado lateral, emergería en la fosa infratemporal. Si, por el contrario, se planifica demasiado mesial, acabaría en la nasofaringe o el seno esfenoidal. Si la inclinación del implante es demasiado craneal, entraría en la fosa pterigopalatina. En el caso de un implante demasiado dirigido horizontalmente, no se encontraría ninguna estructura ósea (Chrcanovic y cols., 2010).

Pellegrino (2020) evaluó las extensiones de hueso malar disponibles para implantes cigomáticos utilizando diversas trayectorias y las implicaciones de las trayectorias intra/extrasinusales. La longitud total media desde la emergencia del implante hasta el punto de salida del hueso cigomático fue de  $53,77 \pm 9,33$  mm (rango 30,39-82,83 mm). En otros estudios se han notificado valores similares; Uchida y cols. (2001) y Xu y cols. (2017) notificaron longitudes medias de  $50,2 \pm 4,13$  mm (rango 44,3-54,3 mm) y  $58,15 \pm 7,50$  mm (rango 36,46-72,35 mm), respectivamente. Si se

contemplaba la emergencia anterior a nivel de los caninos/primeros premolares, la longitud de implante necesaria para alcanzar el área cortical externa del hueso malar era de  $58,32 \pm 7,44$  mm (Pellegrino y cols., 2020).

En el estudio de Pellegrino (2020), el compromiso óseo total fue de  $17,92 \pm 6,92$  mm. Bertos Quilez y cols., (2018) informaron de una longitud intramalar media de  $16,95 \pm 4,73$  mm. Balshi y cols., (2012) encontraron un contacto hueso-implante (BIC) de  $15,5 \pm 6,0$  mm en hombres y  $14,7 \pm 5,4$  mm en mujeres. Hung y cols. (2017) informaron de un BIC medio de  $16,70 \pm 4,18$  mm en la zona superior del cigoma. (Pellegrino y cols., 2020; Bertos Quilez y cols., 2018; Balshi y cols., 2012; Hung y cols., 2017).

Los resultados del estudio de Pellegrino (2020) sugieren que se puede obtener un mayor enganche óseo con una trayectoria más interna del implante que con una trayectoria externa, pero lo contrario era cierto en términos de longitud del trayecto intrasínusal. La mejor angulación en el plano sagital para el enganche óseo fue de 0 ó 4°. La longitud de la trayectoria intrasínusal aumentó cuando la cresta ósea era  $<2$  mm. Los datos pueden considerarse para facilitar la planificación tridimensional de los implantes cigomáticos. Una implicación clínica de lo hallado es la oportunidad de utilizar puntos de referencia anatómicos, utilizables también durante la cirugía, en lugar de una plantilla estándar para la planificación quirúrgica (Pellegrino y cols., 2020).

La TC es crucial para la evaluación del lugar del implante cigomático y el estado del seno, así como para el trayecto del implante. Hay que explorar la cantidad de hueso en el arco cigomático y en la cresta alveolar residual. También se tienen en cuenta la angulación, el lugar de emergencia previsto y la relación del cuerpo del implante con el seno maxilar y la pared lateral. Con la técnica original, el trayecto del implante cigomático estaba dentro del seno maxilar. La emergencia de la cabeza del implante en la cresta alveolar (normalmente en la cara palatina de la región del segundo premolar) depende de la relación espacial del hueso cigomático, el seno maxilar y la cresta alveolar (Aparicio y cols., 2014).

## 2.5 PRINCIPIOS BIOMECÁNICOS

La reabsorción alveolar significativa es un hecho frecuente en pacientes que han llevado una prótesis maxilar removible de arcada completa, lo que puede dificultar la colocación de implantes. La falta de estimulación ósea por parte de los dientes o de los implantes dentro del hueso provoca cambios volumétricos negativos. Esto se complica en el maxilar posterior por el agrandamiento de los senos. Tras la pérdida de hueso periodontal o la extracción de un diente, se produce una cascada de remodelación ósea inevitable de la cresta alveolar. La consiguiente remodelación ósea se produce de forma tridimensional con pérdida tanto de altura como de anchura de la cresta residual. El resultado es un hueso inadecuado para la colocación de implantes sin procedimientos de aumento (Aalam y cols., 2023).

Cuando se ha producido un nivel significativo de reabsorción ósea en el maxilar, sólo se dispone de un número limitado de opciones quirúrgicas. Éstas pueden incluir implantes inclinados para evitar los senos neumatizados con una prótesis resultante con oclusión premolar o injertos óseos significativos en esas zonas deficientes para permitir la colocación de implantes en aquellas zonas que carecen de hueso suficiente para albergar implantes. Los procedimientos de aumento aumentan el tiempo de tratamiento y el coste del tratamiento total para lograr la colocación del implante y la restauración para devolver la funcionalidad al paciente (Aalam y cols., 2023; Cooper y cols., 2020). Se han presentado soluciones sin injertos para estas situaciones clínicamente difíciles, que incluyen implantes inclinados, implantes cigomáticos e implantes pterigoideos para maximizar el volumen óseo presente (Cooper y cols., 2020). Los implantes cigomáticos se han utilizado con éxito para permitir evitar el injerto óseo del seno maxilar y de la cresta deficiente y seguir permitiendo la colocación del implante en el hueso disponible distante (Maló y cols., 2014). Aunque los implantes cigomáticos son más complejos de colocar y requieren un mayor nivel de habilidad quirúrgica, sus tasas de supervivencia son similares a las de los implantes endosteales estándar (Maló y cols., 2014). Los implantes cigomáticos son útiles en el tratamiento y manejo del maxilar atrófico severo (Aalam y cols., 2023).

Esta técnica proporciona un anclaje doble del implante dentro del cuerpo óseo del cigoma y (cuando es posible) un anclaje adicional dentro de la cresta ósea alveolar (Pellegrino y cols., 2020).

El implante suele insertarse desde la cresta del proceso alveolar, a lo largo de la pared lateral del seno maxilar o a través de la cavidad del seno maxilar, y termina dentro del hueso cigoma (Xu y cols., 2017). Debido a la longitud adicional del cuerpo del implante y a la complicada estructura del complejo maxilar-cigomático, es esencial decidir la ruta de inserción. Las desviaciones en el ángulo de inserción pueden provocar daños graves, como la penetración de la pared lateral de la órbita, que podría dañar el globo ocular, o la perforación del hueso cigoma en la fosa infratemporal. Las estructuras del hueso cigoma presentan variaciones individuales, lo que dificulta el estudio anatómico (Xu y cols., 2017).

La colocación de implantes cigomáticos para la restauración protésica puede clasificarse en cuatro enfoques principales: intrasinusal, ranura sinusal, extrasinusal y extramaxilar. Se han desarrollado diferentes técnicas quirúrgicas posteriores para mejorar la localización común de la cabeza del implante cigomático en la zona palatina, como se muestra en el método intrasinusal tradicional. Cada enfoque quirúrgico parece tener sus propias ventajas y características para mejorar continuamente la tasa de supervivencia de los implantes cigomáticos (Ishak y cols., 2020).

### **2.5.1 La técnica Branemark original**

La técnica quirúrgica original (TQO) descrita por Brånemark tiene como resultado la estabilización bicortical de la plataforma del implante en el alvéolo maxilar y la estabilización bicortical de la porción apical del implante dentro del cuerpo del hueso cigoma (Bedrossian y cols., 2023).

El protocolo TQO crea una técnica de ventana sinusal para la colocación de estos implantes. Inicia la osteotomía a través de la placa cortical del hueso alveolar maxilar seguida de la penetración a través del suelo cortical del seno maxilar. La trayectoria de la fresa puede estar dentro o fuera del seno maxilar dependiendo del contorno de la pared lateral del seno maxilar a medida que se aproxima al hueso cigoma. A continuación, la fresa penetra en la base del hueso cigoma, atraviesa el cuerpo del hueso cigoma y finalmente penetra a través de su pared cortical lateral. Las dos placas corticales maxilares proporcionan una estabilización bicortical de la plataforma del implante (Bedrossian y cols., 2023).

Las dos placas corticales adicionales en el hueso cigoma proporcionan la segunda estabilización bicortical de la porción apical del implante cigoma. De este modo, el

implante de cigoma está estabilizado por cuatro corticales. Entre las críticas al TQO se incluyen una emergencia desfavorable de la plataforma del implante, descrita como "demasiado palatina", así como la posibilidad de infecciones sinusales (Bedrossian y cols., 2023).

Branemark estudió la reacción de la membrana de Schneider a la presencia de implantes de titanio zigomáticos en el seno maxilar, en colaboración con Bjorn Petruson (Petruson, 2004). Los resultados de este estudio mostraron la ausencia de inflamación en la mucosa circundante del seno cuando se examinó directamente utilizando un endoscopio transnasal. Su observación también reveló que en algunos casos el implante de cigoma dentro del seno maxilar podía estar cubierto por la membrana de Schneider, mientras que en otros, sólo había una cobertura parcial del implante de cigoma por la membrana. Hicieron hincapié en que no había infección ni aumento de las secreciones de la membrana de Schneider que pudieran interrumpirse durante la preparación de la osteotomía o durante la colocación del implante de cigoma (Petruson, 2004).

Muchos informes clínicos describen una mayor incidencia de complicaciones con el uso del abordaje quirúrgico intrasinusal clásico (Ishak y cols., 2012). Las prótesis voluminosas pueden afectar a la higiene dental y aumentar la resistencia mecánica para causar molestias al paciente (Ishak y cols., 2012). Las complicaciones de los tejidos blandos periimplantarios, las hemorragias y el aumento de la profundidad de sondaje se producen probablemente debido a la posición inadecuada de la cabeza del implante cigomático y el pilar (Block y cols., 2009; Ishak y cols., 2012).

### **2.5.2 La técnica de Stella y Warner**

La "técnica de la ranura sinusal" publicada por Stella y Warner simplificó significativamente el protocolo original de Branemark (Stella y Warner, 2000; Chrcanovic y cols., 2010). La "ranura sinusal" es una ventana guía realizada directamente a través de la pared del contrafuerte del maxilar, por la que se guía el implante cigomático a través del maxilar hasta la inserción del ápice en la unión del reborde orbitario lateral y el arco cigomático. Esta ranura sinusal lateral permite un mayor potencial de interfaz hueso-implante debido a esta posición lateral, y eliminó la ventana sinusal y la elevación del revestimiento sinusal para la colocación del implante. Esta ventana lateral permite una visión directa de la base del hueso cigoma y ayuda a controlar la posición del implante mediante visión directa (Stella y Warner, 2000). Esta ranura da lugar a una antrostomía

más pequeña que orientará las fresas helicoidales para la colocación del implante (Kämmerer y cols., 2023).

Este abordaje es menos invasivo que el empleado en la técnica de Brånemark, reduciendo así el edema y la equimosis postoperatoria (Peñarrocha y cols., 2005). Es más conveniente desde el punto de vista protésico que la técnica original, en la que la emergencia se localiza palatalmente en la zona del primer o segundo premolar (Peñarrocha y cols., 2005).

Boyes-Varley y asociados también colocaron implantes lo más cerca posible de la cresta del reborde edéntulo, lo que redujo el voladizo bucal y mejoró el espacio lingual y el acceso para el mantenimiento. Sin una ventana en el seno maxilar se reduce la pérdida ósea y se acorta la cirugía, aunque no se evita la perforación de la membrana sinusal (Boyes-Varley y cols., 2003).

### **2.5.3 Técnica extrasinusal**

El abordaje "exteriorizado" o más tarde denominado a menudo abordaje "extrasinusal" se describió como una técnica sin realizar una antrostomía maxilar. Desde un punto de vista anatómico, el punto inicial y final y, por tanto, la trayectoria de los implantes cigomáticos colocados siguiendo el abordaje "extrasinusal" es exactamente la misma que la de la TQO. Al estudiar esta técnica, los cirujanos deben apreciar que la posición "extrasinusal" de la "porción media" del implante de cigoma es consecuencia de la anatomía cóncava de la pared lateral del seno maxilar del paciente y no consecuencia de una denominada "nueva técnica". Por lo tanto, el enfoque "extrasinusal" no es una técnica diferente, sino más bien una observación del resultado de la trayectoria del implante basada en la anatomía de la pared sinusal lateral del paciente.

El implante cigoma es un implante único con las siguientes características distintivas: (i) Es un implante largo que generalmente oscila entre 30 y 60 mm; (ii) Se coloca en una trayectoria no axial; (iii) Puede estar anclado por el maxilar y el cigoma (estabilizado cuatricorticalmente), o estabilizado sólo por el hueso cigoma (estabilizado bicorticalmente) (Bedrossian y cols., 2023).

La movilidad del cuerpo del implante y la fractura del tornillo del pilar son algunas de las complicaciones notificadas para el abordaje extramaxilar (Ishak y cols., 2012).

### 2.5.4 Combinación de implantes anteriores

El estudio de Ishak y cols., (2012) demostró que los implantes convencionales colocados en la región anterior eran los principales responsables de la elevada tensión producida por las cargas anteriores más que por las cargas posteriores. Asimismo, ambos implantes convencionales colocados mediante el abordaje intrasínusal soportaron mayores tensiones en casi todas las condiciones de carga para retener toda la estructura de la restauración en comparación con el abordaje extramaxilar (Ishak y cols., 2012).

Este hallazgo podría atribuirse a la apariencia de la cabeza posterior del implante, que está ligeramente fuera de la alineación del arco maxilar, estando inclinada hacia distal. Esto provocó un aumento de la distancia A-P, causando una menor retención por parte de la estructura para soportar cargas interimplantarias, excepto cuando la carga se aplicó en el segundo molar. La carga aplicada en esta región se toleró mejor en el abordaje intrasínusal, ya que la fuerza se dispersó más por el arco y el cuerpo del implante cigomático, a diferencia del abordaje extramaxilar, que se vio más afectado por los efectos del voladizo (Ishak y cols., 2012).

El éxito de la prótesis y la distribución de la tensión hueso-implante pueden verse influidos por la inclinación del implante, el número, la posición, los esquemas de ferulización de la prótesis, las superficies oclusales, las propiedades del material de la estructura y las diferentes formas transversales de las vigas (Ishak y cols., 2012).

La distribución de la tensión dentro de la estructura indicaba que las cargas posteriores provocaban elevadas magnitudes de tensión y la concentración de ésta alrededor de la conexión entre la estructura y los implantes. Este resultado fue paralelo a los resultados de tensión obtenidos dentro de los cuerpos de los implantes cigomáticos, en los que las cargas posteriores fueron los principales factores de influencia. La carga aplicada a la superficie superior de la estructura en la región molar dio lugar a una elevada concentración de tensiones que podría deberse a la resistencia a los elevados momentos de flexión generados por los implantes cigomáticos (Bonnet y cols., 2009). En el modelo de estructura se observó una distribución equilibrada de la tensión cuando se cargó en sentido anterior. Una posible explicación de esta observación es que puede haber una transferencia progresiva de la carga oclusal desde el punto de carga a los implantes convencionales y cigomáticos en dirección mesiodistal (Bonnet y cols., 2009).

Los éxitos teóricos de los implantes angulados dependen de varios factores, como la longitud del implante, el anclaje cortical y la distribución del implante dentro de la

arcada. Cuanto más largo sea el implante, más se generará la interfaz de contacto hueso-implante. La carga inmediata puede asegurarse cuando el cuerpo del implante alcanza uno o más puntos de anclaje cortical. Mediante el uso de implantes angulados, las restauraciones protésicas también pueden dirigirse más posteriormente, aumentando así la distancia A-P sin comprometer la distribución de la carga en todo el arco maxilar. El cuerpo de un implante cigomático tiene una alta tendencia a deformarse desde su parte coronal hasta la mitad del cuerpo del implante, sin afectar significativamente a la porción apical, independientemente del tipo de abordaje quirúrgico utilizado (Ishak y cols., 2012). Este hallazgo indica que se puede conseguir una resistencia adecuada para el anclaje en el hueso cigomático tanto para abordajes intrasinales como extramaxilares, sin deformación crítica en la parte apical. El hueso cigomático tiene un hueso esponjoso más ancho y grueso que puede conferir estabilidad inicial al implante (Ishak y cols., 2012).

La literatura informa de que la estabilidad inicial de los implantes podría aumentar si se consiguiera más de un anclaje cortical (Block y cols., 2009). El anclaje no es necesario dentro del hueso trabecular, ya que la fuerza del anclaje en la capa cortical podría retener con éxito la prótesis. Dependiendo de la anatomía del cigoma, el cuerpo del implante también penetra a través de un pequeño volumen de hueso esponjoso, que es otra razón importante para la colocación de implantes dentro del hueso cigomático, ya que tiene muy poca tendencia a la reabsorción o regeneración (Block y cols., 2009).

Los efectos del desplazamiento horizontal del implante podrían reducirse colocando la prótesis en oclusión cruzada en el abordaje intrasinal. La cúspide poco profunda obtenida al reducir la inclinación de la cúspide puede incorporarse a la construcción de la prótesis porque puede dispersar la carga horizontal de forma más eficiente, reduciendo así las fuerzas productoras de torque (Ishak y cols., 2012).

El implante cigomático fue capaz de absorber la mayor parte de la carga posterior, mientras que los implantes convencionales anteriores absorbieron la mayor parte de la carga anterior. El abordaje extramaxilar mostró valores de tensión más elevados que el abordaje intrasinal dentro de los huesos y los implantes, especialmente, cuando se aplicó con carga posterior debido al efecto en voladizo. Los componentes protésicos en el abordaje extramaxilar promovieron una mayor tendencia al desplazamiento que el abordaje intrasinal cuando se cargaron anteriormente, y también cuando la carga se produjo en la región más posterior (Ishak y cols., 2012).

### **2.5.5 Transferencia de cargas funcionales: la perspectiva quirúrgica**

Ujigawa y cols. (2007) describieron la "iluminación del arco cigomático" en su análisis de elementos finitos (AEF), citando que el hueso cigomático es el soporte principal cuando el implante cigomático se coloca bajo cargas funcionales. Una revisión crítica de su artículo y de la ilustración de su AEF, demuestra una vez más que es efectivamente el músculo masetero el que se activa bajo función (la zona resaltada en rojo) y no el hueso cigoma. Una vez más, la conclusión a la que se llega en este artículo respecto a que el hueso cigomático es el principal soporte del implante cigomático en condiciones funcionales no está respaldada ni científica ni anatómicamente (Ujigawa y cols. 2007).

Los estudios de 2013 (Freedman y cols., 2013) y 2015 (Freedman y cols., 2015) de Freedman aclararon que la estabilización de la plataforma del implante cigomático en la cresta maxilar residual es valiosa y crítica para una distribución adecuada de la fuerza.

En este estudio, las tensiones máximas observadas en el modelo con soporte alveolar fueron inferiores a las del modelo sin soporte alveolar, independientemente de la dirección en la que se aplicara la fuerza. El apoyo del hueso alveolar tuvo el mayor impacto en las tensiones máximas de von Mises, cuando se aplicaron fuerzas dirigidas oclusalmente (Freedman y cols., 2015). Esto es clínicamente relevante, ya que la mayoría de las fuerzas masticatorias se dirigen oclusalmente (Hattori y cols., 2009).

Las tensiones observadas en el presente estudio son similares a las encontradas en modelos correspondientes con implantes cigomáticos en posición intrasinusal (Freedman y cols., 2013).

Los resultados de este estudio sugieren que el soporte proporcionado por el hueso alveolar es beneficioso para los implantes cigomáticos colocados en posición extrasinusal. Aunque la parte del implante soportada por el hueso alveolar es muy pequeña en comparación con el hueso cigomático, esta parte del implante está mucho más cerca de la fuerza que se aplica. El apoyo en el extremo coronal del implante permite que las fuerzas masticatorias se distribuyan por todo el maxilar y el esqueleto facial (Freedman y cols., 2015).

Es importante entender que, como ocurre con todos los modelos de AEF, la magnitud de las tensiones descritas no puede transferirse directamente al paciente de forma fiable. A pesar de ello, las diferencias en las distribuciones de tensiones demostradas entre los dos modelos muestran que el modelo con soporte alveolar fue más

eficaz a la hora de distribuir las fuerzas aplicadas que el modelo sin él (Freedman y cols., 2015).

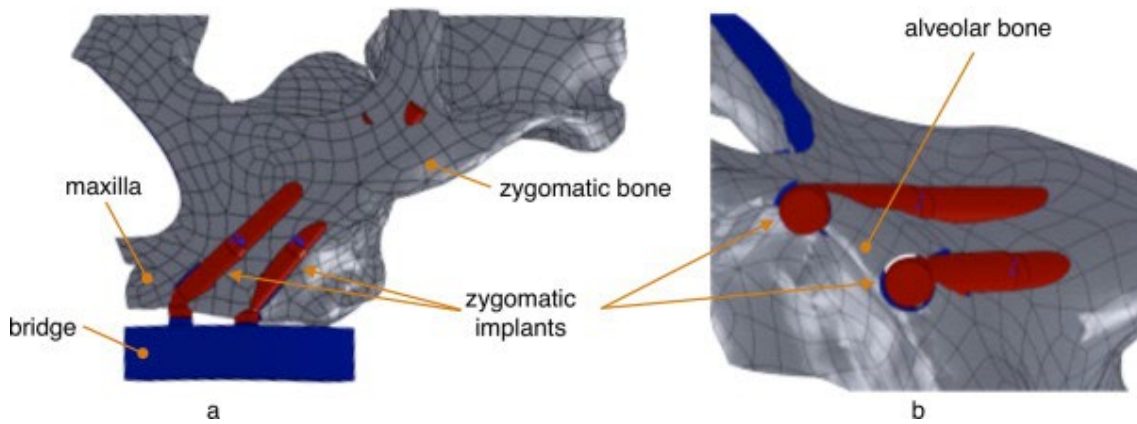


**Fig. 7 -** (a) Vista lateral y (b) inferior del modelo con orificios alrededor de la porción coronal de los implantes, eliminando el soporte extra del hueso alveolar (Freedman y cols., 2015).

### 2.5.6 Transferencia de cargas funcionales: la perspectiva protésica

Ujigawa y cols. (2007) también describieron específicamente en su estudio las tensiones oclusales aplicadas a la prótesis fija de arcada completa soportada por implantes cigomáticos. En este AEF se crearon dos modelos. El primer modelo con los implantes cigomáticos posteriores ferulizados con los implantes axiales anteriores y un segundo modelo con los implantes cigomáticos sin ferulizar. Lo ideal es colocar el implante cigomático en posición posterior, con la cabeza del implante cigomático lo más cerca posible de la cresta alveolar. El implante atraviesa el seno maxilar cerca de la cresta del hueso cigomático, y su ápice perfora el hueso cortical cigomático cerca de la incisura (Ujigawa y cols. 2007).

La tensión debida a las fuerzas oclusales es soportada principalmente por el hueso cigomático, transferida predominantemente a través de la cresta infraglomerática, y dividida en los procesos frontal y temporal del hueso cigomático en dos direcciones (Ujigawa y cols. 2007).

En el modelo de implante se genera una mayor tensión en el centro del implante cigomático (los confines de la pared lateral del seno maxilar) y en la articulación de la fijación-pilar (Ujigawa y cols. 2007).

En el modelo de implante se genera una mayor tensión bajo una carga vertical en el centro del implante cigomático cuando se combina con implantes estándar, el modelo

craneofacial permite una mejor distribución de la tensión en los huesos maxilar alveolar y cigomático en combinación y modelos de implante único (Ujigawa y cols. 2007).

Desde un punto de vista biomecánico, se teoriza que las cargas verticales y laterales sobre el implante cigomático siempre serán pequeñas, ya que las fuerzas se transmiten en varias direcciones debido a la angulación y el espacio tridimensional del arco cigomático y el implante. En consecuencia, los implantes cigomáticos en combinación con al menos dos implantes convencionales pueden evitar las cargas rotacionales y distribuirán las cargas funcionales, pero no pueden evitar la tensión en la articulación del accesorio-pilar bajo una carga lateral.

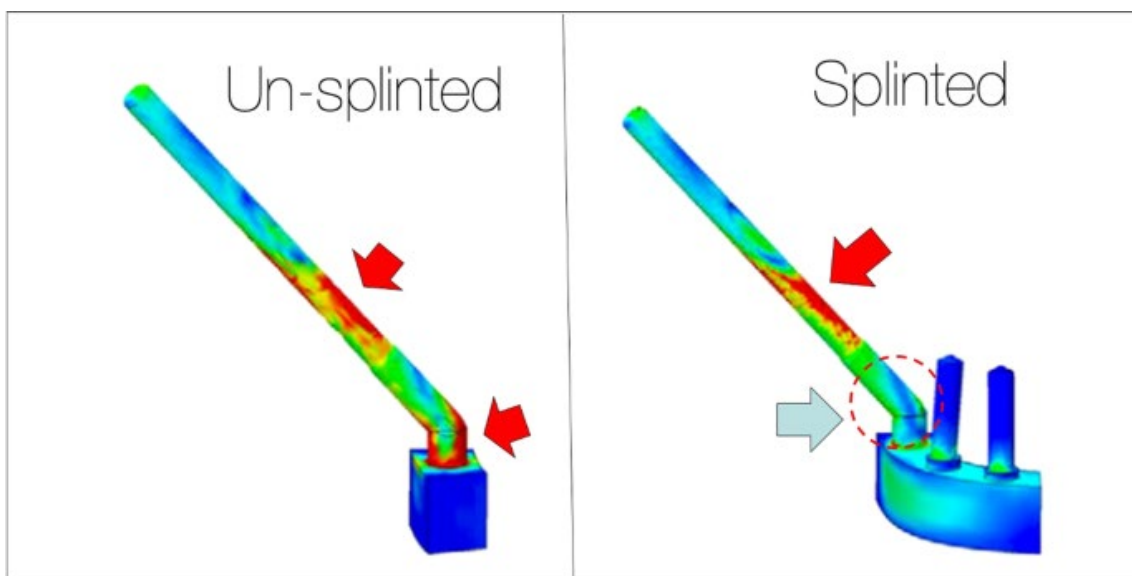


**Fig. 8** - Las flechas indican la tensión dentro del implante cigomático. Reducción significativa de las cargas oclusales, flecha gris, cuando el implante cigomático está ferulizado en cruz (Ujigawa y cols. 2007).

Un estudio realizado por Ishak y cols., (2020) se centra en la evaluación de la magnitud y distribución de la tensión mecánica dentro de la prótesis para diferentes técnicas quirúrgicas. La evaluación se realizó mediante AEF tridimensional bajo cargas oclusales y masetéricas inclinadas simuladas. El AEF se realizó para evaluar los problemas de geometría compleja que no pueden resolverse mediante soluciones analíticas (Ishak y cols., 2020).

La comparación de los valores máximos de tensión de von Mises equivalente generados dentro de la prótesis entre los abordajes intrasinal y extramaxilar. Se observó que la prótesis por vía intrasinal registró un mayor nivel de tensión máxima (290,3 MPa) en un 49,2% aproximadamente que la prótesis por vía extramaxilar (147,4 MPa).

En otras palabras, el nivel de tensión se multiplicó aproximadamente por 2 cuando los implantes cigomáticos se colocaron mediante el método intrasinal (Ishak y cols., 2020).

Sin embargo, la magnitud de la tensión máxima de la prótesis en ambos enfoques se produjo en un lugar similar, alrededor de las conexiones prótesis-pilar en el lado de trabajo (adyacente al punto de aplicación de la carga oclusal). Las regiones mínimamente estresadas aparecían en la porción coronal y en las zonas distales de la prótesis (Ishak y cols., 2020).

Desde el punto de vista biomecánico, el aumento del área total de contacto disminuirá en consecuencia la magnitud de la tensión (Wyatt, 1998). Esto se apoya en el hecho de que la tensión normal o de cizallamiento se relaciona proporcionalmente con la carga aplicada e inversamente con el área de la sección transversal. Estudios anteriores han puesto de manifiesto que el diseño de implantes con porción roscada (superficie de contacto elevada) favorece una mayor estabilidad primaria debido a la distribución uniforme de la tensión y a la mínima micromovilidad del sistema de implantes (Wyatt, 1998).

### **2.5.8 Estabilización tetracortical**

Esto se refiere a la estabilización del implante cigoma tanto en su plataforma como en su porción apical. Por lo tanto, la plataforma del implante cigoma está estabilizada por el hueso cortical de la pared lingual de la cresta residual maxilar y el suelo cortical del seno maxilar. El ápice del implante vuelve a estar estabilizado por los huesos corticales del techo del seno maxilar, así como por la pared cortical lateral del hueso cigoma (Bedrossian y cols., 2023; Romeed y cols., 2015).

Los datos apoyan que es esencial la estabilización tetracortical del implante cigomático por parte del cirujano, así como la ferulización cruzada de los implantes cigomáticos con los implantes premaxilares por parte del equipo restaurador (Bedrossian y cols., 2023; Romeed y cols., 2015).

### **2.5.9 Estabilización bicortical**

Esto se refiere a que la plataforma del implante cigomático no tiene soporte óseo del maxilar. El ápice del implante es el único punto de contacto hueso-implante (CHI)

estabilizado por el hueso cortical del techo del seno maxilar, así como por la pared cortical lateral del hueso cigoma (Bedrossian y cols., 2023; Romeed y cols., 2015).

Las mediciones de la tensión en el hueso cigoma, tanto en los componentes corticales como esponjosos, ilustran claramente el aumento de la magnitud de la tensión en los casos en los que el implante cigoma sólo está estabilizado en su ápice (bicorticalmente) dentro del hueso cigoma. La estabilización del implante de zigoma dentro del hueso cresta maxilar residual reduce significativamente el grado de estrés aplicado al hueso del zigoma en el implante de zigoma estabilizado bicorticalmente (Bedrossian y cols., 2023; Romeed y cols., 2015).

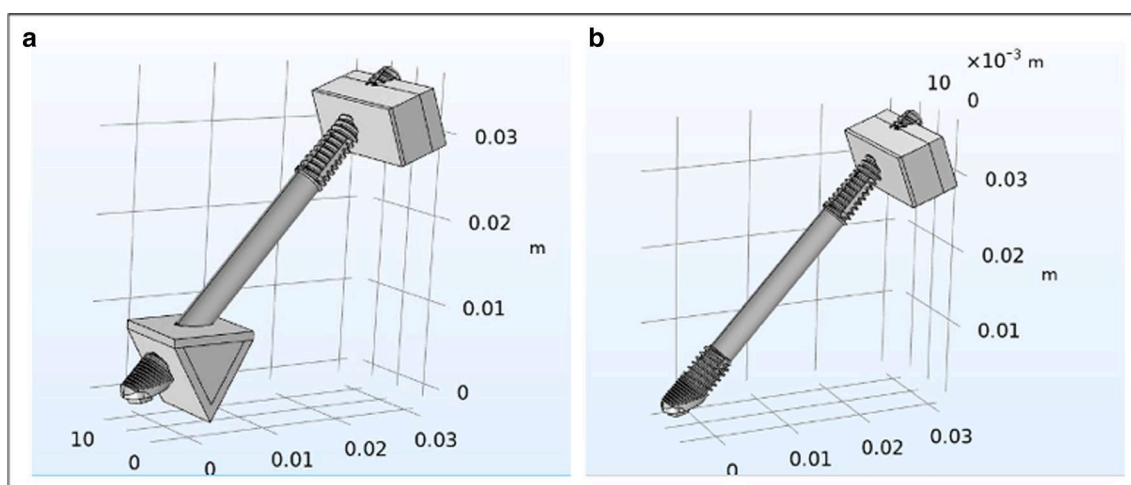


**Fig. 9** - (a) Los modelos quirúrgicos estabilizados cuatricorticalmente y (b) bicorticalmente (Bedrossian y cols., 2023).

## 2.6 TOMA DE DECISIONES EN LOS IMPLANTES CIGOMÁTICOS

La remodelación ósea fisiológica puede estar asociada a una densidad ósea maxilar genéticamente baja y se observa a un ritmo más rápido y profundo que en la mandíbula. Esto puede verse acelerado por la reabsorción inducida por traumatismos que hace que el hueso disponible en las zonas anterior y posterior no aumente para permitir la colocación de implantes (Aalam y cols., 2023).

Un maxilar atrófico severo se definiría como una arcada o cuadrante que ha sufrido una reabsorción ósea significativa, a menudo combinada con un agrandamiento del seno maxilar que produce una altura y/o anchura de la cresta insuficiente para permitir la colocación de implantes sin injertos óseos para crear volumen (Aalam y cols., 2023).

### 2.6.1 Clasificación de Bedrossian

Los posibles sitios óseos disponibles se identifican utilizando la clasificación Bedrossian (2008) del maxilar para identificar las zonas en las que se pueden colocar los implantes (Bedrossian y cols., 2008). La clasificación de Bedrossian da una pauta para adaptar el abordaje quirúrgico; esto se hace revisando la radiografía panorámica del paciente. El maxilar se divide en diferentes zonas; Zona I - entre canino y canino, Zona II - bicúspides, Zona III - molares y Zona IV - cigoma. La presencia o ausencia de hueso en estas zonas determina el abordaje quirúrgico que debe adaptarse (Bedrossian y cols., 2008).

Esto tiene en cuenta la relación entre el alvéolo, el suelo nasal y la posición y el tamaño del seno maxilar. Con la clasificación de zonas de Bedrossian, cuando existe un hueso adecuado que puede acomodar la colocación de implantes sin aumento, el tratamiento seguiría estas directrices. Un volumen óseo adecuado en las zonas I, II y III se trataría con 4-8 implantes colocados en dirección axial (no angulada). Cuando el hueso de la zona III es inadecuado, pero hay suficiente volumen en las zonas I y II, se seguiría el enfoque All-on-X con 4-6 implantes colocados en dirección axial o angulada (inclinada) para conseguir la mayor extensión del arco y mejorar la relación A-P. En un maxilar con hueso adecuado solo en las zonas I y IV y volumen insuficiente en las zonas II y III, el tratamiento permitiría colocar de 2 a 4 implantes en la zona I y un implante cigomático bilateral en la zona IV (Candel y cols., 2012). Cuando también hay hueso en la zona III, así como en las zonas I y IV, se pueden colocar implantes pterigoideos en la zona III para aumentar los implantes de las zonas I y IV (Candel y cols., 2012). El hueso inadecuado en las zonas I y II, sin aumento óseo, puede tratarse con implantes cigomáticos bilaterales duales (cuádruples). Cuando la extensión de los implantes cigomáticos en cada cuadrante tiene las plataformas de implantes con una extensión inadecuada y hay suficiente hueso en la zona III, se pueden añadir implantes pterigoideos para aumentar la extensión A-P y permitir la restauración de la arcada (Bedrossian y cols., 2008).

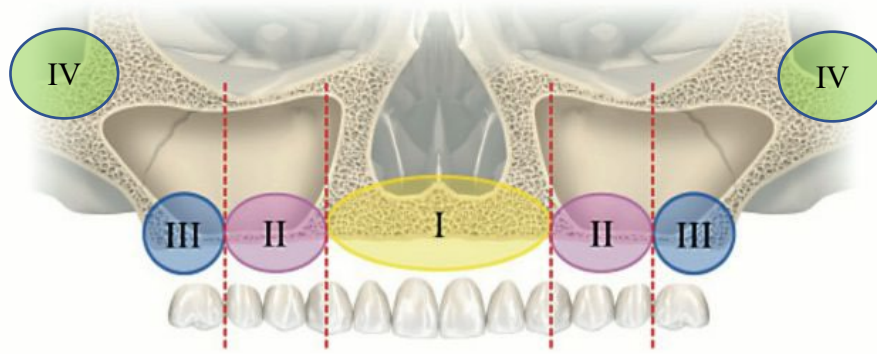


**Fig. 10** - La clasificación de Bedrossian con el maxilar dividido en 4 zonas diferentes (Bedrossian y cols., 2008).

### 2.6.2 Clasificación de Jensen

El uso de la clasificación es estrictamente para la función inmediata basada en sitios óseos corticales específicos en el esqueleto facial para ayudar a los profesionales en el diagnóstico, la planificación del tratamiento y la comunicación interdisciplinaria, así como para reducir el error humano en el manejo del paciente (Jensen, 2014).

La angulación de los implantes tiene muchas ventajas, como el aumento de la longitud del implante, la fijación cortical apical, la estabilización secundaria desde los lados de los implantes y, lo que es más importante, el aumento de la extensión A-P (Jensen y cols., 2014).

Gran parte de la estrategia de inserción de implantes de función inmediata para el maxilar se basa en el compromiso de la pared palatina, incluida la colocación de la pared palatina angulada (el implante permanece dentro de la pared palatina), la colocación transinusal (pared palatina a pared nasal) y la colocación transalveolar bicortical (palatina a bucal) (Jensen y cols., 2012). Si la pared palatina está atrófica o es delgada por el uso prolongado de dentaduras postizas, el hueso paranasal, que casi siempre está presente en todos los estadios de atrofia, puede servir como remanente final de corteza maxilofacial en los extremos de atrofia maxilar (Jensen y cols., 2014).

Esta clasificación establece implícitamente una biomecánica favorable, que incluye el uso de implantes angulados más largos para la estabilización secundaria intraósea (carga lateral de los implantes), una mayor envergadura del arco interimplantario que resulta en un aumento sustancial de la dispersión A-P, y un soporte favorable de la prótesis gracias a la ferulización cruzada del arco (estabilización

secundaria extraósea). La extensión A-P deseable suele ser de 15 mm o más para cada maxilar, pero es difícil de conseguir en todos los pacientes (Jensen, 2014; Jensen y cols., 2012).

En pacientes muy atróficos, el soporte del implante se vuelve más anterior, lo que provoca una disminución de la dispersión A-P y un exceso de voladizo posterior. El soporte óseo periimplantario puede tolerar voladizos largos, pero a pesar de una barra de titanio recomendada de 4x4 mm, la prótesis puede no hacerlo porque existe una relación lineal entre la longitud del voladizo y la extensión anteroposterior relacionada con el aflojamiento de los tornillos. La tensión añadida a la prótesis conlleva un mayor mantenimiento. Por lo tanto, los voladizos deben ser cortos (10 mm o menos) para optimizar el soporte de la prótesis, especialmente si la dispersión A-P es de 10 mm o menos. Cuando esto no sea aceptable en el maxilar, deben colocarse implantes cigomáticos para establecer un soporte molar para una función inmediata (Jensen, 2014; Jensen y cols., 2012).

La decisión de retrasar la carga o aumentar el número de implantes se basa en la suma del par de inserción de los 4 implantes y la extensión anteroposterior, siendo esta última la más importante. La suma mínima sugerida de los valores de torque de inserción es de 120 Ncm, permitiendo un máximo de 50 Ncm para 1 implante cualquiera (Jensen y cols., 2014; Parel y Phillips, 2011). Es más importante que las fijaciones anteriores sean estables que las posteriores, especialmente en el maxilar (Jensen y cols., 2014; Parel y Phillips, 2011). No se ha establecido la separación A-P mínima aceptable para la carga inmediata, pero se recomiendan 10 mm, suponiendo que la separación entre implantes sea óptima (Jensen y cols., 2014; Parel y Phillips, 2011).

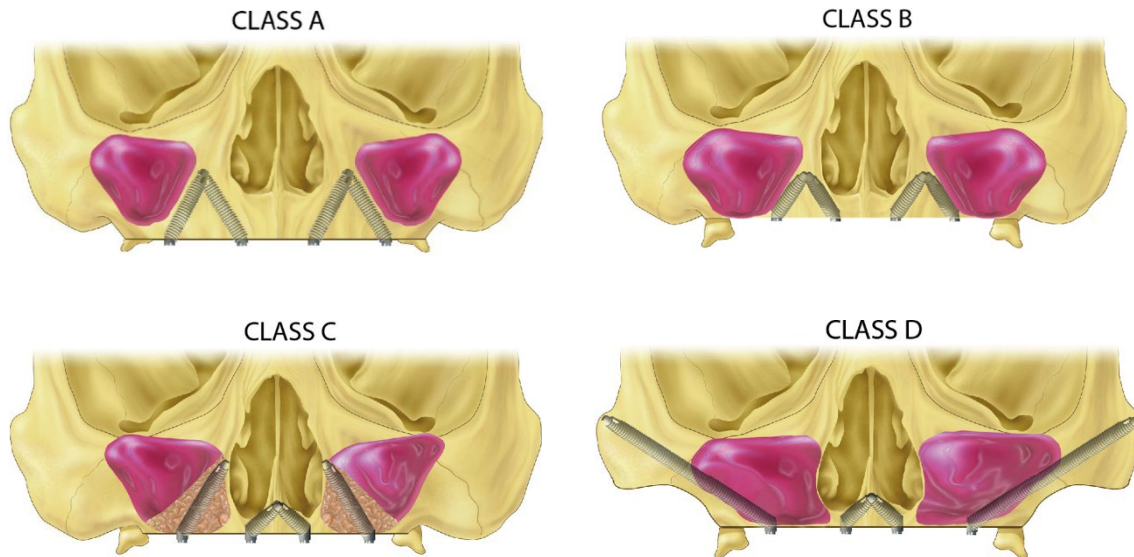


**Fig. 11** - Clasificación de Jensen con 4 posibilidades de tratamiento (Jensen, 2014).

### 2.6.3 Clasificación ZAGA

La clasificación ZAGA oscila entre 0 y 4. Según Aparicio, el 93,8% de los pacientes estudiados tenían una presentación anatómica entre ZAGA 0-3 y sólo el 6,5% de los pacientes tenían una topografía acorde con ZAGA 4 (Aparicio, 2011). Por lo tanto, la estabilización tetracortical debería ser posible en la mayoría de los casos. La plataforma del implante, el ápice del implante y las trayectorias del implante se superponen directamente. La única variable es la concavidad de la pared lateral del seno maxilar, así como la reabsorción palatina del alvéolo maxilar. Este patrón de reabsorción no permite la estabilización de la plataforma del implante en hueso para los casos ZAGA 4 (Bedrossian y cols., 2023).

También es importante discutir el contorno de la prótesis fija (PF), soportada por implantes de cigoma. Algunos clínicos se refieren incorrectamente a que los implantes cigomáticos se colocan "demasiado palatinos", por lo que los orificios de acceso a los tornillos de la PF también son "demasiado palatinos".

Se debe tener cuidado de preservar el alvéolo crestal para permitir la estabilización bicortical de la plataforma de implantes del cigoma. Tanto en la prótesis provisional como en la definitiva, los implantes cigomáticos posteriores deben ir siempre ferulizados en cruz con los implantes premaxilares para conseguir una distribución favorable de la fuerza

bajo cargas funcionales. No se recomienda la carga del implante de cigoma no ferulizado (Bedrossian y cols., 2023).

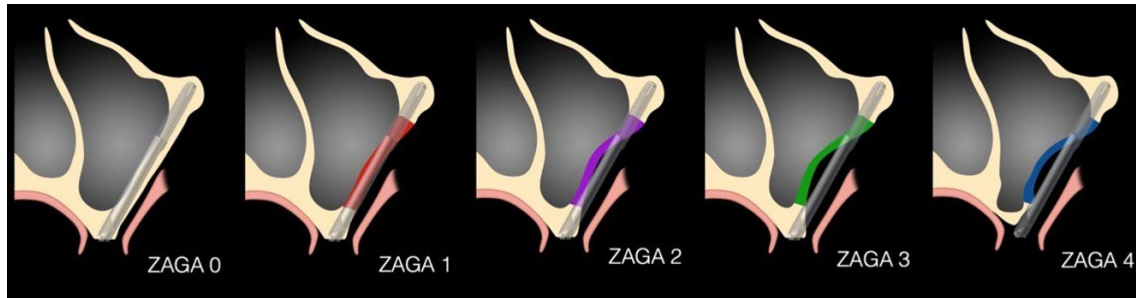


**Fig. 12** - La clasificación anatómica cigomática (Bedrossian y cols., 2023).

#### 2.6.4 Técnica de los cuatro zigomas

Según Brånemark (2004) y Uchida (2001), los puntos de emergencia ideales de los implantes cigomáticos colocados mediante la técnica de los cuatro zigomas se encuentran cerca de los incisivos laterales/caninos para los implantes anteriores y cerca de los segundos premolares/primeros molares para los implantes posteriores (Brånemark y cols., 2004; Uchida y cols., 2001; Pellegrino y cols., 2020).

Debido a la biomecánica específica de los implantes cigomáticos colocados extramaxilarmente, en los que se alcanza poco o ningún anclaje a nivel de la cabeza, pueden encontrarse diferentes grados de estabilidad de los implantes. Ocasionalmente, cuando se prueban individualmente implantes colocados extra sinusalmente, puede detectarse una ligera movilidad sin otros signos patológicos asociados. Esa movilidad proviene del módulo elástico del hueso cigomático de anclaje cuando se dobla por una fuerza aplicada a distancia. El movimiento no debe ser rotacional, y desaparecerá cuando los implantes se ferulicen juntos. Un movimiento rotacional debe considerarse un signo de fracaso del implante (Aparicio y cols., 2014).

En la opinión de Hung (2017) el abordaje de los implantes cigomáticos cuádruples necesita 2 regiones en un cigoma para colocar los implantes cigomáticos, y el ápice del implante mesial debe colocarse por encima del implante distal. Por lo tanto, la zona superior se diseñó para colocar el implante mesial, y las zonas media o inferior se diseñaron para colocar el implante distal. En la zona superior, el punto A3 proporcionaba el mayor CHI, y en las zonas media o inferior, el punto B1, el punto B2 y el punto C1 eran puntos potenciales que proporcionaban CHI elevados para la colocación del implante

cigomático. Sin embargo, la colocación del segundo implante cigomático en una región inadecuada aumenta el riesgo de intrusión del implante en la fosa infratemporal (Hung y cols., 2017).

Para obtener los CHI más grandes evitando al mismo tiempo las complicaciones de intrusión, los resultados sugirieron que la región posterosuperior (Punto A3) y el centro del cigoma (Punto B1) eran los lugares óptimos para la colocación de implantes cigomáticos cuádruples (Hung y cols., 2017).

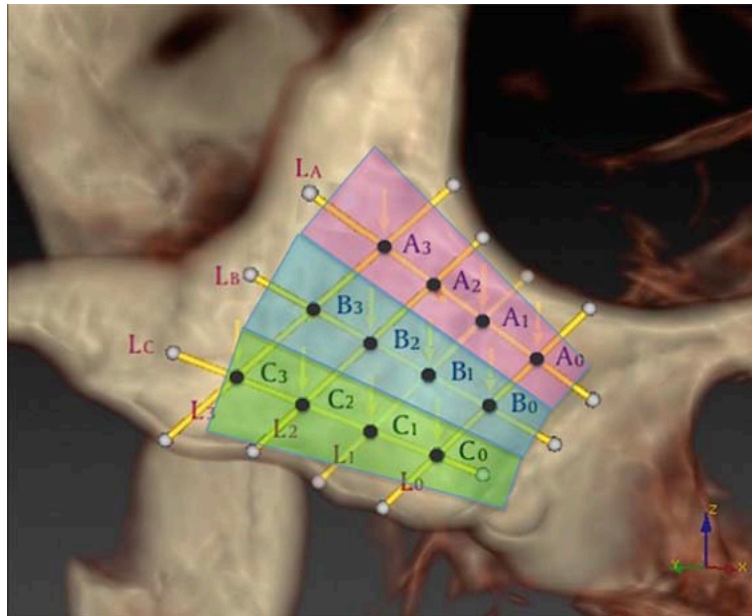


**Fig. 13** - El cigoma fue dividido en las partes superior, media e inferior por LA, LB y LC y las regiones atravesadas por LA, LB y LC fueron representadas como las regiones superior (rosa), media (azul) e inferior (verde) del cigoma (Hung y cols., 2017).

Recientemente se ha introducido una herramienta de tratamiento para simplificar la planificación del posicionamiento apical del implante cigomático en relación con el soporte maxilar necesario: el índice de la zona ósea cigomática. Con este índice se puede prever y planificar el apoyo al maxilar posterior con el ápice del implante enganchado al hueso cigomático inferior en las secciones C y D. Además, si existe la necesidad de un implante cigomático para apoyar el maxilar anterior, el ápice puede planificarse para que encaje en la cara superior del hueso cigomático, secciones A y B (George, 2023).

El uso de múltiples implantes cigomáticos para soportar una prótesis fue sugerido por Bothur (Bothur y cols., 2003). A pesar de las numerosas publicaciones con resultados positivos a largo plazo, no existen ensayos controlados aleatorizados que comparen su

eficacia clínica con medios alternativos para rehabilitar a pacientes con maxilares edéntulos atróficos (Aparicio y cols., 2014).

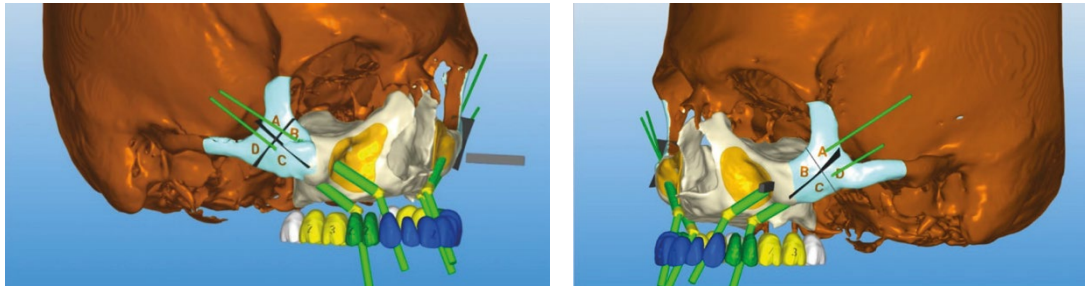


**Fig. 14** - Diagrama para ilustrar ejemplos de planificación utilizando el índice de la zona del hueso cigomático en un caso de implante cigomático cuádruple (George, 2023).

## 2.7 INDICACIONES Y CONTRAINDICACIONES

### 2.7.1 Indicaciones

A lo largo de los años, las indicaciones de los implantes cigomáticos han evolucionado hasta incluir la reabsorción maxilar posterior grave con hueso insuficiente para la colocación de implantes convencionales, con o sin tratamiento previo fallido con implantes o injertos óseos. Otras indicaciones descritas en la literatura incluyen pacientes con deficiencia maxilar secundaria a paladar hendido, tratamiento convencional con implantes fallido, injerto óseo fallido o negativa a someterse a un injerto óseo. Los pacientes sometidos a maxilectomía completa o parcial secundaria a resecciones tumorales benignas o malignas siguen siendo uno de los principales usos reportados para los implantes cigomáticos, ayudando en el soporte de obturadores y/o prótesis removibles (Li y cols., 1996; Stiévenart y Malevez 2010; Peñarrocha y cols., 2005).

La implantación del cigoma es ventajosa para las regiones no centradas dentro de un campo de radiación porque la remodelación de la médula ósea no se produce cuando la dosis de radiación no supera los 50 Gy (Granström, 2005). Los huesos irradiados sí experimentan reparación y neovascularización, pero estos cambios requieren un mínimo de 6 meses, lo que indica que debe seguirse un periodo de espera postoperatorio (Granström, 2005). En general, el uso de una prótesis soportada por implantes de cigoma es una buena alternativa para los pacientes en los que está contraindicado el uso de un colgajo libre microvascular (Qu y cols., 2016).

En los casos sin hueso maxilar anterior adecuado, se introdujo el concepto de implante cigomático cuádruple, en el que se colocan bilateralmente dos implantes cigomáticos (dos a cada lado) y se ferulizan, lo que proporciona una distribución anteroposterior aceptable y una biomecánica adecuada (Stiévenart y Malevez 2010).

### **2.7.2 Contraindicaciones**

Las contraindicaciones suelen incluir cualquier contraindicación general para el procedimiento quirúrgico y la anestesia, como pacientes inmunodeprimidos, pacientes embarazadas, diabetes no controlada, sinusitis aguda y adicción a las drogas o al alcohol (Alterman y cols., 2021). Además, la radiación en la región de la cabeza y el cuello con más de 70 Gy y el tratamiento médico con bifosfonatos también figuran como contraindicaciones generales. Las contraindicaciones locales notificadas son la apertura bucal limitada (< 30 mm), la sinusitis maxilar aguda, la sinusitis maxilar crónica con obstrucción del complejo osteomeatal y cualquier anomalía del hueso cigomático. Los fumadores y las enfermedades médicas que pueden controlarse antes del procedimiento se consideraron contraindicaciones relativas (Polido y cols., 2023; Chana y cols., 2019).

## **2.8 CONSIDERACIONES QUIRÚRGICAS**

Según el protocolo original, la cirugía se realizó bajo anestesia general con intubación nasal. En cada paciente se utilizó un tapón sellador de garganta y una sonda gástrica. A continuación, se infiltró anestesia local con inyecciones de lidocaína con epinefrina (1:50.000) para bloquear los nervios alveolares superiores (posterior, medio y anterior) y los nervios palatinos (posterior y nasopalatino). La epinefrina ayudó a crear una hemostasia regional. Se recomendó encarecidamente la cirugía hospitalaria para esos pacientes (Aparicio y cols., 2014).

Recientemente, el protocolo se ha simplificado con el uso de anestesia local y sedación oral o intravenosa. Este procedimiento se recomienda si el cirujano tiene experiencia y se prevé que el procedimiento dure <1,5 h (Aparicio y cols., 2014).

En la técnica original se utilizaba una incisión vestibular tipo Lefort I, el protocolo actual intenta exponer la zona mediante una incisión media crestal e incisiones verticales liberadoras a lo largo de la parte posterior de la cresta infra-zigomática y anterior al lecho quirúrgico (Stella y Warner, 2000). Siempre se identifica la cresta vertical/borde anterior

del arco cigomático. Un segundo punto de referencia es el borde orbitario lateral, ya que debe evitarse la interferencia con la órbita (Stella y Warner, 2000). Posteriormente, se levanta un colgajo mucoperióstico, exponiendo la parte central/posterior del complejo cigomático, la pared lateral del seno maxilar y la cresta alveolar. Se coloca un retractor para facilitar la visibilidad y proteger los tejidos blandos. Se utiliza un indicador para determinar la dirección de perforación y el punto de inicio en la cresta, normalmente la región del segundo premolar/primer molar (Stella y Warner, 2000).

Se crea una ventana ósea, de unos 10 mm de ancho, en la cara lateral del seno maxilar siguiendo la trayectoria deseada del implante cigomático desde el suelo del seno hasta la parte superior de la cavidad sinusal. La membrana sinusal se diseca cuidadosamente, se libera de las paredes sinusales y se coloca en la cavidad sinusal (Aparicio y cols., 2014). Se utiliza una serie de fresas para penetrar en el proceso alveolar y el hueso cigomático. La longitud estimada del implante cigomático se selecciona utilizando un medidor de profundidad. El implante cigomático autorroscante se coloca con la ayuda de un motor o manualmente, utilizando una montura de implante. Hay que tener cuidado de no agrandar el orificio palatino durante la inserción, lo que es especialmente importante en pacientes con hueso alveolar/basal fino. Si es necesario, se pueden colocar partículas óseas extraídas localmente alrededor del implante para reducir el posible espacio entre la superficie del implante y el hueso palatino (Aparicio y cols., 2014).

Una distancia interarco limitada, sea cual sea la causa, impide esta técnica al limitar la angulación adecuada de las brocas largas. El acceso limitado puede darse en pacientes con trastornos temporomandibulares, dientes naturales opuestos o prótesis fijas, y/o pacientes traumatizados que presentan cicatrices en los tejidos blandos (Stella y Warner, 2000).

Se coloca un tornillo de cierre sobre el implante y se cierra el colgajo mucoperióstico. La conexión de los pilares suele realizarse tras un periodo de cicatrización de 4 a 6 meses, utilizando pilares estándar o pilares multiunitarios rectos/angulados.

Se han realizado algunas modificaciones al protocolo original en pacientes con concavidades bucales pronunciadas en la cara lateral del seno maxilar, el uso de la técnica original con un trayecto intrasinusal da lugar a una emergencia palatina excesiva de la cabeza del implante. Esto suele dar lugar a un puente dental voluminoso en la cara

palatina, lo que a veces provoca molestias y problemas de higiene oral y del habla (Al-Nawas y cols., 2004; Boyes-Varley y cols., 2003).

Con el fin de utilizar un enfoque anatómico y más orientado a la prótesis, la técnica original se ha modificado permitiendo una vía extrasinusal para los implantes cigomáticos (Boyes-Varley y cols., 2003; Maló y cols., 2008; Peñarrocha y cols., 2007; Stella y Warner, 2000). El abordaje zigomático guiado por la anatomía (ZAGA) (Aparicio y cols., 2008; Aparicio y cols., 2010), una modificación de la técnica de implante zigomático original que se centra en las diferencias anatómicas interindividuales. La preparación del lecho del implante se guía ahora por la anatomía de la zona, y no se abre una ventana o ranura inicial en la pared lateral del seno maxilar. Así, dependiendo de la relación entre el contrafuerte cigomático y el punto de inicio intraoral del implante cigomático, el recorrido del cuerpo del implante variará de ser totalmente intrasinusal a ser totalmente extrasinusal (Aparicio y cols., 2014).

## **2.9 CONSIDERACIONES PROTÉSICAS**

El implante cigomático tiene una mayor tendencia a doblarse bajo cargas horizontales, esto está relacionado con dos factores: la gran longitud aumentada de los implantes y el hecho de que en algunas circunstancias hay un soporte óseo limitado o inexistente en la cresta alveolar maxilar. En consecuencia, estos implantes deben conectarse rígidamente a implantes convencionales estables en el maxilar anterior (Aparicio y cols., 2014).

El procedimiento protésico sigue los protocolos convencionales. Dado que la emergencia del implante cigomático suele estar entre 10 y 15 mm medial a la cresta, el puente debe diseñarse para permitir una higiene oral adecuada en la zona. Originalmente, se recomendaba un procedimiento en dos fases para la técnica del cigoma (Brånemark y cols., 2004). Sin embargo, con el tiempo, el protocolo original se ha sustituido por la carga inmediata. Varios informes clínicos han mostrado buenos resultados tras la carga inmediata/temprana de implantes cigomáticos en el maxilar totalmente edéntulo (Aparicio y cols., 2010; Bedrossian y cols., 2006; Chow y cols., 2006; Davo y cols., 2007).

La prótesis provisional es extremadamente importante para los pacientes tratados con implantes cigomáticos. Los objetivos de dichas prótesis son proporcionar una estética aceptable, así como una función masticatoria y del habla durante el proceso de

cicatrización, y también explorar la posición oclusal y estética de los dientes y los sustitutos de los tejidos blandos (Bedrossian y cols., 2006; Chow y cols., 2006; Davo y cols., 2007). La opción habitual tanto para las prótesis provisionales como para las definitivas es desarrollar una estructura atornillada que pueda retirarse fácilmente en caso de complicaciones. Para ello, el cirujano debe analizar el tipo de reabsorción en relación con la dentición opuesta y proporcionar una cabeza de implante con un tipo de pilar adecuado en longitud y angulación. La angulación del pilar será crítica, no solo para posicionar la emergencia del tornillo en las superficies palatinas/oclusales, sino también para determinar el grosor final de la prótesis (Aparicio y cols., 2014).

La colocación precisa a mano alzada de implantes cigomáticos, teniendo en cuenta el posicionamiento prostodóncico preferido, se considera difícil. En ausencia de referencias anatómicas que sirvan de guía, resulta complicado colocar dos implantes cigomáticos en el lado del defecto debido al largo recorrido de la fresa (Vosselman y cols., 2021).

Para maximizar el resultado protésico estético, debe evaluarse el potencial de visibilidad de la transición entre la prótesis y el tejido blando de la cresta maxilar edéntula sin la dentadura maxilar colocada, tanto en el maxilar anterior como en el corredor bucal (Bedrossian y cols., 2008).

Tanto la experiencia clínica como los modelos teóricos sugieren que la carga axial eficaz del implante cigomático se consigue mediante la estabilización cruzada de las arcadas con un marco de férula rígido utilizando al menos 4 implantes con una extensión anteroposterior adecuada (Parel y cols., 2001).

Para minimizar la complicación de las diversas angulaciones, la cabeza del implante cigoma se ha diseñado para permitir la fijación de la prótesis en un ángulo de 45° con respecto al eje largo del implante. Esto permite mantener los puntos de acceso a los tornillos relativamente paralelos a lo largo de toda la restauración. Para evitar cargas fuera del eje potencialmente dañinas para estos implantes y los implantes estándar adicionales, es importante utilizar una barra rígida o un conjunto de colado para unir los implantes a lo largo de la arcada (Parel y cols., 2001).

## 2.10 COMPLICACIONES

En una revisión anterior sobre la supervivencia de los implantes cigomáticos se observó que la mayoría de los fracasos se detectaban 6 meses después de la cirugía (Chrcanovic y Abreu, 2013), con una elevada tasa de supervivencia acumulada (TSA) a los 12 años. El uso de implantes cigomáticos presenta varias ventajas, como un acortamiento considerable del tiempo de tratamiento, una disminución de la morbilidad porque la técnica elimina la necesidad de un injerto (y, por tanto, una zona donante de injerto), un menor número de implantes necesarios para soportar prótesis fijas y una disminución de los costes de los pacientes (Chrcanovic y cols., 2016).

Hubo una tasa de supervivencia inferior estadísticamente relevante de los implantes cigomáticos con protocolos de carga retardada que cuando los implantes cigomáticos se cargaron inmediatamente (Chrcanovic y cols., 2016).

Entre las complicaciones quirúrgicas notificadas, la infección sinusal constituyó la principal complicación, con un 65,5%, seguida de traumatismo de partes blandas, mucositis, hematoma y parestesia (8%, 7%, 5% y 4% respectivamente). La no osteointegración constituyó el 3% de todas las complicaciones notificadas. La periimplantitis, la comunicación oroantral, la fístula y la perforación de la membrana sinusal constituyeron el 2%, 1,2%, 1,1% y 1% de las complicaciones notificadas, respectivamente. La penetración intracerebral, la aspergilosis, la rinosinusitis, la otitis, la penetración en la cavidad orbitaria y el dolor persistente representaron en conjunto el 2,2% de todas las complicaciones quirúrgicas relacionadas con implantes cigomáticos notificadas. Sin embargo, estos problemas posquirúrgicos notificados podrían estar infravalorados, ya que muchos autores podrían haber restado importancia y no haber mencionado estas complicaciones (Gebretsadik, 2021).

### 2.10.1 Sinusitis

La colocación del implante cigomático puede dar lugar a una reacción a cuerpo extraño, en forma de inflamación de la membrana sinusal, puede ser desencadenada por una superficie de implante tratada contra otra acabada, una comunicación oroantral producida por perforación de la membrana de Schneider, y una falta de osteointegración de la parte coronal del implante. Por lo tanto, parece que la vía cigomática, así como el lugar de la antrostomía podrían ser un factor irritante de la mucosa y/u obstructor del

complejo nasal con la consiguiente sinusitis o influir en la preservación del sellado óseo/mucoso alrededor del implante impidiendo o favoreciendo el paso bacteriano (Chrcanovic y cols., 2016).

En la mayoría de los estudios revisados, la sinusitis es la complicación más frecuentemente observada, con una prevalencia media de 39 implantes cigomáticos de cada 100 colocados (Gebretsadik, 2021). Otros autores también la consideran la complicación más relevante, con un 19,4% de casos (Becktor y cols., 2005) y con un 5,2% (Chrcanovic y cols., 2016). Esta revisión ha revelado una proporción muy elevada (65,5%) de infecciones sinusales.

Las grandes discrepancias en los resultados obtenidos por Becktor y cols. (2005) pueden deberse, según el autor, a la dificultad para mantener una higiene óptima en la emergencia palatina posterior; a la movilidad transversal producida por las fuerzas funcionales cuando falta osteointegración y contacto hueso-implante a nivel marginal; y al diseño interno del implante, que puede producir una comunicación oroantral. Sin embargo, la técnica extra sinusal permite una emergencia más favorable del implante y facilita un adecuado mantenimiento higiénico de la zona. En cuanto al diseño del implante, algunos autores mencionan que, en estudios posteriores, las tasas reportadas sobre esta complicación no son tan elevadas, por lo que son necesarios estudios más concluyentes en esta área. Otro hecho relevante que debe ser considerado es la presencia de sinusitis antes de la cirugía (Chrcanovic y cols., 2016; Becktor y cols., 2005; Gebretsadik, 2021). Por último, el desarrollo de sinusitis puede aparecer varios años después de la instalación del implante (Mommaerts, 2019; Tzerbos y cols., 2016).

### **2.10.2 Perforación de la membrana sinusal y comunicación oroantral**

El abordaje sinusal a través de una ventana ósea con rotura o remoción parcial de la membrana sinusal es controvertido. El acceso que permite la visión y la irrigación durante la inserción del implante está justificado (Filho y cols., 2016).

La comunicación oroantral (COA) es una comunicación anormal entre el seno maxilar y la cavidad oral. Puede ser el resultado de diferentes procesos patológicos y traumatismos. Las complicaciones más frecuentes de los procedimientos quirúrgicos orales que implican posteriormente la perforación del seno maxilar incluyen el desplazamiento de dientes, raíces, implantes dentales o fragmentos de instrumentos al seno y el traumatismo no intencionado que crea la comunicación entre la cavidad oral y

el seno durante la cirugía del maxilar posterior. Esta revisión informó de un 1% de perforación de la membrana sinusal y un 1,2% de comunicación oroantral (Bothur y cols., 2015).

### **2.10.3 Fenestración de la mucosa alveolar**

En casos con reabsorción alveolar severa, incluso en el pilar cigomático maxilar, puede ocurrir la fenestración de la mucosa alveolar, creando una retracción de la mucosa con exposición de las roscas de los implantes. Si es posible, la fijación debe ser mantenida dentro del seno maxilar, preservando el proceso cigomático, una reparación anatómica importante para el tratamiento de complicaciones y pérdida de implantes cigomáticos. Este detalle es más importante cuando el paciente presenta una cresta con poca pérdida ósea en altura, pues la inserción muscular del surco profundo está más alejada, resultando en retracciones gingivales. En casos de atrofia maxilar, donde la inserción muscular se mantiene cerca de la cresta, las fenestraciones son protegidas, como en pacientes mutilados sin porción alveolar y el implante es colocado con gran fenestración. El tratamiento de esta complicación tardía es impracticable y la mayor dificultad es el control de la placa bacteriana, que es más difícil que en situaciones convencionales (Filho y cols., 2016).

### **2.10.4 Emergencia palatina de fijaciones**

Los intentos de cambiar los protocolos, mediante abordajes bucales, cambio en el diseño de los implantes, cambio de la inclinación de la cabeza del implante o uso de nuevos intermediarios, tienen como objetivo optimizar la rehabilitación, tanto fonética como biomecánicamente. Maxilares con gran concavidad bucal y atresia transversal limitan los resultados obtenidos en estas técnicas. En situaciones favorables, con hueso suficiente, estos cambios técnicos ofrecen poco beneficio en comparación con el protocolo original, ya que ambos se realizan en situaciones de buen pronóstico. En casos de deformidades faciales y grandes atrofas, los abordajes bucales son interesantes, ya que no existe la posibilidad de anclaje alveolar. Estos son casos límite, donde no existe una mejor opción de tratamiento, aunque considerando los riesgos. En los casos convencionales, el anclaje alveolar es muy importante y debe ser considerado (Filho y cols., 2016).

### **2.10.5 Mucositis y periimplantitis**

La mucositis está directamente relacionada con la aparición de sinusitis, favorecida por la falta de osteointegración, la falta de contacto entre el implante y la cresta ósea, la infección superficial y la falta de cicatrización de los tejidos blandos. Debido a que los tejidos periimplantarios tienen una menor capacidad de reacción frente a la acumulación de biofilm oral en comparación con los tejidos periodontales, la enfermedad periimplantaria es altamente prevalente entre los pacientes implantológicos (Gebretsadik, 2021). La mucositis periimplantaria es la primera fase de la periimplantitis. El resultado obtenido por Chrcanovic y cols. (2016) reveló una prevalencia del 9% de mucositis y periimplantitis.

Los cambios periimplantarios pueden aparecer en cualquier implante, pero en los implantes cigomáticos existen algunas diferencias importantes que deben tenerse en cuenta. En cuanto al tipo de mucosa, dos aspectos son importantes: el volumen de la mucosa (desde el margen gingival hasta la cresta alveolar) y su naturaleza. La condición ideal es la colocación de intermedios en mucosa queratinizada y la emergencia palatina contribuye en este caso. Es importante estimar la disponibilidad de la mucosa masticatoria. Encontrada su escasez, el acceso debe incluir una incisión más palatina, que permita un reposicionamiento más bucal de la sutura y, consecuentemente, mejorar las condiciones del tejido periimplantario. Cuando la cabeza del implante está posicionada palatalmente, o hay un gran volumen de mucosa queratinizada, la incisión debe ser aplicada en bucal (Filho y cols., 2016).

### **2.10.6 Traumatismos de tejidos blandos**

Las lesiones de partes blandas como hematomas y laceración labial son las terceras complicaciones más comunicadas con un 8%. Probablemente la incidencia sea mayor, ya que muchos autores no la mencionan como complicación, posiblemente debido a sus manifestaciones clínicas menos alarmantes, al ser autolimitadas, y asociadas al postoperatorio. Por último, no sería una complicación exclusivamente ligada a la rehabilitación con implantes cigomáticos (Tzerbos y cols., 2016).

También se han observado laceraciones labiales tras la intervención, ya que la limitada apertura bucal y los taladros largos podrían dañar los labios sin la protección adecuada. Los pacientes con dentición maxilar inferior o aperturas bucales pequeñas

deben saber que el procedimiento de fresado puede ser más complicado que para los pacientes edéntulos (Chrcanovic y cols., 2016).

### **2.10.7 Hematoma**

Aunque los derrames sanguíneos que infiltran los tejidos superficiales (equimosis) y las acumulaciones sanguíneas circunscritas (hematomas) no son frecuentes tras la cirugía de implantes, los procedimientos largos y complejos, la falta de cumplimiento por parte del paciente de las instrucciones recibidas para el postoperatorio inmediato (aplicación de bolsas de hielo, compresión, taponamiento y dieta líquida fría), la fragilidad de los vasos, especialmente típica en pacientes de edad avanzada, y la no interrupción del tratamiento antiplaquetario antes de la cirugía pueden favorecer la aparición de equimosis y hematomas (Annibali y cols., 2012). Según Annibali y cols., (2012), el 5% de las complicaciones fueron hematomas, siendo el cuarto tipo de complicación más frecuentemente reportada (Annibali y cols., 2012).

### **2.10.8 Parestesia**

En una revisión sistemática realizada por Chrcanovic y cols., (2016), se reportaron 15 casos de parestesia por afectación de los nervios infraorbitario y cigomático facial, sin embargo, en la mayoría de los casos revisados, la parestesia remite entre las 3 y 8 semanas postintervención. La parestesia constituyó el 4% de todas las complicaciones notificadas en esta revisión. Para Bedrossian (2010) y Aparicio y cols., (2006), la parestesia se considera la complicación más frecuente, con una prevalencia del 5,4% y el 4,6%, respectivamente.

Dado que el nervio cigomático se proyecta a la piel alrededor de la zona cigomático temporal, podría producirse un trastorno de la sensibilidad de la piel malar (Xu y cols., 2017). Nkenke y cols., (2003) realizaron un análisis histológico en el plano de la dirección prevista para la instalación del implante. En 19 de 30 especímenes se encontró el nervus zygomaticofacialis. También predijeron que podían producirse lesiones del nervio cigomático durante la implantación (Nkenke y cols., 2003).

La incidencia puede variar, siendo una complicación estrechamente ligada a la pericia del cirujano y a la disciplina del equipo quirúrgico (Bedrossian, 2010; Chrcanovic y cols., 2016).

### **2.10.9 No osteointegración**

La falta de osteointegración se diagnostica en la fase II de cirugía o restauración, cuando se carga el implante. Es una de las peores complicaciones, ya que inevitablemente provoca la pérdida del implante. Las principales causas de la falta de osteointegración incluyen una capacidad de cicatrización reducida, una carga oclusal inmediata mal indicada durante la osteointegración, el incumplimiento del protocolo previsto, una cantidad o calidad ósea insuficiente, la falta de estabilidad primaria, errores técnicos durante la cirugía y, especialmente, el sobrecalentamiento del hueso durante la preparación del lecho del implante. La no osteointegración supuso el 3% de todas las complicaciones notificadas (Gebretsadik, 2021).

### **2.10.10 Fístula**

La frecuencia de esta complicación varía según la literatura entre el 1,5 y el 7,5% excepto en el caso de Becktor y cols., (2005) que alcanzó el 29%.

Se cree que el problema de la fístula oroantral está causado por el sellado débil entre el hueso alveolar delgado y comprometido y la cabeza del implante, que puede dar lugar a una comunicación entre el seno maxilar y la cavidad oral. Esto afectó a la función de carga, dando lugar a la movilidad transversal de la parte coronal larga del implante cigomático (Chrcanovic y cols., 2016). Deben evitarse las preparaciones de avellanado extensas y la fractura de la delgada cresta alveolar durante la instalación del implante (Aparicio y cols., 2010; Chrcanovic y cols., 2016).

Al cabo de muchos meses, es posible observar en algunos casos infección o fístula cutánea en la zona cigomático-orbitaria. El uso de dos o tres implantes cigomáticos en cada lado aumenta estas complicaciones porque la altura y el grosor del hueso cigomático son pequeños y la distancia entre el implante y la órbita es muy corta (Takamaru y cols., 2016).

### **2.10.11 Complicaciones protésicas**

En un estudio de Brennand y cols. (2023) la supervivencia media de la prótesis fue del 94% a los 76 meses de seguimiento medio. Los principales subgrupos de fracaso fueron la pérdida del diente protésico, el astillamiento o la fractura del material de

recubrimiento, la fractura del pilar o del tornillo y el aflojamiento del pilar o del tornillo (Brennand y cols., 2023).

La fractura del armazón, la fractura de la superficie oclusal y los problemas estéticos también pueden considerarse complicaciones protésicas (Chrcanovic y cols., 2016).

### **2.10.12 Otras complicaciones**

Se han comunicado otras complicaciones quirúrgicas poco frecuentes. Del mismo modo, la penetración intracerebral, la aspergilosis, la rinosinusitis, la otitis, la penetración en la cavidad orbitaria y el dolor persistente representaron en conjunto el 2,2 % de todas las complicaciones quirúrgicas relacionadas con implantes cigomáticos notificadas en esta revisión (Bothur y cols., 2015; Mavriqi y cols., 2021).

La infección recurrente, el crecimiento excesivo de tejido blando alrededor del implante que dificulta la conexión del pilar, la sobrecarga de la palanca en maxilectomías extensas y la recidiva tumoral son factores que pueden contribuir a una menor tasa de supervivencia de los implantes cigomáticos utilizados en pacientes con maxilares resecados (Landes, 2005). El tejido blando que rodea la cabeza del implante y el pilar puede crear bolsas periimplantarias profundas, predisponiendo el lugar a infecciones (Landes, 2005).

Algunos autores informaron de penetración intracerebral accidental del implante o incluso penetración en la cavidad nasal (Reychler y Olszewski, 2010; Mavriqi y cols., 2021). La penetración accidental del implante en la órbita es una de las complicaciones más graves tras la colocación cigomática (Krauthammer y cols., 2016).

También se ha informado de fractura del suelo orbitario durante la colocación del implante cigomático (Tran y cols., 2019). Esta complicación puede producir hinchazón periorbitaria derecha grave, hematoma conjuntival, lesión del músculo extraocular que causa diplopía al elevar manualmente el párpado e incapacidad para abrir el ojo (Tran y cols., 2019).

Cuando hay invasión de la cavidad orbitaria, se puede determinar fibrosis o empuje del fragmento óseo hacia la cavidad orbitaria, por lo que el desplazamiento de los músculos extraoculares determina diplopía y reducción del movimiento del ojo. El hematoma y la fibrosis que rodean el músculo oblicuo inferior pueden desaparecer

después de 1 mes, en algunos casos es posible una fibrosis extensa y persistente que rodea el músculo oblicuo inferior (Mavriqi y cols., 2021).

La radioterapia también puede afectar al éxito de los implantes cigomáticos y mermar la capacidad de reparación ósea (Chrcanovic y cols., 2016).

## **2.11 INNOVACIONES**

El desarrollo de nuevas tecnologías de imagen como la CBCT ha supuesto un gran avance en la planificación prequirúrgica en comparación con las radiografías panorámicas, ya que proporciona datos en 3D sobre la anatomía del paciente (Jorba-García y cols., 2019). Además, en la actualidad es posible colocar los implantes dentales en su posición ideal de forma virtual, a través de diversos programas de software, utilizando los datos proporcionados por las exploraciones CBCT (Vercruyssen y cols., 2014; Gaggl y cols., 2001).

Se han descrito varios métodos basados en la cirugía asistida por ordenador (CAO) que pretenden minimizar las diferencias entre la planificación preoperatoria y el resultado final del tratamiento. Los métodos CAO pueden considerarse estáticos cuando se emplean plantillas estereolitográficas durante el fresado y la inserción del implante dental, o dinámicos cuando se utiliza un dispositivo de seguimiento intraoperatorio en tiempo real para controlar si las fresas y los implantes siguen la trayectoria de inserción planificada (Vercruyssen y cols., 2014; Gaggl y cols., 2001).

La cirugía dinámica asistida por ordenador, también conocida como sistema de navegación quirúrgica o sistema de cirugía guiada, permite determinar la posición real de la fresa quirúrgica en la imagen 3D reconstruida proporcionada por la CBCT. Guía al cirujano a la posición planificada preoperatoriamente mientras realiza el procedimiento quirúrgico (Block y Emery, 2016).

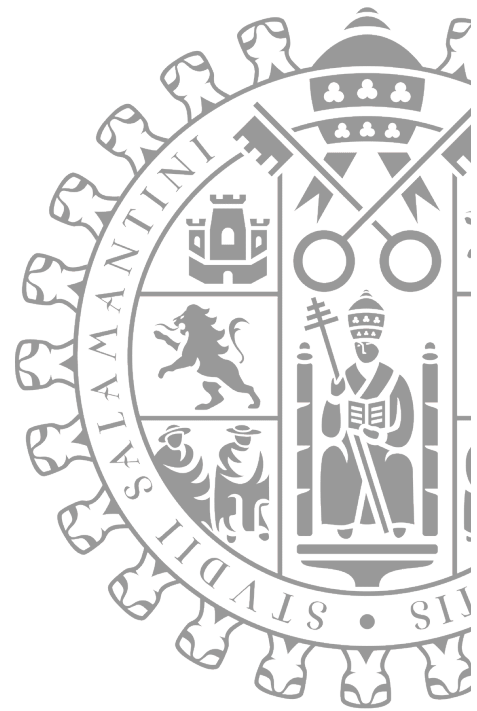
El objetivo de los sistemas dinámicos de cirugía guiada por ordenador en implantología es minimizar la desviación de la posición del implante respecto a la planificación preoperatoria mediante el empleo de un seguimiento en tiempo real de la perforación y la inserción del implante (Jorba-García y cols., 2019).

La utilidad de la navegación se basa en su gran precisión, que es especialmente necesaria en algunas situaciones quirúrgicas concretas: (I) cuando deben tenerse en cuenta las estructuras anatómicas y es importante el control de la profundidad, (II) cuando los clínicos desean utilizar un abordaje sin colgajo, (III) cuando la colocación requiere

una gran precisión de la angulación y el espaciado entre los implantes y los dientes adyacentes, (IV) cuando los implantes deben colocarse en un espacio interdental reducido y los tubos guía estáticos interferirán con la posición ideal del implante debido a su tamaño, (V) cuando se prevé que la visualización directa será difícil, como en pacientes con una apertura bucal limitada (Block y Emery, 2016; Jorba-García y cols., 2019).

En la planificación prequirúrgica se debe aplicar un margen de seguridad de 2 mm a todas las estructuras anatómicas importantes. Se trata de una cuestión extremadamente importante, ya que se han descrito dolor neuropático y alteraciones sensoriales tras la colocación de implantes dentales (Vázquez-Delgado y cols., 2018).

En cuanto a la navegación intraoperatoria en implantes cigomáticos se necesitan más estudios para determinar los posibles beneficios, como tiempos operativos más cortos y mejora de la precisión (Wang y cols., 2018).



# 3

## JUSTIFICACIÓN

### 3 - JUSTIFICACIÓN

El edentulismo maxilar es una condición creciente en todo el mundo. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la pérdida de dientes es generalmente el punto final de una historia de enfermedad bucal de por vida, principalmente las caries dentales avanzadas y la enfermedad periodontal grave. Pero también puede ocurrir por traumatismos, patologías, infecciones y otras causas (Polido y cols., 2023). Las condiciones cardiovasculares y los trastornos hemorrágicos involucrados en procedimientos invasivos pueden afectar la cirugía, la cicatrización y el mantenimiento de los implantes. Además, diversos factores sistémicos y locales pueden comprometer la regeneración ósea y de los tejidos blandos tras la colocación del implante (Schliephake, 2022). Entre los principales factores sistémicos se incluyen la osteoporosis, el uso de medicamentos antirresortivos, la diabetes mellitus, la inmunodeficiencia y ciertos hábitos como el consumo de tabaco y alcohol o el abuso de sustancias. A nivel local, es importante considerar antecedentes de radioterapia o enfermedades de la mucosa oral (Schliephake, 2022).

En los últimos 30 años, el número de personas con edentulismo se ha duplicado. Se ha observado una disminución en la tasa de incidencia de edentulismo en los grupos de edad más jóvenes, junto con un cambio en la edad pico de prevalencia, que pasó de los 70-74 años en 1990 a los 75-79 años en 2021 (Chen y cols., 2024). A nivel mundial, las mujeres presentan una tasa de prevalencia de edentulismo más alta que los hombres, con una carga desproporcionada en regiones con un alto índice demográfico (Chen y cols., 2024).

El edentulismo sigue siendo un problema importante de salud pública a nivel mundial, y se proyecta que la tasa de prevalencia global aumente a 5,004 personas por cada 100,000 habitantes en 2040 (Chen y cols., 2024). Las consecuencias adversas del edentulismo son la restricción de la posibilidad de consumir alimentos, debido a la imposibilidad de masticar, lo que puede provocar cambios nutricionales significativos, obesidad, diabetes, enfermedad de las arterias coronarias y algunos tipos de cáncer (Polido y cols., 2023).

A medida que la población mundial envejece, la pérdida dental en adultos mayores se ha vuelto un fenómeno cada vez más frecuente, con un impacto significativo en la función oral y la salud general. Si bien las prótesis removibles se han empleado para mejorar la función masticatoria, los efectos a largo plazo de estas sobre la mortalidad

permanecen poco claros (Mameno y cols., 2024). La pérdida dental provoca reabsorción del hueso alveolar en la maxila, ocurriendo en dirección postero-superior y de lateral a medial (Polido y cols., 2023). Además, la ausencia de dientes acelera la pérdida ósea, y el uso de prótesis no ha demostrado ser eficaz para mitigar este proceso (Komiya y cols., 2024).

La neumatización de los senos, sumada a la resorción ósea alveolar, puede provocar un volumen óseo vertical y horizontal limitado en la región posterior. La falta de una adecuada resorción ósea alveolar anterior puede reducir la posibilidad de utilizar implantes convencionales. El uso prolongado de dentaduras postizas completas puede aumentar la gravedad de la atrofia maxilar (Tallgren, 2003; Brånemark y cols., 2004).

Hay tratamientos alternativos disponibles para el maxilar atrófico, algunos de los cuales utilizan injertos óseos, como el bloque de cresta ilíaca, osteotomía Le Fort I, procedimientos de elevación del seno maxilar, etc. (Pérez y cols., 2022; Solà y cols., 2022). Las técnicas de aumento óseo, incluida la regeneración ósea guiada (ROG), se han consolidado como herramientas esenciales en el tratamiento de defectos complejos. La ROG se basa en el empleo de membranas, ya sean reabsorbibles o no reabsorbibles, combinadas con injertos óseos autólogos o biomateriales. La selección del tipo de membrana y del material del injerto depende de factores como el tamaño, la forma y la complejidad del defecto (Merli y cols., 2025). Estas técnicas tienen una serie de desventajas: necesidad de varias cirugías; el uso de áreas donantes extraorales, que involucran morbilidad adicional; y el tiempo que el paciente tiene que pasar sin rehabilitación oral esperando la consolidación y cicatrización del injerto. Una alternativa que se presenta es la posibilidad de colocar implantes en el hueso cigomático (Pérez y cols., 2022; Solà y cols., 2022).

Los implantes Zygoma, fueron introducidos por primera vez por Brånemark en 1988, con el propósito original de rehabilitar a pacientes que habían sido sometidos a maxilectomía debido a resección tumoral, traumatismo o defectos congénitos (Ishak y cols., 2013; Goker y cols., 2023; Gutiérrez y cols., 2021). Sin embargo, la función de este implante se ha ido ampliando para la rehabilitación de pacientes con maxilar edéntulo severamente reabsorbido (Ishak y cols., 2013; Gutiérrez y cols., 2021; Fan y cols., 2023).

El protocolo cigomático original de Brånemark incluía un implante en cada cigoma, atravesando el seno, y ferulizado de 2 a 4 implantes convencionales en la región anterior (Brånemark y cols., 2004). Desde entonces, se han documentado en la literatura muchas modificaciones de los diseños de implantes cigomáticos, abordajes quirúrgicos y

protocolos de carga (Gutiérrez y cols., 2021; Sanavia y cols., 2023) con resultados bastantes favorables. Sin embargo, la supervivencia de estos implantes ha sido valorada a través del resultado de posibles complicaciones y la reabsorción que se produce en la cresta del maxilar (Gabriele y cols., 2023; Wadde y cols., 2024), no existe en la literatura trabajos que evalúen la reabsorción que puede producirse en el anclaje principal que es el hueso cigomático. El objetivo de esta investigación es analizar retrospectivamente diez años de rehabilitación con implantes cigomáticos, evaluando la posible pérdida ósea en el hueso cigomático. La hipótesis nula plantea que estos implantes permanecen estables a lo largo del tiempo, sin una resorción ósea significativa.



# 4

## HIPÓTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS

## **4 - HIPÓTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS**

### **4.1 HIPÓTESIS DE TRABAJO**

Hipótesis nula:

El anclaje de los implantes cigomáticos en el cigoma se mantiene estable y no presenta efectos de reabsorción ósea a largo plazo.

Hipótesis alternativa:

El anclaje de los implantes cigomáticos en el cigoma pierde estabilidad y presenta efectos de reabsorción ósea a largo plazo.

### **4.2 OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Objetivo general:

El objetivo de este estudio es evaluar retrospectivamente la reabsorción ósea cigomática a los diez años tras la colocación de implantes cigomáticos.

Objetivos específicos:

1. Establecer el área del cigoma y su densidad ósea mediante escalas Hounsfield.
2. Evaluar si existen diferencias en la pérdida ósea, en milímetros, desde su colocación hasta los diez años de observación.
3. Determinar si los anclajes de implantes cigomáticas con recorrido intrasinusal presentan diferencias con los extrasinusales.



# 5

## MATERIALES Y MÉTODOS

## **5 - MATERIALES Y MÉTODOS**

### **5.1 DISEÑO DEL ESTUDIO**

Se diseñó un estudio retrospectivo, observacional en pacientes tratados con implantes cigomáticos.

### **5.2 POBLACIÓN DE REFERENCIA Y DE ESTUDIO**

Los participantes en este estudio fueron elegidos del Máster de Cirugía Bucal e Implantología de la Facultad de Odontología (UCM). Se seleccionaron pacientes rehabilitados con implantes cigomáticos con más de diez años de evolución y que hayan cumplido con los protocolos de seguimiento que se les indicó tras el tratamiento realizado. Dicho estudio se llevó a cabo en conformidad con las disposiciones previstas en la declaración de Helsinki. Este protocolo fue presentado y aprobado por el comité de ética del CEIM Hospital Clínico San Carlos con el número de identificación interna: 24/522-E.

### **5.3 CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN**

Se analizaron los registros clínicos de pacientes rehabilitados con dos implantes cigomáticos y un seguimiento mínimo de diez años.

Los criterios de inclusión fueron:

1. Edentulismo total del maxilar;
2. Realización de estudios CBCT (NewTom 5G®, Imola, Italia) antes del tratamiento quirúrgico, un año después y diez años después de la carga protésica;
3. Consentimiento de los pacientes para su participación en el estudio y la divulgación científica de los resultados.

Los criterios de exclusión fueron:

1. Pacientes con osteoporosis severa;
2. Pacientes que, durante el período de seguimiento de diez años, hayan recibido tratamiento con corticosteroides, antirresortivos o quimioterapia;
3. Pacientes que no cumplieron con el protocolo de seguimiento;

4. Pacientes que no otorgaron su consentimiento para el uso de sus datos.

## 5.4 IMPLANTE

El modelo de implante cigomático utilizado fue fabricado por S.I.N.-Implant System (São Paulo, Brasil), con las siguientes especificaciones: Estructura del Implante: Diámetro Apical de Ø4.0 mm, Diámetro Cervical de Ø4.4 mm, Diámetro del Cuerpo Ø4.0-Ø4.4 mm. Largos Disponibles: 32, 35, 37, 40, 42, 45, 47, 50, 52, 55, 57, 60, 62 mm, superficie mecanizada con doble grabado al ácido. Plataforma Protésica: Conexión universal con hexágono externo, cabeza en ángulo de 45°, fabricada en titanio grado IV.



Fig. 15 - Macrogeometría del implante cigomático utilizado.

## 5.5 CÁLCULO DEL TAMAÑO MUESTRAL

Al no tener estudios similares se planteo en esta fase inicial, un tamaño muestral de cincuenta pacientes.

## 5.6 RECOGIDA DE DATOS Y VARIABLES A ANALIZAR (TABLAS 2 Y 3)

### Variables epidemiológicas:

Los pacientes a los que les han sido colocados implantes cigomáticos tienen sus datos registrados en cuanto a la edad y sexo.

### Variables preoperatorias:

En sus historiales constaron los datos en relación con: asignación según la clasificación de ZAGA (Aparicio, 2011) que se subdividen en cinco opciones diferenciándose sobre todo en su recorrido intra o extrasinusal; técnica quirúrgica empleada; torque de inserción; oclusión antagonista.

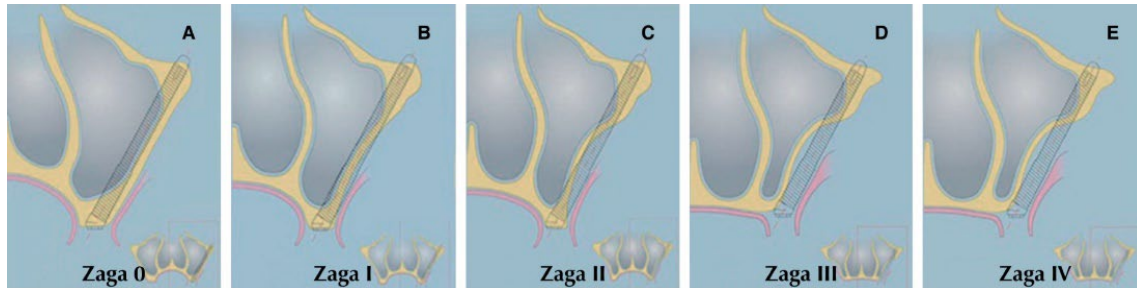


**Fig. 16** - Clasificación de ZAGA (Aparicio, 2011).

#### **Variables postoperatorias:**

Se analizó si durante los diez años de seguimiento han existido algún tipo de complicaciones en relación con la prótesis, tejidos blandos periimplantarios o a los propios implantes.

#### **Variables radiológicas:**

Los pacientes integrantes del estudio fueron sometidos a una exploración inicial con CBCT (NewTom 5G®, Imola, Italia), para el diagnóstico y planificación de la cirugía, calculando la profundidad de inserción del implante en el hueso cigomático.

Posteriormente al año y a los diez años, se obtuvieron nuevos escáneres de seguimiento. Con el software NewTom NNT Analysis, versión 16.4 (NewTom®, Imola, Italia) se pudo trazar el hueso y los implantes en exploraciones CBCT. Utilizando este software, se pudo comparar la información tridimensional de la imagen CBCT postoperatoria con la imagen CBCT postoperatoria de diez años y evaluar la reabsorción ósea cigomática y la densidad ósea.

#### **Se utilizaron los siguientes parámetros:**

Fuente de rayos X: 110 KV, 1-20 mA (modo pulsado); punto focal - 0,3 mm; técnica de adquisición: escaneo único; tiempo de exposición de escaneo: 18-36 segundos; tiempo de emisión de rayos X: 3,6 s-6,7 s; escala de grises de la señal: escaneo de 14 bits

y reconstrucción de 16 bits; tamaño del campo de visión (DxH): 6x6 centímetros; posición del paciente: supino.

**A modo de resumen, los datos quedaron recogidos de la siguiente forma:**

-T0-Preoperatorio: registro del área y densidad ósea del hueso cigomático (Fig. 17).

-T1-Seguimiento 12 meses: registro y evaluación del área y densidad del hueso cigomático, la distancia de contacto superior entre el hueso cigomático y el implante cigomático y la distancia de contacto inferior entre el hueso cigomático y el implante cigomático (Fig. 18).

-T2-Seguimiento 120 meses: también se evaluó el área y densidad del hueso cigomático, la distancia de contacto superior entre el hueso cigomático y el implante cigomático y la distancia de contacto inferior entre el hueso cigomático y el implante cigomático (Fig. 19).

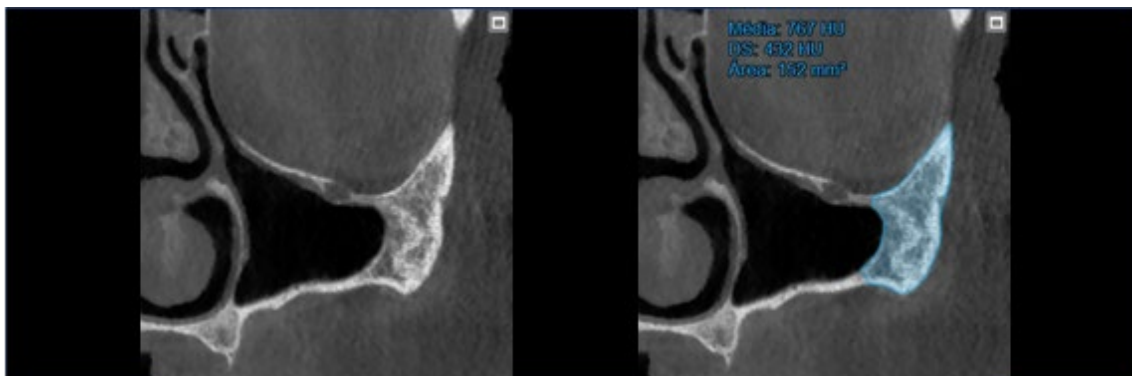


**Fig. 17** - T0 Evaluación preoperatoria del área y densidad del hueso cigomático



**Fig. 18** - Evaluación T1 considerando (I) área y densidad del hueso cigomático, (II) distancia de contacto superior entre el hueso cigomático y el implante cigomático y (III) distancia de contacto inferior entre el hueso cigomático y el implante cigomático.

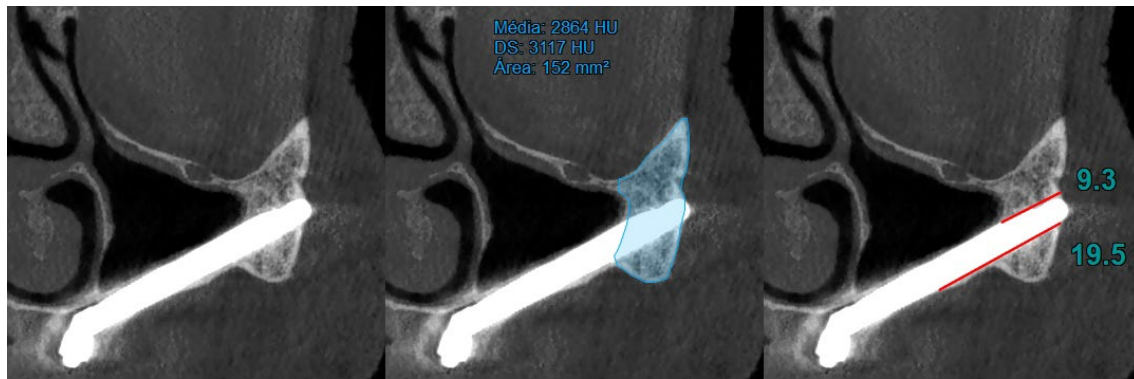


**Fig. 19** - Evaluación T2 considerando (I) área y densidad del hueso cigomático, (II) distancia de contacto superior entre el hueso cigomático y el implante cigomático y (III) distancia de contacto inferior entre el hueso cigomático y el implante cigomático

## 5.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis de datos descriptivo e inferencial, se empleó el software estadístico IBM® SPSS®, versión 30. Inicialmente, se evaluó la normalidad de las variables mediante las pruebas de Kolmogorov-Smirnov (D) o Shapiro-Wilk (W), según correspondiera. Posteriormente, se verificó la homogeneidad de las varianzas mediante las pruebas de Levene (L) o Bartlett (B).

En cuanto a la estadística descriptiva, para las variables continuas se calcularon la media aritmética ( $\bar{x}$ ) y la desviación estándar (DE). Para las variables ordinales se determinaron la mediana y el rango intercuartílico (RIC), mientras que las variables nominales se describieron mediante la moda y las frecuencias absolutas.

El análisis inferencial incluyó la comparación de los tres puntos temporales experimentales (T0, T1 y T2). Dado el carácter emparejado de los datos y tras confirmar la normalidad de la distribución y la homogeneidad de las varianzas, se aplicó un ANOVA de medidas repetidas. En los casos en que el ANOVA identificó diferencias estadísticamente significativas, se utilizó la prueba post hoc de Bonferroni para realizar comparaciones múltiples.

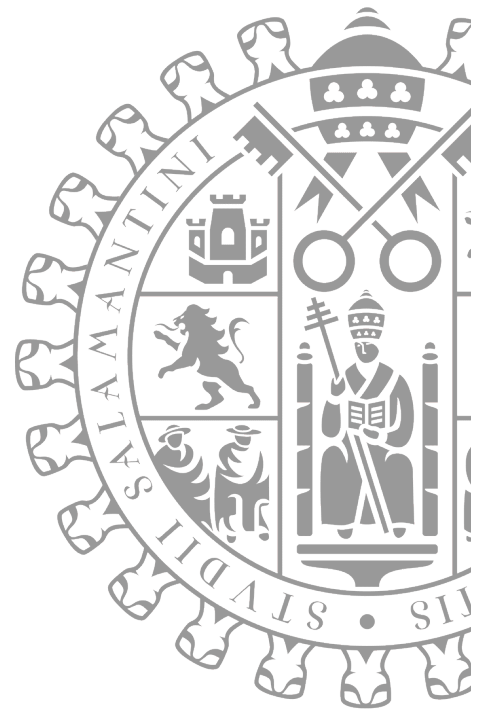
Se consideraron estadísticamente significativos los valores de p inferiores a 0,05 (\*); altamente significativos aquellos menores a 0,01 (\*\*); y muy altamente significativos los menores a 0,001 (\*\*\*).

**Tabla 2 -** Variables demográficas y clínicas pre y postoperatorias.

| Caso Clínico                                                               | Edad                                                     | Género                                                               | Clasificación ZAGA                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Longitud ZI + Torque de Inserción                          |                                             |
|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
|                                                                            |                                                          |                                                                      | 1º Q-A                                                                                                                                                                      | 2º Q-A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 1º Q-A                                                     | 2º Q-A                                      |
| 1                                                                          |                                                          | <input type="checkbox"/> Mujer<br><input type="checkbox"/> Masculino | <input type="checkbox"/> ZAGA 0<br><input type="checkbox"/> ZAGA 1<br><input type="checkbox"/> ZAGA 2<br><input type="checkbox"/> ZAGA 3<br><input type="checkbox"/> ZAGA 4 | <input type="checkbox"/> ZAGA 0<br><input type="checkbox"/> ZAGA 1<br><input type="checkbox"/> ZAGA 2<br><input type="checkbox"/> ZAGA 3<br><input type="checkbox"/> ZAGA 4                                                                                                                                                                     | <div><div>(mm)</div><div>(N/cm)</div></div>                | <div><div>(mm)</div><div>(N/cm)</div></div> |
| Implantes estándar<br>Posición Anatómica + Longitud + Torsión de Inserción |                                                          |                                                                      | Protocolo de Carga                                                                                                                                                          | Oclusión Antagonista                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Complicaciones                                             |                                             |
| Implante 1                                                                 | Posición Anatómica:<br>Longitud:<br>Torque de inserción: |                                                                      | <input type="checkbox"/> Inmediata<br><input type="checkbox"/> Temprana<br><input type="checkbox"/> Convencional                                                            | <input type="checkbox"/> Dientes naturales<br><input type="checkbox"/> Prótesis Parcial Removable<br><input type="checkbox"/> Prótesis Total Removable<br><input type="checkbox"/> Sobredentadura<br><input type="checkbox"/> Rehabilitación parcial fija sobre implantes<br><input type="checkbox"/> Rehabilitación total fija sobre implantes | <input type="checkbox"/> No<br><input type="checkbox"/> Sí |                                             |
| Implante 2                                                                 | Posición Anatómica:<br>Longitud:<br>Torque de inserción: |                                                                      |                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                            |                                             |
| Implante 3                                                                 | Posición Anatómica:<br>Longitud:<br>Torque de inserción: |                                                                      |                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                            |                                             |
| Implante 4                                                                 | Posición Anatómica:<br>Longitud:<br>Torque de inserción: |                                                                      |                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                            |                                             |

**Tabla 3 -** Variables radiológicas.

| Caso Clínico | Área del hueso cigomático |      | Densidad del hueso cigomático |      | Distancia de contacto superior |      | Distancia de contacto más baja |      |
|--------------|---------------------------|------|-------------------------------|------|--------------------------------|------|--------------------------------|------|
|              | 1º Q                      | 2º Q | 1º Q                          | 2º Q | 1º Q                           | 2º Q | 1º Q                           | 2º Q |
| 1            |                           |      |                               |      |                                |      |                                |      |
| T0           |                           |      |                               |      |                                |      |                                |      |
| T1           |                           |      |                               |      |                                |      |                                |      |
| T2           |                           |      |                               |      |                                |      |                                |      |



# 6

## RESULTADOS

## 6 - RESULTADOS

Parte de los resultados fueron publicados en el artículo: “Bone Resorption Assessment Following Zygomatic Implants Surgery over 10 Years of Follow-Up”, que se anexa (Duarte y col., 2025).

Para facilitar la comprensión de la presentación de los resultados, éstos fueron subdivididos en: caracterización sociodemográfica y clínica general de la muestra (Tabla 4); caracterización clínica específica de la muestra relativa a los implantes colocados (Tabla 5); seguimiento de los pacientes (Tabla 6); ANOVA de medidas repetidas (Tabla 7) y test inferencial Post-Hoc de Bonferroni (Tabla 8).

La Tabla 4 muestra la caracterización sociodemográfica y clínica general de los 50 pacientes incluidos en este estudio. La edad media fue de  $60,32 \pm 10,43$  años, con un mayor porcentaje de pacientes de sexo femenino (66,0%) en comparación con los de sexo masculino (34%).

En cuanto a la caracterización de la ZAGA, en el primer cuadrante se aplicó la ZAGA I en el 80% de los casos, seguida de la ZAGA II en el 12% y la ZAGA 0 en el 6%. En el segundo cuadrante se aplicó ZAGA I en el 74%, seguida de ZAGA II en el 16% y ZAGA 0 en el 10% de los casos.

La longitud de implante cigomático más utilizada en el primer cuadrante fue la de 35 mm en el 24% de los casos y en el segundo cuadrante fue la de 37,5 mm en el 28% de los casos. El torque medio del implante cigomático en el primer cuadrante fue de  $48,70 \pm 11,19$ N y en el segundo cuadrante fue de  $49,70 \pm 10,95$ N.

En cuanto al protocolo de carga, en el 80% se realizó función inmediata, en el 14% de los casos fue diferida y en el 6% temprana. En cuanto a la oclusión antagonista, el 52% fue rehabilitación total con implantes fijos, el 30% con dientes naturales, el 8% sobredentadura, el 8% rehabilitación parcial con implantes fijos y el 2% prótesis parcial removible.

En este estudio se registraron un 8% de complicaciones, presentes en 4 casos clínicos, entre los que destacan: la pérdida de un implante estándar en posición anatómica 2.1, dos casos de sinusitis postoperatoria y una fractura del implante cigomático del cuadrante 2°.

**Tabla 4** - Caracterización sociodemográfica y clínica general de la muestra.

| Variable                                                                                                | Parámetro estadístico                                                                                                                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Muestra</b><br><i>N</i>                                                                              | 50                                                                                                                                                                                         |
| <b>Edad</b><br><i>Media ± DE, años</i>                                                                  | 60.32 ± 10.43                                                                                                                                                                              |
| <b>Género</b><br><i>n (porcentaje)</i>                                                                  | Hombres: 17 (34,0);<br>Mujeres: 33 (66,0)                                                                                                                                                  |
| <b>Abordaje guiado por anatomía del cigoma (ZAGA)</b><br><b>(1° Cuadrante)</b><br><i>n (porcentaje)</i> | ZAGA 0: 3 (6,0);<br>ZAGA I: 40 (80,0);<br>ZAGA II: 6 (12,0);<br>ZAGA III: 1 (2,0);<br>ZAGA IV: 0 (0,0)                                                                                     |
| <b>Abordaje guiado por anatomía del cigoma (ZAGA)</b><br><b>(2° Cuadrante)</b><br><i>n (porcentaje)</i> | ZAGA 0: 5 (10,0);<br>ZAGA I: 37 (74,0);<br>ZAGA II: 8 (16,0);<br>ZAGA III: 0 (0,0);<br>ZAGA IV: 0 (0,0)                                                                                    |
| <b>Longitud del implante cigomático</b><br><b>(1° Cuadrante)</b><br><i>n (porcentaje)</i>               | 4,5x32,5mm: 9 (18,0);<br>4,5x35mm: 12 (24,0);<br>4,5x37,5mm: 9 (18,0);<br>4,5x40mm: 9 (18,0);<br>4,5x42,5mm: 5 (10,0);<br>4,5x45mm: 4 (8,0);<br>4,5x47,5mm: 1 (2,0);<br>4,5x50mm: 1 (2,0)  |
| <b>Longitud del implante cigomático</b><br><b>(2° Cuadrante)</b><br><i>n (porcentaje)</i>               | 4,5x32,5mm: 7 (14,0);<br>4,5x35mm: 10 (20,0);<br>4,5x37,5mm: 14 (28,0);<br>4,5x40mm: 9 (18,0);<br>4,5x42,5mm: 6 (12,0);<br>4,5x45mm: 2 (4,0);<br>4,5x47,5mm: 1 (2,0);<br>4,5x50mm: 1 (2,0) |
| <b>Torque del implante cigomático</b><br><b>(1° Cuadrante)</b><br><i>Media ± DE, Newtons</i>            | 48.70 ± 11.19                                                                                                                                                                              |
| <b>Torque del implante cigomático</b><br><b>(2° Cuadrante)</b><br><i>Media ± DE, Newtons</i>            | 49.70 ± 10.95                                                                                                                                                                              |
| <b>Protocolo de carga</b><br><i>n (porcentaje)</i>                                                      | Inmediato: 40 (80,0);<br>Temprano: 3 (6,0);<br>Retrasados: 7 (14,0)                                                                                                                        |
| <b>Oclusión antagonista</b><br><i>n (porcentaje)</i>                                                    | Dientes naturales: 15 (30,0);<br>Dentadura parcial removible: 1 (2,0);<br>Sobredentadura: 4 (8,0);<br>Implantes fijos parciales: 4 (8,0);<br>Total de implantes fijos: 26 (52,0)           |
| <b>Complicaciones</b><br><i>n (porcentaje)</i>                                                          | No: 46 (92,0);<br>Sí: 4 (8,0)                                                                                                                                                              |

La Tabla 5 muestra la caracterización clínica específica de la muestra relativa a los implantes estándar colocados en el maxilar anterior. El implante 1 se colocó principalmente en la posición anatómica 1.1, en el 54% de los casos; la longitud más utilizada fue de 3,75x10mm, en el 24% y el torque medio obtenido fue de 43,10 ± 11,51N. El implante 2 se colocó en la mayoría de los casos en la posición anatómica 1.3, en el 36% de los casos; la longitud más utilizada fue de 3,75x10mm, en el 30% y el torque

medio obtenido fue de  $40,30 \pm 13,49\text{N}$ . El implante 3 se colocó en la mayoría de los casos en la posición anatómica 2.1, en el 38% de los casos; la longitud más utilizada fue de  $3,75 \times 8,5\text{mm}$ , en el 14% y el torque medio obtenido fue de  $43,68 \pm 14,17$ . Por último, el implante 4 se colocó en la mayoría de los casos en la posición anatómica 2.3, en el 28% de los casos; la longitud más utilizada fue  $3,75 \times 10\text{mm}$ , en el 22% y el torque medio obtenido fue  $37,68 \pm 16,70$ .

**Tabla 5** - Caracterización clínica específica de la muestra relativa a los implantes colocados.

| Variable                                                                       | Parámetro estadístico                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Implante estándar 1 Posición</b><br><i>n (porcentaje)</i>                   | 1,1 posición: 27 (54,0);<br>1,2 posición: 15 (30,0);<br>1,3 posición: 5 (10,0);<br>1,4 posición: 1 (2,0);<br>1,7 posición: 2 (4,0)                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Implante estándar 1 Longitud</b><br><i>n (porcentaje)</i>                   | 3,25x8,5 mm: 5 (10,0);<br>3,25x10mm: 4 (8,0);<br>3,75x7mm: 1 (2,0);<br>3,75x8,5mm: 7 (14,0);<br>3,75x10mm: 12 (24,0);<br>3,75x11,5mm: 2 (4,0);<br>3,75x15mm: 3 (6,0);<br>4,1x7mm: 8 (16,0);<br>4,1x8,5 mm: 2 (4,0);<br>4,1x10mm: 2 (4,0);<br>4,5x8,5mm: 1 (2,0);<br>4,5x10mm: 2 (4,0);<br>4,5x15 mm: 1 (2,0)                                            |
| <b>Implante estándar 1 Torque</b><br><i>Media <math>\pm</math> DE, Newtons</i> | $43.10 \pm 11.51$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Implante estándar 2 Posición</b><br><i>n (porcentaje)</i>                   | 1,2 posición: 5 (10,0);<br>1,3 posición: 18 (36,0);<br>1,4 posición: 6 (12,0);<br>1,6 posición: 3 (6,0);<br>1,7 posición: 1 (2,0);<br>2,1 posición: 8 (16,0);<br>2,2 posición: 6 (12,0);<br>2,3 posición: 3 (6,0)                                                                                                                                       |
| <b>Implante estándar 2 Longitud</b><br><i>n (porcentaje)</i>                   | 3,25x8,5 mm: 4 (8,0);<br>3,25x10mm: 2 (4,0);<br>3,75x7mm: 2 (4,0);<br>3,75x8,5mm: 8 (16,0);<br>3,75x10mm: 15 (30,0);<br>3,75x11,5 mm: 3 (6,0);<br>3,75x13mm: 1 (2,0);<br>3,75x15mm: 2 (4,0);<br>4,1x7mm: 4 (8,0);<br>4,1x8,5 mm: 2 (4,0);<br>4,1x10mm: 3 (6,0);<br>4,1x11,5 mm: 1 (2,0);<br>4,1x13mm: 1 (2,0);<br>4,5x13mm: 1 (2,0);<br>5x10mm: 1 (2,0) |
| <b>Implante estándar 2 Torque</b><br><i>Media <math>\pm</math> DE, Newtons</i> | $40.30 \pm 13.49$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Implante estándar 3 Posición</b><br><i>n (porcentaje)</i>                   | 1,6 posición: 1 (2,0);<br>2,1 posición: 19 (38,0);<br>2,2 posición: 11 (22,0);                                                                                                                                                                                                                                                                          |

|                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                 | 2,3 posición: 2 (4,0);<br>2,4 posición: 3 (6,0);<br>2,7 posición: 2 (4,0)                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Implante estándar 3 Longitud</b><br><i>n (porcentaje)</i>    | 3,25x8,5mm: 2 (4,0);<br>3,25x10mm: 3 (6,0);<br>3,75x7mm: 4 (8,0);<br>3,75x8,5mm: 7 (14,0);<br>3,75x10mm: 5 (10,0);<br>3,75x11,5 mm: 3 (6,0);<br>3,75x15mm: 3 (6,0);<br>4,1x7mm: 2 (4,0);<br>4,1x8,5 mm: 1 (2,0);<br>4,1x10mm: 1 (2,0);<br>4,5x8,5 mm: 3 (6,0);<br>4,5x10mm: 3 (6,0);<br>5x11,5mm: 1 (2,0) |
| <b>Implante estándar 3 Torque</b><br><i>Media ± DE, Newtons</i> | 43.68 ± 14.17                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Implante estándar 4 Posición</b><br><i>n (porcentaje)</i>    | 2,2 posición: 4 ( 8,0);<br>2,3 posición: 14 (28,0);<br>2,4 posición: 6 (12,0);<br>2,6 posición: 4 (8,0)                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Implante estándar 4 Longitud</b><br><i>n (porcentaje)</i>    | 3,25x8,5mm: 2 (4,0);<br>3,75x7mm: 1 (2,0);<br>3,75x8,5mm: 6 (12,0);<br>3,75x10mm: 11 (22,0);<br>3,75x11,5mm: 1 (2,0);<br>4,1x7mm: 1 (2,0);<br>4,1x8,5 mm: 1 (2,0);<br>4,1x11,5 mm: 1 (2,0);<br>4,1x15mm: 1 (2,0);<br>4,5x8,5mm: 1 (2,0);<br>4,5x10mm: 1 (2,0);<br>5,0x13 mm: 1 (2,0)                      |
| <b>Implante estándar 4 Torque</b><br><i>Media ± DE, Newtons</i> | 37.68 ± 16.70                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

La Tabla 6 representa el seguimiento de los pacientes (T0, T1 y T2), en relación con i) el área ósea cigomática (1° y 2° cuadrantes); ii) la densidad ósea cigomática (1° y 2° cuadrantes); iii) la distancia de contacto superior entre el hueso cigomático y el implante cigomático (1° y 2° cuadrantes); y iv) la distancia de contacto inferior entre el hueso cigomático y el implante cigomático (1° y 2° cuadrantes).

**Tabla 6 - Seguimiento de los pacientes.**

| Variable                                                                                        | Parámetro estadístico                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| <b>Área del hueso cigomático (1° Cuadrante) (mm )<sup>2</sup></b><br><i>Media ± DE, Newtons</i> | T0: 205.96 ± 63.54;<br>T1: 205.96 ± 63.54;<br>T2: 205.96 ± 63.54       |
| <b>Área del hueso cigomático (2° Cuadrante) (mm )<sup>2</sup></b><br><i>Media ± DE, Newtons</i> | T0: 204.18 ± 64.91;<br>T1: 204.18 ± 64.91;<br>T2: 204.18 ± 64.91       |
| <b>Densidad ósea cigomática (1° Cuadrante) (HU)</b><br><i>Media ± DE, Newtons</i>               | T0: 1077.23 ± 264.90;<br>T1: 2642.06 ± 550.33;<br>T2: 2853.04 ± 530.26 |

|                                                                                                                                            |                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| <b>Densidad ósea cigomática (2° Cuadrante) (HU)</b><br><i>Media ± DE, Newtons</i>                                                          | T0: 1030.46 ± 314.13;<br>T1: 2457.86 ± 561.85;<br>T2: 2696.60 ± 583.29 |
| <b>Distancia de contacto superior entre el hueso cigomático y el implante cigomático (1° Cuadrante) (mm)</b><br><i>Media ± DE, Newtons</i> | T0: No hay casos válidos;<br>T1: 9.01 ± 3.19;<br>T2: 9.10 ± 3.23       |
| <b>Distancia de contacto superior entre el hueso cigomático y el implante cigomático (2° Cuadrante) (mm)</b><br><i>Media ± DE, Newtons</i> | T0: No hay casos válidos;<br>T1: 8.04 ± 3.02;<br>T2: 8.20 ± 3.19       |
| <b>Distancia de contacto inferior entre el hueso cigomático y el implante cigomático 1° Cuadrante) (mm)</b><br><i>Media ± DE, Newtons</i>  | T0: No hay casos válidos;<br>T1: 13.70 ± 4.74;<br>T2: 13.61 ± 4.62     |
| <b>Distancia de contacto inferior entre el hueso cigomático y el implante cigomático (2° Cuadrante) (mm)</b><br><i>Media ± DE, Newtons</i> | T0: No hay casos válidos;<br>T1: 14.69 ± 4.96;<br>T2: 14.65 ± 4.98     |

La Tabla 7 muestra la prueba inferencial ANOVA (F) de medidas repetidas para la comparación de T0, T1 y T2 del seguimiento de los pacientes (T0, T1 y T2), en relación con i) el área ósea cigomática (1° y 2° cuadrantes); ii) la densidad ósea cigomática (1° y 2° cuadrantes); iii) distancia de contacto superior entre el hueso cigomático y el implante cigomático (1° y 2° cuadrantes); y iv) distancia de contacto inferior entre el hueso cigomático y el implante cigomático (1° y 2° cuadrantes).

**Tabla 7** - ANOVA de medidas repetidas.

| <b>Variable</b>                                                                                                                            | <b>Estadística de la prueba (F)</b> | <b>p-valor</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------|
| <b>Área del hueso cigomático (1° Cuadrante) (mm )<sup>2</sup></b><br><i>Media ± DE, Newtons</i>                                            | 0.000                               | 1.000          |
| <b>Área del hueso cigomático (2° Cuadrante) (mm )<sup>2</sup></b><br><i>Media ± DE, Newtons</i>                                            | 0.000                               | 1.000          |
| <b>Densidad ósea cigomática (1° Cuadrante) (HU)</b><br><i>Media ± DE, Newtons</i>                                                          | 215.782                             | <0.001***      |
| <b>Densidad ósea cigomática (2° Cuadrante) (HU)</b><br><i>Media ± DE, Newtons</i>                                                          | 161.364                             | <0.001***      |
| <b>Distancia de contacto superior entre el hueso cigomático y el implante cigomático (1° Cuadrante) (mm)</b><br><i>Media ± DE, Newtons</i> | 0.021                               | 0.886          |
| <b>Distancia de contacto superior entre el hueso cigomático y el implante cigomático (2° Cuadrante) (mm)</b><br><i>Media ± DE, Newtons</i> | 0.065                               | 0.800          |
| <b>Distancia de contacto inferior entre el hueso cigomático y el implante cigomático (1° Cuadrante) (mm)</b><br><i>Media ± DE, Newtons</i> | 0.010                               | 0.922          |
| <b>Distancia de contacto inferior entre el hueso cigomático y el implante cigomático (2° Cuadrante) (mm)</b><br><i>Media ± DE, Newtons</i> | 0.001                               | 0.974          |

En la Tabla 8 es visible la prueba inferencial Post-Hoc de Bonferroni para la comparación de T0, T1 y T2 del seguimiento de los pacientes (T0, T1 y T2) en relación con la densidad ósea cigomática (1° y 2° cuadrantes).

**Tabla 8** - Prueba inferencial post-Hoc de Bonferroni.

| Variable                                     | Comparación |    | Diferencia media (I-J) | Error estándar | <i>p-valor</i> |
|----------------------------------------------|-------------|----|------------------------|----------------|----------------|
| Densidad ósea cigomática (1° Cuadrante) (HU) | T0          | T1 | -1564.820*             | 93.396         | <0.001         |
|                                              |             | T2 | -1775.800*             | 93.396         | <0.001         |
|                                              | T1          | T0 | 1564.820*              | 93.396         | <0.001         |
|                                              |             | T2 | -210.980               | 93.396         | 0.076          |
|                                              | T2          | T0 | 1775.800*              | 93.396         | <0.001         |
|                                              |             | T1 | 210.980                | 93.396         | 0.076          |
| Densidad ósea cigomática (2° Cuadrante) (HU) | T0          | T1 | -1427.400*             | 100.305        | <0.001         |
|                                              |             | T2 | -1666.140*             | 100.305        | <0.001         |
|                                              | T1          | T0 | 1427.400*              | 100.305        | <0.001         |
|                                              |             | T2 | -238.740               | 100.305        | 0.056          |
|                                              | T2          | T0 | 1666.140*              | 100.305        | <0.001         |
|                                              |             | T1 | 238.740                | 100.305        | 0.056          |



# 7

## DISCUSIÓN

## 7 - DISCUSIÓN

### 7.1 SUPERVIVENCIA DE LOS IMPLANTES

En la revisión de Brennand, la supervivencia de los implantes cigomáticos fue del 96,2% durante un seguimiento medio de 75,4 meses (6,3 años) (Brennand y cols., 2023). Se identificó una mayor incidencia de fracaso durante el primer año (2%) en comparación con la de los años posteriores (0,5%/año), mientras que la incidencia global anual de fracaso fue del 0,7% con tiempos medios de seguimiento intraestudio que oscilaron entre 36 y 142 meses, corroborado de nuevo por las revisiones sistemáticas presentadas por Chrcanovic (Chrcanovic y Abreu, 2013; Chrcanovic y cols., 2016). Estos hallazgos reflejan la posibilidad de que algunos pacientes sufran complicaciones posquirúrgicas infecciosas tempranas, o relacionadas con la medicina, que pueden dar lugar a la pérdida de implantes cigomáticos.

Las tasas de fracaso acumuladas de los implantes cigomáticos y los implantes convencionales fueron del 1,6% y el 5,2%, respectivamente, con periodos de seguimiento de seis meses a 12 años (Gutiérrez y cols., 2021). Los informes sobre abordajes quirúrgicos clásicos mostraron que la tasa de supervivencia de los implantes cigomáticos era superior a la de los implantes convencionales (Gracher y cols., 2021). Ahlgren y cols., (2006) informaron de una tasa de éxito del 100% para los implantes cigomáticos conseguida durante un periodo de seguimiento de 11 a 49 meses (Ahlgren y cols., 2006).

En nuestro estudio, la tasa de supervivencia de los implantes cigomáticos fue del 99,0% y la de los implantes estándar fue del 99,5%, durante el seguimiento de 120 meses (10 años). Los hallazgos de este estudio son consistentes con lo reportado en la literatura, destacándose por revelar tasas de supervivencia extremadamente altas. No obstante, este trabajo presenta un período de seguimiento más prolongado que las investigaciones disponibles.

### 7.2 ABORDAJE QUIRÚRGICO

Las tasas de incidencia agrupadas de la técnica quirúrgica original fueron del 9,53% para la sinusitis, del 7,5% para la infección de partes blandas, del 10,78% para la parestesia, del 4,58% para la formación de fistulas oroantrales, del 6,91% para las complicaciones relacionadas con la cirugía y de 56 incidentes para los problemas

relacionados con la prótesis. Las tasas de incidencia agrupadas de la técnica guiada por anatomía fueron del 4,39% para la sinusitis, del 4,35% para la infección de partes blandas, del 0,55% para la parestesia, del 1,71% para la formación de fistulas oroantrales, del 1,6% para las complicaciones relacionadas con la cirugía y de 104 incidentes para las complicaciones relacionadas con la prótesis. Sin embargo, las cifras pueden estar infravaloradas en ambas técnicas, ya que la mayoría de los estudios clínicos aún no han informado de la presencia o ausencia de complicaciones (Kämmerer y cols., 2023).

En esta revisión sistemática, se compararon las tasas de supervivencia y complicaciones de los implantes cigomáticos mediante TSO y abordaje guiado por la anatomía (AGA) en pacientes con maxilares gravemente atróficos. Ambas técnicas detectaron una elevada tasa de supervivencia de los implantes sin complicaciones relacionadas (Kämmerer y cols., 2023). Los resultados de la presente revisión muestran que ambos procedimientos tienen resultados clínicos similares en cuanto a la supervivencia de los implantes. En resumen, la TSO con 923 implantes cigomáticos tuvo una supervivencia del 90,3-100%, y 1302 implantes cigomáticos colocados mediante abordaje anatómico-guiado mostraron una supervivencia del 90,4-100% (Kämmerer y cols., 2023).

El abordaje intrasinal generó una tensión 1,41 y 4,27 veces mayor en la interfaz hueso-implante y en el cuerpo del implante cigomático, respectivamente, bajo carga vertical que el abordaje extramaxilar (Ishak y cols., 2013). Sin embargo, se observó lo contrario bajo carga lateral, donde el abordaje extramaxilar mostró un nivel de tensión mayor en la interfaz hueso-implante en 2,48 veces (Ishak y cols., 2013). El cuerpo del implante cigomático en el abordaje extramaxilar también mostró micromovimientos con una magnitud dos veces superior a los del abordaje intrasinal bajo carga lateral. Ambas técnicas pueden utilizarse para el tratamiento de maxilares atróficos graves; sin embargo, el abordaje intrasinal es más favorable si la carga lateral es una preocupación importante (Ishak y cols., 2013).

En esta investigación, los implantes cigomáticos se colocaron según los principios descritos por la clasificación ZAGA (Aparicio, 2011). En el primer cuadrante se aplicó ZAGA I en el 80% de los casos, seguido de ZAGA II en el 12% y ZAGA 0 en el 6%. En el segundo cuadrante se aplicó ZAGA I en el 74%, seguido de ZAGA II en el 16% y ZAGA 0 en el 10% de los casos. Por lo tanto, la estabilización cortical cuádruple fue posible en todos los casos. Los implantes cigomáticos se colocaron en función de la pared lateral de la concavidad del seno maxilar, así como de la reabsorción palatina del alvéolo

maxilar. Los implantes cigomáticos se colocaron siguiendo la curvatura de la pared de la concavidad lateral del seno maxilar y considerando la reabsorción palatina del alvéolo maxilar. Cabe resaltar la importancia fundamental de la estabilización cuadr cortical en todos los casos clínicos, la cual demostró ser un factor determinante para el éxito obtenido. Este principio quirúrgico, aunque mencionado en varias publicaciones, rara vez se implementa de manera tan clara como en este estudio.

### 7.3 PROTOCOLO DE CARGA

La ventaja más destacable de utilizar este tratamiento sin injertos es la carga inmediata para restaurar la función oral y la estética del paciente tras la cirugía. Se observó una prevalencia diferente entre los protocolos diferido e inmediato en la TSO (77,7% frente a 22,3%) y la técnica guiada por la anatomía (10,4% frente a 89,6%), respectivamente. Aunque esto puede ser el resultado de estudios más recientes en los casos de técnicas guiadas por la anatomía y de los avances en los materiales. La tasa de fracaso del protocolo de carga inmediata en OST y Anatomy-Guided fue del 2,56% y el 1,75%. Los resultados se comunicaron en un análisis de 103 fracasos recogidos de una revisión de 4566 implantes cigomáticos, en el que la tasa de fracaso del protocolo de carga inmediata fue del 1,7% (Kämmerer y cols., 2023).

El curso clínico de los casos cigomáticos tardíos sugiere una infección de bajo grado (Vrielinck y cols., 2022; Lopes y cols., 2021). Este tipo de infecciones están causadas por bacterias poco virulentas, como *Staphylococcus epidermidis* o *Propionibacterium acnes* que pueden infectar en una fase posterior y manifestar las complicaciones asociadas incluso años después de la cirugía original (Ottenhausen y cols., 2018). Por este motivo, Ottenhausen y cols. (2018) recomiendan un cultivo bacteriano rutinario y una reacción en cadena de la polimerasa (PCR) del ácido ribonucleico ribosómico 16S (ARNr) para identificar estas bacterias (Ottenhausen, y cols., 2018).

En este estudio, el 80% de los casos recibió carga inmediata (entre 24 y 48 horas después de la inserción del implante), en el 14% se aplicó carga diferida (más de 4 meses después de la inserción del implante) y en el 6% fue carga precoz (entre 48 horas y 3 meses). En la mayoría de los casos clínicos, se implementó la función inmediata, alineándose con la literatura más reciente. Sin embargo, a diferencia de estudios como los

de Vrielinck y cols. (2022) y Lopes y cols. (2021), no se observó un aumento en la tasa de complicaciones asociadas.

## 7.4 MICROBIOLOGÍA

El éxito de un implante dental se basa en unos requisitos óptimos de los tejidos duros y blandos. Incluye unas dimensiones adecuadas (vertical, sagital y transversal) y la calidad del hueso junto con unos tejidos blandos sanos alrededor del hombro del implante, incluida una zona de encía queratinizada no móvil. El único diseño diferente real ampliamente aceptado en implantología es el implante cigomático largo (Tavelli y Tedesco, 2022).

En un estudio de Lombardo y cols., (2016) los resultados microbiológicos se correlacionaron con antecedentes de periodontitis. Los pacientes periodontales mostraron, de hecho, más patógenos periodontales en comparación con el grupo no periodontal (53,8% frente a 28,6%), y tres pacientes con antecedentes de periodontitis también mostraron una mayor carga bacteriana de patógenos del complejo rojo. *P. gingivalis* se encontró con mayor frecuencia (46,2%), especialmente en los pacientes periodontales. *P. gingivalis* se observó, además, en todos los pacientes periodontales que presentaban las mayores cargas de patógenos periodontales (Lombardo y cols., 2016). Los antecedentes de periodontitis de los pacientes también parecían ser relevantes para la colonización bacteriana alrededor de los implantes cigomáticos (Lombardo y cols., 2016; Davó y cols., 2020).

En todos los pacientes incluidos en este estudio se evaluó cuidadosamente la mucosa queratinizada alrededor de los implantes cigomáticos y estándar. Esta evaluación se realizó intraoperatoriamente con especial cuidado en la sutura; así como en la fase de impresiones finales. En caso de ausencia de mucosa queratinizada, se realizaría un injerto gingival libre antes de la colocación de la prótesis fija definitiva implantosoportada.

## 7.5 REABSORCIÓN ÓSEA

Los artículos de principios de la década de 1990 definían criterios de éxito para los implantes osteointegrados e indicaban una pérdida ósea aceptable de 1 mm en el primer año, seguida de una pérdida ósea anual de 0,1 mm o 0,2 mm. No existen informes actuales sobre estos criterios. En consecuencia, los cambios acumulados del nivel óseo

comunicados no indican ninguna evidencia de un proceso patológico y deben considerarse aceptables (Moraschini y cols., 2023; Lan y cols., 2021). El éxito del implante se evaluó de acuerdo con los siguientes parámetros clínicos y radiográficos: ausencia de dolor; ausencia de reabsorción ósea marginal progresiva o radiolucidez periimplantaria; y ausencia de sangrado excesivo durante el sondaje periimplantario o movilidad del implante (Moraschini y cols., 2023; Lan y cols., 2021).

Un factor clave para el éxito o el fracaso de los implantes dentales depende de la transmisión de tensiones al hueso circundante. Una carga inadecuada puede provocar la concentración de tensiones en el hueso que rodea al implante, lo que podría conducir a la reabsorción ósea. Se sabe que el componente de carga vertical desempeña un papel fundamental en la carga masticatoria. Por el contrario, el papel del componente de carga horizontal no puede ponerse en entredicho, aunque su valor es mínimo, especialmente cuando se utiliza un implante angulado (Fan y cols., 2023; Vrielinck y cols., 2022).

En nuestro estudio, no se han encontrado diferencias estadísticas significativas entre T0, T1 y T2 en relación con el área ósea cigomática (1°. Y 2°. cuadrantes), la distancia de contacto superior entre el hueso cigomático y el implante cigomático (1° y 2° cuadrantes) y la distancia de contacto inferior entre el hueso cigomático y el implante cigomático (1° y 2° cuadrantes). Los valores de resorción ósea descritos en la literatura suelen estar basados en implantes estándar, no en implantes cigomáticos. Esta diferencia dificulta la comparación de los resultados obtenidos en este estudio con investigaciones similares.

## 7.6 DENSIDAD ÓSEA

La calidad ósea de tipo 4 se encuentra a menudo en el maxilar posterior, y la mala calidad del hueso que se encuentra en esta región se ha considerado un factor de mayor fracaso de los implantes (Zwahlen y cols., 2006). El implante cigomático ofrece anclaje para un puente fijo mediante una cirugía menos invasiva en comparación con los procedimientos de aumento óseo (Malevez y cols., 2003). La combinación de implantes cigomáticos con implantes estándar anteriores puede influir positivamente en la estabilidad del implante durante la cicatrización ósea con prótesis de carga oclusal inmediata (Lan y cols., 2021; Higuchi, 2000). La rehabilitación con implantes cigomáticos requiere un volumen óseo suficiente en el maxilar anterior, con una altura mínima de 10 mm y una anchura de 4 mm, para permitir la colocación de 2 a 4 implantes

convencionales (Pi Urgell y cols., 2008). Si el volumen óseo en la región anterior es insuficiente, deben darse las condiciones idóneas para el injerto óseo y la regeneración ósea guiada (Pi Urgell y cols., 2008).

Tanto la experiencia clínica como los modelos teóricos sugieren que la carga axial efectiva del implante cigomático se consigue mediante la estabilización cruzada de la arcada con un marco de férula rígido utilizando al menos 4 implantes con una extensión anteroposterior adecuada (Parel y cols., 2001). Siguiendo factores protésicos, biomecánicos y anatómicos específicos, el establecimiento del punto de entrada depende de la reabsorción vertical y horizontal del proceso alveolar/basal y de la curvatura anterior de la pared maxilar (Kämmerer y cols., 2023).

Desde el punto de vista prostodóncico, el punto de inicio (emergencia de la cabeza del implante) debe situarse en la parte superior de la cresta alveolar o cerca de ella. Cuando el hueso residual a nivel del suelo sinusal tiene un grosor y una anchura adecuados (mínimo: 4 mm de altura, 6 mm de anchura) en un paciente sin antecedentes de periodontitis, la posición del punto de entrada debe estar cerca de la porción media de la cresta con un trayecto de salida intrasinusal del implante si la pared maxilar es plana o convexa (Kämmerer y cols., 2023). Cuando la altura o el grosor del hueso crestal son inadecuados, el punto de entrada alveolar debe desplazarse hacia bucal, independientemente de la curvatura de la pared maxilar (Kämmerer y cols., 2023). Según la concavidad de la pared maxilar y la altura del hueso nuevo, la osteotomía tiene forma de túnel o canal (Kämmerer y cols., 2023).

En esta investigación, se han identificado diferencias estadísticas altamente significativas a un nivel alfa de 0,01 entre T0, T1 y T2 con respecto a la densidad ósea cigomática, tanto en el cuadrante 1° como en el cuadrante 2°. La prueba post-hoc de Bonferroni ha identificado que las diferencias estadísticas significativas se sitúan entre T0 y los restantes puntos temporales (T1 y T2), presentando los dos últimos valores similares entre sí. Al igual que la resorción ósea, los valores de densidad ósea descritos en la literatura se basan predominantemente en implantes estándar. Por lo tanto, resulta complejo establecer comparaciones directas con los resultados obtenidos en este trabajo.

## 7.7 COMPLICACIONES

En un estudio presentado por Brennand y cols., (2023), la prevalencia global de sinusitis fue del 14,2% con un seguimiento de 65,4 meses. En última instancia, la anatomía individual del paciente y la envoltura protésica deseada, dictan la trayectoria de los implantes hacia un abordaje intra o extrasinusal (Brennand y cols., 2023). Cuando se diagnosticó sinusitis, se informó de un tratamiento satisfactorio con antibióticos y/o mediante una meatotomía quirúrgica sin consecuencias posteriores. El fracaso de los implantes cigomáticos debido a la pérdida de osteointegración era infrecuente cuando se presentaba en un contexto de sinusitis, siendo la extracción quirúrgica el modo más común de pérdida de implantes para tratar la sinusitis no resuelta (Brennand y cols., 2023).

En este estudio se registraron un 8% de complicaciones, presentes en 4 casos clínicos, entre los que destacan: la pérdida de un implante estándar en posición anatómica 2.1, dos casos de sinusitis postoperatoria y una fractura del implante cigomático del cuadrante 2°. Las tasas de complicaciones observadas en este estudio fueron inferiores a las descritas en la literatura. Este resultado podría atribuirse al hecho de que todas las intervenciones quirúrgicas se realizaron en un centro especializado bajo anestesia general, lo que facilitó un mayor control de la asepsia y desinfección.

## 7.8 SUPERVIVENCIA DE LAS PRÓTESIS

La supervivencia de la prótesis osciló entre el 82% y el 100%, con una media del 94% a los 76 meses de seguimiento. La elevada supervivencia de la prótesis reflejaba la de la supervivencia cigomática, aunque existía la posibilidad de confusión, ya que la prótesis definitiva se colocó entre 3 y 6 meses después de la instalación del implante. Los fracasos tempranos de los implantes cigomáticos podrían haber influido en la supervivencia de la prótesis provisional, pero no en la reconstrucción definitiva (Brennand y cols., 2023). Las reconstrucciones soportadas únicamente por implantes convencionales no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los materiales de construcción utilizados para las prótesis atornilladas de arcada completa (Wittneben y cols., 2014). El uso de dientes acrílicos/acrílicos en la mayoría de los estudios ayudó potencialmente a las tasas de supervivencia, ya que la prótesis era

reparable en lugar de perderse. El astillamiento de la resina de recubrimiento fue la segunda complicación más común después de la pérdida de retención (Wittneben y cols., 2014).

Se notificaron con frecuencia casos de aflojamiento de tornillos y pilares (Davó y Pons, 2015; Dash y cols., 2024). Estas complicaciones se han notificado en la bibliografía sobre implantes, pero las tasas de incidencia adversa de las reconstrucciones cigomáticas podrían estar influidas por el mayor movimiento de la prótesis debido a los momentos de flexión (Davó y Pons, 2015; Dash y cols., 2024; Varghese y cols., 2023). Estas complicaciones técnicas se produjeron independientemente de si los implantes cigomáticos estaban ferulizados a implantes convencionales, o de si la prótesis estaba soportada por cuatro implantes cigomáticos. También es posible que este fenómeno de flexión contribuyera a fracturas del material de recubrimiento alejadas de la subestructura metálica (Brennand y cols., 2023).

En este estudio, la tasa de supervivencia de la prótesis fija final implantosoportada fue del 100,0%, durante el seguimiento de 120 meses (10 años). Todas las prótesis colocadas fueron atornilladas retenidas permitiendo la reversibilidad para su control y mantenimiento. Los valores obtenidos en este estudio concuerdan con los reportados en la literatura, revelando tasas de supervivencia sumamente altas. Sin embargo, este trabajo destaca por presentar un período de seguimiento más extenso que las investigaciones previamente publicadas.

## 7.9 LIMITACIONES

Como limitaciones de este estudio, se puede señalar el tamaño muestral de 50 pacientes, el cual podría no ser suficientemente amplio. Adicionalmente, la colocación de los implantes en la zona de la premaxila no siempre ha sido idéntica en todos los casos, debido a las diferencias de disponibilidad ósea. De manera similar, ocurre con los implantes cigomáticos, que no siempre presentan correlación en la longitud entre ambos. Además, cabe destacar la ausencia de estudios similares al nuestro, lo que impide la comparación tanto de la metodología como de los resultados obtenidos.



# 8

## CONCLUSIONES

## 8 - CONCLUSIONES

1. En esta investigación, se han identificado diferencias estadísticas altamente significativas a los diez años, con respecto a la densidad ósea cigomática, encontrando valores superiores según la escala de Hounsfield.
2. No se detectaron variaciones estadísticamente significativas entre el abordaje intrasinusal y extrasinusal.
3. La evaluación de la reabsorción ósea a nivel del hueso cigomático, revela que no existen pérdidas significativas entre los controles iniciales y los finales.
4. Esto sugiere que este tipo de rehabilitación implantológica representa una alternativa viable para pacientes con atrofia ósea maxilar, ofreciendo una solución terapéutica predecible, que permite recuperar la función de manera inmediata y con excelentes tasas de éxito a largo plazo.



# 9

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

## 9 - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aalam AA, Krivitsky-Aalam A, Kurtzman GM, Mahesh L. The severely atrophic maxilla: Decision making with zygomatic and pterygoid dental implants. *J Oral Biol Craniofac Res.* 2023 Mar-Apr;13(2):202-206. doi: 10.1016/j.jobcr.2023.01.008. Epub 2023 Jan 13. PMID: 37065973; PMCID: PMC10091142.

Ahlgren F, Størksen K, Tornes K. A study of 25 zygomatic dental implants with 11 to 49 months' follow-up after loading. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2006 May-Jun;21(3):421-5. PMID: 16796285.

Al-Faraje L. *Clinical anatomy for oral implantology* Quintessence Publishing 2nd Editions 2021.

Al-Nawas B, Wegener J, Bender C, Wagner W. Critical soft tissue parameters of the zygomatic implant. *J Clin Periodontol.* 2004 Jul;31(7):497-500. doi: 10.1111/j.1600-051X.2004.00505.x. PMID: 15191582.

Alterman M, Fleissig Y, Casap N. Zygomatic Implants: Placement Considerations in Implant-Supported Maxillary Prosthesis. *Atlas Oral Maxillofac Surg Clin North Am.* 2021 Sep;29(2):173-183. doi: 10.1016/j.cxom.2021.05.002. Epub 2021 Jul 6. PMID: 34325807.

Annibali S, Cristalli MP, Dell'Aquila D, Bignozzi I, La Monaca G, Piloni A. Short dental implants: a systematic review. *J Dent Res.* 2012 Jan;91(1):25-32. doi: 10.1177/0022034511425675. Epub 2011 Oct 27. PMID: 22034499.

Aparicio C. A proposed classification for zygomatic implant patient based on the zygoma anatomy guided approach (ZAGA): a cross-sectional survey. *Eur J Oral Implantol.* 2011; 4: 269-275.

Aparicio C, Manresa C, Francisco K, Claros P, Alánde J, González-Martín O, Albrektsson T. Zygomatic implants: indications, techniques and outcomes, and the zygomatic success code. *Periodontol 2000*. 2014 Oct;66(1):41-58. doi: 10.1111/prd.12038. PMID: 25123760.

Aparicio C, Ouazzani W, Aparicio A, Fortes V, Muela R, Pascual A, Codesal M, Barluenga N, Franch M. Immediate/Early loading of zygomatic implants: clinical experiences after 2 to 5 years of follow-up. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2010 May;12 Suppl 1:e77-82. doi: 10.1111/j.1708-8208.2008.00134.x. Epub 2008 Dec 3. PMID: 19076177.

Aparicio C, Ouazzani W, Garcia R, Arevalo X, Muela R, Fortes V. A prospective clinical study on titanium implants in the zygomatic arch for prosthetic rehabilitation of the atrophic edentulous maxilla with a follow-up of 6 months to 5 years. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2006;8(3):114-22. doi: 10.1111/j.1708-8208.2006.00009.x. PMID: 16919019.

Aparicio C, Ouazzani W, Hatano N. The use of zygomatic implants for prosthetic rehabilitation of the severely resorbed maxilla. *Periodontol 2000*. 2008;47:162-71. doi: 10.1111/j.1600-0757.2008.00259.x. PMID: 18412580.

Atwood DA. Some clinical factors related to rate of resorption of residual ridges. 1962. *J Prosthet Dent*. 2001 Aug;86(2):119-25. doi: 10.1067/mpr.2001.117609. PMID: 11514795.

Balshi TJ, Wolfinger GJ, Shuscavage NJ, Balshi SF. Zygomatic bone-to-implant contact in 77 patients with partially or completely edentulous maxillas. *J Oral Maxillofac Surg*. 2012 Sep;70(9):2065-9. doi: 10.1016/j.joms.2012.05.016. PMID: 22907109.

Bartlett SP, Grossman R, Whitaker LA. Age-related changes of the craniofacial skeleton: an anthropometric and histologic analysis. *Plast Reconstr Surg*. 1992 Oct;90(4):592-600. doi: 10.1097/00006534-199210000-00007. PMID: 1409994.

Becktor JP, Isaksson S, Abrahamsson P, Sennerby L. Evaluation of 31 zygomatic implants and 74 regular dental implants used in 16 patients for prosthetic reconstruction of the atrophic maxilla with cross-arch fixed bridges. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2005;7(3):159-65. doi: 10.1111/j.1708-8208.2005.tb00060.x. PMID: 16219246.

Bedrossian E. Rehabilitation of the edentulous maxilla with the zygoma concept: a 7-year prospective study. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2010 Nov-Dec;25(6):1213-21. PMID: 21197500.

Bedrossian E, Brunski J, Al-Nawas B, Kämmerer PW. Zygoma implant under function: biomechanical principles clarified. *Int J Implant Dent*. 2023 Jun 22;9(1):15. doi: 10.1186/s40729-023-00483-1. PMID: 37347335; PMCID: PMC10287889.

Bedrossian E, Rangert B, Stumpel L, Indresano T. Immediate function with the zygomatic implant: a graftless solution for the patient with mild to advanced atrophy of the maxilla. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2006 Nov-Dec;21(6):937-42. PMID: 17190304.

Bedrossian E, Sullivan RM, Fortin Y, Malo P, Indresano T. Fixed-prosthetic implant restoration of the edentulous maxilla: a systematic pretreatment evaluation method. *J Oral Maxillofac Surg*. 2008 Jan;66(1):112-22. doi: 10.1016/j.joms.2007.06.687. PMID: 18083424.

Bertos Quílez J, Guijarro-Martínez R, Aboul-Hosn Centenero S, Hernández-Alfaro F. Virtual quad zygoma implant placement using cone beam computed tomography: sufficiency of malar bone volume, intraosseous implant length, and relationship to the sinus according to the degree of alveolar bone atrophy. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2018 Feb;47(2):252-261. doi: 10.1016/j.ijom.2017.07.004. Epub 2017 Aug 18. PMID: 28823906.

Block MS, Emery RW. Static or Dynamic Navigation for Implant Placement-Choosing the Method of Guidance. *J Oral Maxillofac Surg*. 2016 Feb;74(2):269-77. doi: 10.1016/j.joms.2015.09.022. Epub 2015 Sep 30. PMID: 26452429.

Block MS, Haggerty CJ, Fisher GR. Nongrafting implant options for restoration of the edentulous maxilla. *J Oral Maxillofac Surg.* 2009 Apr;67(4):872-81. doi: 10.1016/j.joms.2008.10.008. PMID: 19304049.

Bonnet AS, Postaire M, Lipinski P. Biomechanical study of mandible bone supporting a four-implant retained bridge: finite element analysis of the influence of bone anisotropy and foodstuff position. *Med Eng Phys.* 2009 Sep;31(7):806-15. doi: 10.1016/j.medengphy.2009.03.004. Epub 2009 Apr 22. PMID: 19395303.

Bothur S, Jonsson G, Sandahl L. Modified technique using multiple zygomatic implants in reconstruction of the atrophic maxilla: a technical note. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2003 Nov-Dec;18(6):902-4. PMID: 14696667.

Bothur S, Kullendorff B, Olsson-Sandin G. Asymptomatic chronic rhinosinusitis and osteitis in patients treated with multiple zygomatic implants: a long-term radiographic follow-up. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2015 Jan-Feb;30(1):161-8. doi: 10.11607/jomi.3581. PMID: 25615923.

Boyes-Varley JG, Howes DG, Lownie JF, Blackbeard GA. Surgical modifications to the Brånemark zygomaticus protocol in the treatment of the severely resorbed maxilla: a clinical report. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2003 Mar-Apr;18(2):232-7. PMID: 12705301.

Brånemark PI, Gröndahl K, Öhrnell LO, Nilsson P, Petruson B, Svensson B, Engstrand P, Nannmark U. Zygoma fixture in the management of advanced atrophy of the maxilla: technique and long-term results. *Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg.* 2004;38(2):70-85. doi: 10.1080/02844310310023918. PMID: 15202664.

Brånemark PI, Svensson B, van Steenberghe D. Ten-year survival rates of fixed prostheses on four or six implants ad modum Brånemark in full edentulism. *Clin Oral Implants Res.* 1995 Dec;6(4):227-31. doi: 10.1034/j.1600-0501.1995.060405.x. PMID: 8603114.

Brennand Roper M, Vissink A, Dudding T, Pollard A, Gareb B, Malevez C, Balshi T, Brecht L, Kumar V, Wu Y, Jung R. Long-term treatment outcomes with zygomatic implants: a systematic review and meta-analysis. *Int J Implant Dent*. 2023 Jul 5;9(1):21. doi: 10.1186/s40729-023-00479-x. PMID: 37405545; PMCID: PMC10322814.

Brunski JB. Biomaterials and biomechanics in dental implant design. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 1988 Summer;3(2):85-97. PMID: 3075195.

Candel E, Peñarrocha D, Peñarrocha M. Rehabilitation of the atrophic posterior maxilla with pterygoid implants: a review. *J Oral Implantol*. 2012 Sep;38 Spec No:461-6. doi: 10.1563/AAID-JOI-D-10-00200. Epub 2011 May 13. PMID: 21568718.

Chen HM, Shen K, Ji L, McGrath C, Chen H. Global and Regional Patterns in Edentulism (1990-2021) With Predictions to 2040. *Int Dent J*. 2024 Dec 31:S0020-6539(24)01616-2. doi: 10.1016/j.identj.2024.11.022. Epub ahead of print. PMID: 39743448.

Cawood JJ, Howell RA. A classification of the edentulous jaws. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 1988 Aug;17(4):232-6. doi: 10.1016/s0901-5027(88)80047-x. PMID: 3139793.

Chana H, Smith G, Bansal H, Zahra D. A Retrospective Cohort Study of the Survival Rate of 88 Zygomatic Implants Placed Over an 18-year Period. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2019 Mar/Apr;34(2):461-470. doi: 10.11607/jomi.6790. PMID: 30883622.

Chow J, Hui E, Lee PK, Li W. Zygomatic implants--protocol for immediate occlusal loading: a preliminary report. *J Oral Maxillofac Surg*. 2006 May;64(5):804-11. doi: 10.1016/j.joms.2006.01.021. PMID: 16631489.

Chrcanovic BR, Abreu MH. Survival and complications of zygomatic implants: a systematic review. *Oral Maxillofac Surg*. 2013 Jun;17(2):81-93. doi: 10.1007/s10006-012-0331-z. Epub 2012 May 6. PMID: 22562293.

Chrcanovic BR, Albrektsson T, Wennerberg A. Survival and Complications of Zygomatic Implants: An Updated Systematic Review. *J Oral Maxillofac Surg*. 2016 Oct;74(10):1949-64. doi: 10.1016/j.joms.2016.06.166. Epub 2016 Jun 18. PMID: 27422530.

Chrcanovic BR, Albrektsson T, Wennerberg A. Bone Quality and Quantity and Dental Implant Failure: A Systematic Review and Meta-analysis. *Int J Prosthodont*. 2017 May/June;30(3):219-237. doi: 10.11607/ijp.5142. Epub 2017 Mar 20. PMID: 28319206.

Chrcanovic BR, Oliveira DR, Custódio AL. Accuracy evaluation of computed tomography-derived stereolithographic surgical guides in zygomatic implant placement in human cadavers. *J Oral Implantol*. 2010;36(5):345-55. doi: 10.1563/AAID-JOI-D-09-00074. Epub 2010 Jun 14. PMID: 20545538.

Cooper LF, Thalji G, Al-Tarawneh S. Are Nongrafting Solutions Viable for Dental Implant Treatment in Limited Bone Volume? *Compend Contin Educ Dent*. 2020 Jul/Aug;41(7):368-376; quiz 377. PMID: 32687381.

Dash KC, Naga Venkata Lakshmi Praveena K, Mansuri S, Hussain Ali R, Sailasri K, Karre S, Managutti A. Analysis of Long-Term Success and Biological Complications in Zygomatic Implant-Supported Protheses. *J Pharm Bioallied Sci*. 2024 Jul;16(Suppl 3):S2455-S2457. doi: 10.4103/jpbs.jpbs\_308\_24. Epub 2024 Jun 7. PMID: 39346204; PMCID: PMC11426578.

Davó R, Bankauskas S, Laurincikas R, Koçyigit ID, Mate Sanchez de Val JE. Clinical Performance of Zygomatic Implants-Retrospective Multicenter Study. *J Clin Med*. 2020 Feb 9;9(2):480. doi: 10.3390/jcm9020480. PMID: 32050501; PMCID: PMC7074322.

Davó R, Malevez C, Rojas J. Immediate function in the atrophic maxilla using zygoma implants: a preliminary study. *J Prosthet Dent*. 2007 Jun;97(6 Suppl):S44-51. doi: 10.1016/S0022-3913(07)60007-9. Erratum in: *J Prosthet Dent*. 2008 Mar;99(3):167. PMID: 17618933.

Davó R, Pons O. 5-year outcome of cross-arch prostheses supported by four immediately loaded zygomatic implants: A prospective case series. *Eur J Oral Implantol*. 2015 Summer;8(2):169-74. PMID: 26021227.

de Oliveira-Santos C, Rubira-Bullen IR, Monteiro SA, León JE, Jacobs R. Neurovascular anatomical variations in the anterior palate observed on CBCT images. *Clin Oral Implants Res*. 2013 Sep;24(9):1044-8. doi: 10.1111/j.1600-0501.2012.02497.x. Epub 2012 May 16. PMID: 22587228.

Del Fabbro M, Testori T, Francetti L, Weinstein R. Systematic review of survival rates for implants placed in the grafted maxillary sinus. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2004 Dec;24(6):565-77. PMID: 15626319.

Duarte F, Ramos C, Santos-Marino J, Martínez-Rodríguez N, Barona-Dorado C, Martínez-González JM. Bone Resorption Assessment Following Zygomatic Implants Surgery over 10 Years of Follow-Up. *J Clin Med*. 2025 Feb 4;14(3):989. doi: 10.3390/jcm14030989. PMID: 39941659; PMCID: PMC11818683.

Fan S, Sáenz-Ravello G, Diaz L, Wu Y, Davó R, Wang F, Magic M, Al-Nawas B, Kämmerer PW. The Accuracy of Zygomatic Implant Placement Assisted by Dynamic Computer-Aided Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Clin Med*. 2023 Aug 21;12(16):5418. doi: 10.3390/jcm12165418. PMID: 37629460; PMCID: PMC10455221.

Fernández H, Gómez-Delgado A, Trujillo-Saldarriaga S, Varón-Cardona D, Castro-Núñez J. Zygomatic implants for the management of the severely atrophied maxilla: a retrospective analysis of 244 implants. *J Oral Maxillofac Surg*. 2014 May;72(5):887-91. doi: 10.1016/j.joms.2013.12.029. Epub 2014 Jan 15. PMID: 24576439.

Filho HN, Amaral WS, Curra C, dos Santos PL, Cardoso CL. Zygomatic implant: Late complications in a period of 12 years of experience. *Rev Clin Periodoncia Implantol Rehabil Oral*. 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.piro.2016.03.007>.

Freedman M, Ring M, Stassen LF. Effect of alveolar bone support on zygomatic implants: a finite element analysis study. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2013 May;42(5):671-6. doi: 10.1016/j.ijom.2012.12.006. Epub 2013 Jan 21. PMID: 23347879.

Freedman M, Ring M, Stassen LF. Effect of alveolar bone support on zygomatic implants in an extra-sinus position--a finite element analysis study. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2015 Jun;44(6):785-90. doi: 10.1016/j.ijom.2015.01.009. Epub 2015 Mar 4. PMID: 25748609.

Gabriele G, Chisci G, Cascino F, Ricci NM, Marruganti C, Ferrari M. Technique-Related Survival Rate and Complications of Zygomatic Implant Placement: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2023 Oct 17;38(5):855-875. doi: 10.11607/jomi.10330.PMID: 37847828.

Gaggl A, Schultes G, Kärcher H. Navigational precision of drilling tools preventing damage to the mandibular canal. *J Craniomaxillofac Surg*. 2001 Oct;29(5):271-5. doi: 10.1054/jcms.2001.0239. PMID: 11673921.

Gebretsadik HG. Possible surgical complications of the zygomatic implant in oro-facial reconstructive surgery: A systematic review. *Orapuh Journal*. 2021 2(2), e818.

George P. A novel approach for the placement of zygomatic implants: The zygomatic bone zone index. *Dent Update* 2023; 50: 927–930.

Goiato MC, dos Santos DM, Santiago JF Jr, Moreno A, Pellizzer EP. Longevity of dental implants in type IV bone: a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2014a Sep;43(9):1108-16. doi: 10.1016/j.ijom.2014.02.016. Epub 2014 Mar 27. PMID: 24679842.

Goiato MC, Pellizzer EP, Moreno A, Gennari-Filho H, dos Santos DM, Santiago JF Jr, dos Santos EG. Implants in the zygomatic bone for maxillary prosthetic rehabilitation: a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2014b Jun;43(6):748-57. doi: 10.1016/j.ijom.2014.01.004. Epub 2014 Feb 14. PMID: 24530034.

Goker F, Grecchi E, Del Fabbro M, Longoni S, Stefanelli LV, Grecchi F. Zygomatic Implant Insertion in MRONJ: A Case Report with a Follow-Up of 3 Years. *J Clin Med*. 2023 May 5;12(9):3300. doi: 10.3390/jcm12093300. PMID: 37176739; PMCID: PMC10179021.

Gracher AHP, de Moura MB, da Silva Peres P, Thomé G, Padovan LEM, Trojan LC. Full arch rehabilitation in patients with atrophic upper jaws with zygomatic implants: a systematic review. *Int J Implant Dent*. 2021 Feb 26;7(1):17. doi: 10.1186/s40729-021-00297-z. PMID: 33634393; PMCID: PMC7907402.

Granström G. Osseointegration in irradiated cancer patients: an analysis with respect to implant failures. *J Oral Maxillofac Surg*. 2005 May;63(5):579-85. doi: 10.1016/j.joms.2005.01.008. PMID: 15883929.

Gutiérrez Muñoz D, Obrador Aldover C, Zubizarreta-Macho Á, González Menéndez H, Lorrio Castro J, Peñarrocha-Oltra D, Montiel-Company JM, Hernández Montero S. Survival Rate and Prosthetic and Sinus Complications of Zygomatic Dental Implants for the Rehabilitation of the Atrophic Edentulous Maxilla: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Biology (Basel)*. 2021 Jun 29;10(7):601. doi: 10.3390/biology10070601. PMID: 34209770; PMCID: PMC8301194.

Hattori Y, Satoh C, Kunieda T, Endoh R, Hisamatsu H, Watanabe M. Bite forces and their resultants during forceful intercuspal clenching in humans. *J Biomech*. 2009 Jul 22;42(10):1533-1538. doi: 10.1016/j.jbiomech.2009.03.040. Epub 2009 May 15. PMID: 19446816.

Higuchi KW. The zygomaticus fixture: an alternative approach for implant anchorage in the posterior maxilla. *Ann R Australas Coll Dent Surg*. 2000 Oct;15:28-33. PMID: 11709955.

Hung KF, Ai QY, Fan SC, Wang F, Huang W, Wu YQ. Measurement of the zygomatic region for the optimal placement of quad zygomatic implants. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2017 Oct;19(5):841-848. doi: 10.1111/cid.12524. Epub 2017 Aug 1. PMID: 28766912.

Ishak MI, Abdul Kadir MR, Sulaiman E, Abu Kasim NH. Finite element analysis of different surgical approaches in various occlusal loading locations for zygomatic implant placement for the treatment of atrophic maxillae. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2012 Sep;41(9):1077-89. doi: 10.1016/j.ijom.2012.04.010. Epub 2012 May 9. PMID: 22575179.

Ishak MI, Kadir MR, Sulaiman E, Kasim NH. Finite element analysis of zygomatic implants in intrasinus and extramaxillary approaches for prosthetic rehabilitation in severely atrophic maxillae. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2013 May-Jun;28(3):e151-60. doi: 10.11607/jomi.2304. PMID: 23748334.

Ishak MI, Rosli MU, Ramalludin MR, Termizi SNA, Khor CY, Nawi MAM. Biomechanical assessment of different surgical approaches of zygomatic implant placement on prosthesis stress. 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 932 012108. doi:10.1088/1757-899X/932/1/012108

Jacobs R, Adriansens A, Naert I, Quirynen M, Hermans R, Van Steenberghe D. Predictability of reformatted computed tomography for pre-operative planning of endosseous implants. *Dentomaxillofac Radiol*. 1999 Jan;28(1):37-41. doi: 10.1038/sj.dmfr.4600403. PMID: 10202477.

Jensen OT. Complete arch site classification for all-on-4 immediate function. *J Prosthet Dent*. 2014 Oct;112(4):741-51.e2. doi: 10.1016/j.prosdent.2013.12.023. Epub 2014 May 13. PMID: 24831746.

Jensen OT, Adams MW, Smith E. Paranasal bone: the prime factor affecting the decision to use transsinus vs zygomatic implants for biomechanical support for immediate function in maxillary dental implant reconstruction. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2014 Jan-Feb;29(1):e130-8. doi: 10.11607/jomi.te52. PMID: 24451881.

Jensen OT, Cottam J, Ringeman J, Adams M. Trans-sinus dental implants, bone morphogenetic protein 2, and immediate function for all-on-4 treatment of severe maxillary atrophy. *J Oral Maxillofac Surg*. 2012 Jan;70(1):141-8. doi: 10.1016/j.joms.2011.03.045. Epub 2011 Jul 28. PMID: 21802186.

Jorba-García A, Figueiredo R, González-Barnadas A, Camps-Font O, Valmaseda-Castellón E. Accuracy and the role of experience in dynamic computer guided dental implant surgery: An in-vitro study. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 2019 Jan 1;24(1):e76-e83. doi: 10.4317/medoral.22785. PMID: 30573712; PMCID: PMC6344002.

Kämmerer PW, Fan S, Aparicio C, Bedrossian E, Davó R, Morton D, Raghoobar GM, Zarrine S, Al-Nawas B. Evaluation of surgical techniques in survival rate and complications of zygomatic implants for the rehabilitation of the atrophic edentulous maxilla: a systematic review. *Int J Implant Dent*. 2023 May 17;9(1):11. doi: 10.1186/s40729-023-00478-y. PMID: 37198345; PMCID: PMC10192488.

Kato Y, Kizu Y, Tonogi M, Ide Y, Yamane GY. Internal structure of zygomatic bone related to zygomatic fixture. *J Oral Maxillofac Surg*. 2005 Sep;63(9):1325-9. doi: 10.1016/j.joms.2005.05.313. PMID: 16122597.

Komiyama T, Gallagher JE, Hattori Y. Relationship between tooth loss and progression of frailty: Findings from the English longitudinal study of aging. *Arch Gerontol Geriatr*. 2024 Dec;127:105572. doi: 10.1016/j.archger.2024.105572. Epub 2024 Jul 9. PMID: 39003834.

Krauthammer M, Shuster A, Mezaad-Koursh D, Shlomi B, Stolovitch C, Leibovitch I. Extraocular muscle damage from dental implant penetration to the orbit. *Am J Ophthalmol Case Rep*. 2016 Nov 17;5:94-96. doi: 10.1016/j.ajoc.2016.11.008. PMID: 29503957; PMCID: PMC5758015.

la Encina AC, Martínez-Rodríguez N, Ortega-Aranegui R, Cortes-Bretón Brinkmann J, Martínez-González JM, Barona-Dorado C. Anatomical variations and accessory structures in the maxilla in relation to implantological procedures: an observational retrospective study of 212 cases using cone-beam computed tomography. *Int J Implant Dent*. 2022 Nov 28;8(1):59. doi: 10.1186/s40729-022-00459-7. PMID: 36441355; PMCID: PMC9705638.

Lan K, Wang F, Huang W, Davó R, Wu Y. Quad Zygomatic Implants: A Systematic Review and Meta-analysis on Survival and Complications. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2021 Jan-Feb;36(1):21-29. doi: 10.11607/jomi.8417. PMID: 33600519.

Landes CA. Zygoma implant-supported midfacial prosthetic rehabilitation: a 4-year follow-up study including assessment of quality of life. *Clin Oral Implants Res*. 2005 Jun;16(3):313-25. doi: 10.1111/j.1600-0501.2005.01096.x. PMID: 15877752.

Lekholm U, Zarb G. Patient selection and preparation. In: Brånemark PI, Zarb G, Albrektsson T, editors. *Tissue Integrated Prostheses*. Chicago: Quintessence; 1985. p. 99-211.

Li KK, Stephens WL, Gliklich R. Reconstruction of the severely atrophic edentulous maxilla using Le Fort I osteotomy with simultaneous bone graft and implant placement. *J Oral Maxillofac Surg*. 1996 May;54(5):542-6; discussion 547. doi: 10.1016/s0278-2391(96)90626-6. PMID: 8632236.

Linnau KF, Stanley RB Jr, Hallam DK, Gross JA, Mann FA. Imaging of high-energy midfacial trauma: what the surgeon needs to know. *Eur J Radiol*. 2003 Oct;48(1):17-32. doi: 10.1016/s0720-048x(03)00205-5. PMID: 14511857.

Lombardo G, D'Agostino A, Trevisiol L, Romanelli MG, Mascellaro A, Gomez-Lira M, Pardo A, Favero V, Nocini PF. Clinical, microbiologic and radiologic assessment of soft and hard tissues surrounding zygomatic implants: a retrospective study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*. 2016 Nov;122(5):537-546. doi: 10.1016/j.oooo.2016.06.011. Epub 2016 Jun 29. PMID: 27601349.

Lopes A, de Araújo Nobre M, Ferro A, Moura Guedes C, Almeida R, Nunes M. Zygomatic Implants Placed in Immediate Function through Extra-Maxillary Surgical Technique and 45 to 60 Degrees Angulated Abutments for Full-Arch Rehabilitation of Extremely Atrophic Maxillae: Short-Term Outcome of a Retrospective Cohort. *J Clin Med*. 2021 Aug 16;10(16):3600. doi: 10.3390/jcm10163600. PMID: 34441896; PMCID: PMC8397045.

Malevez C, Daelemans P, Adriaenssens P, Durdu F. Use of zygomatic implants to deal with resorbed posterior maxillae. *Periodontol* 2000. 2003;33:82-9. doi: 10.1046/j.0906-6713.2002.03307.x. PMID: 12950843.

Maló P, Nobre Mde A, Lopes A, Ferro A, Moss S. Five-year outcome of a retrospective cohort study on the rehabilitation of completely edentulous atrophic maxillae with immediately loaded zygomatic implants placed extra-maxillary. *Eur J Oral Implantol*. 2014 Autumn;7(3):267-81. PMID: 25237671.

Maló P, Nobre Mde A, Lopes I. A new approach to rehabilitate the severely atrophic maxilla using extramaxillary anchored implants in immediate function: a pilot study. *J Prosthet Dent*. 2008 Nov;100(5):354-66. doi: 10.1016/S0022-3913(08)60237-1. PMID: 18992569.

Mameno T, Otsuki N, Takeuchi S, Yamamoto R, Ikebe K. Removable denture use, fit, and all-cause mortality in older adults with reduced occlusal support: The OHSAKA study. *J Prosthet Dent*. 2024 Nov 29:S0022-3913(24)00738-8. doi: 10.1016/j.prosdent.2024.10.037. Epub ahead of print. PMID: 39616101.

Mavriqi L, Lorusso F, Conte R, Rapone B, Scarano A. Zygomatic implant penetration to the central portion of orbit: a case report. *BMC Ophthalmol*. 2021 Mar 6;21(1):121. doi: 10.1186/s12886-021-01846-1. PMID: 33676433; PMCID: PMC7936463.

Mendelson B, Wong CH. Changes in the facial skeleton with aging: implications and clinical applications in facial rejuvenation. *Aesthetic Plast Surg*. 2012 Aug;36(4):753-60. doi: 10.1007/s00266-012-9904-3. Epub 2012 May 12. PMID: 22580543; PMCID: PMC3404279.

Merli M, Aquilanti L, Merli M, Mariotti G, Rappelli G. The TACOS Technique: A Stepwise Protocol for Alveolar Ridge Augmentation Using Customized Titanium Mesh. *Medicina (Kaunas)*. 2025 Jan 2;61(1):58. doi: 10.3390/medicina61010058. PMID: 39859040; PMCID: PMC11766990.

Migliorança RM. History of zygomatic implants: A systematic review and meta-analysis. *Dent Oral Craniofac Res*, 2019 5:1-9. doi: 10.15761/DOCR.1000289

Migliorança RM, Sotto-Maior BS, Senna PM, Francischone CE, Del Bel Cury AA. Immediate occlusal loading of extrasinus zygomatic implants: a prospective cohort study with a follow-up period of 8 years. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2012 Sep;41(9):1072-6. doi: 10.1016/j.ijom.2012.05.029. Epub 2012 Jul 9. PMID: 22784656.

Mommaerts MY. Evolutionary steps in the design and biofunctionalization of the additively manufactured sub-periosteal jaw implant 'AMSJI' for the maxilla. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2019 Jan;48(1):108-114. doi: 10.1016/j.ijom.2018.08.001. Epub 2018 Aug 18. PMID: 30131272.

Moraschini V, de Queiroz TR, Sartoretto SC, de Almeida DCF, Calasans-Maia MD, Louro RS. Survival and complications of zygomatic implants compared to conventional implants reported in longitudinal studies with a follow-up period of at least 5 years: A systematic review and meta-analysis. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2023 Feb;25(1):177-189. doi: 10.1111/cid.13153. Epub 2022 Nov 14. PMID: 36373779.

Nimbalkar S, Dhattrak P, Gherde C, Joshi S. A review article on factors affecting bone loss in dental implants. *Materials Today - Proceedings* 2021 43(2):970-976. doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.428

Nkenke E, Hahn M, Lell M, Wiltfang J, Schultze-Mosgau S, Stech B, Radespiel-Tröger M, Neukam FW. Anatomic site evaluation of the zygomatic bone for dental implant placement. *Clin Oral Implants Res*. 2003 Feb;14(1):72-9. doi: 10.1034/j.1600-0501.2003.140110.x. PMID: 12562368.

Oliveira MR, Gonçalves A, Gabrielli MAC, Pereira-Filho VA. Radiographic Evaluation in the Diagnosis of Alveolar Bone Quality in Implant Rehabilitation. *J Craniofac Surg*. 2020 Sep;31(6):1805-1808. doi: 10.1097/SCS.0000000000006755. PMID: 32657993.

Ottenhausen M, Kalasauskas D, Kramer A, Neuhoff J, Serrano L, Schwandt E, Ringel F. Bone Flap Necrosis due to Low Grade Infection with *Propionibacterium Acnes*. *World Neurosurg.* 2018 Dec 24:S1878-8750(18)32878-X. doi: 10.1016/j.wneu.2018.12.055. Epub ahead of print. PMID: 30590219.

Parel SM, Brånemark PI, Ohnelt LO, Svensson B. Remote implant anchorage for the rehabilitation of maxillary defects. *J Prosthet Dent.* 2001 Oct;86(4):377-81. doi: 10.1067/mps.2001.118874. PMID: 11677531.

Parel SM, Phillips WR. A risk assessment treatment planning protocol for the four implant immediately loaded maxilla: preliminary findings. *J Prosthet Dent.* 2011 Dec;106(6):359-66. doi: 10.1016/S0022-3913(11)60147-9. PMID: 22133392.

Patzelt SB, Bahat O, Reynolds MA, Strub JR. The all-on-four treatment concept: a systematic review. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2014 Dec;16(6):836-55. doi: 10.1111/cid.12068. Epub 2013 Apr 5. PMID: 23560986.

Pellegrino G, Grande F, Ferri A, Pisi P, Gandolfi MG, Marchetti C. Three-Dimensional Radiographic Evaluation of the Malar Bone Engagement Available for Ideal Zygomatic Implant Placement. *Methods Protoc.* 2020 Jul 22;3(3):52. doi: 10.3390/mps3030052. PMID: 32707931; PMCID: PMC7564428.

Peñarrocha M, García B, Martí E, Boronat A. Rehabilitation of severely atrophic maxillae with fixed implant-supported prostheses using zygomatic implants placed using the sinus slot technique: clinical report on a series of 21 patients. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2007 Jul-Aug;22(4):645-50. PMID: 17929527.

Peñarrocha M, Uribe R, García B, Martí E. Zygomatic implants using the sinus slot technique: clinical report of a patient series. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2005 Sep-Oct;20(5):788-92. PMID: 16274155.

Pérez AS, Pastorino D, Aparicio C, Neyra MP, Khan RS, Wright S, Ucer C. Success Rates of Zygomatic Implants for the Rehabilitation of Severely Atrophic Maxilla: A Systematic Review. *Dent. J.* 2022, 10, 151, <https://doi.org/10.3390/dj10080151>.

Pessa JE, Slice DE, Hanz KR, Broadbent TH Jr, Rohrich RJ. Aging and the shape of the mandible. *Plast Reconstr Surg.* 2008 Jan;121(1):196-200. doi: 10.1097/01.prs.0000293864.94138.ae. PMID: 18176221.

Petruson B. Sinuscopy in patients with titanium implants in the nose and sinuses. *Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg.* 2004;38(2):86-93. doi: 10.1080/02844310310023909. PMID: 15202665.

Pi Urgell J, Revilla Gutiérrez V, Gay Escoda CG. Rehabilitation of atrophic maxilla: a review of 101 zygomatic implants. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 2008 Jun 1;13(6):E363-70. PMID: 18521062.

Polido WD, Machado-Fernandez A, Lin WS, Aghaloo T. Indications for zygomatic implants: a systematic review. *Int J Implant Dent.* 2023 Jul 1;9(1):17. doi: 10.1186/s40729-023-00480-4. PMID: 37391575; PMCID: PMC10313639.

Prado FB, Freire AR, Cláudia Rossi A, Ledogar JA, Smith AL, Dechow PC, Strait DS, Voigt T, Ross CF. Review of In Vivo Bone Strain Studies and Finite Element Models of the Zygomatic Complex in Humans and Nonhuman Primates: Implications for Clinical Research and Practice. *Anat Rec (Hoboken).* 2016 Dec;299(12):1753-1778. doi: 10.1002/ar.23486. PMID: 27870351.

Qu XZ, Wang MY, Ong HS, Zhang CP. Post-operative hemimaxillectomy rehabilitation using prostheses supported by zygoma implants and remaining natural teeth. *Clinics (Sao Paulo).* 2016 Oct 1;71(10):575-579. doi: 10.6061/clinics/2016(10)04. PMID: 27759845; PMCID: PMC5054771.

Reychler H, Olszewski R. Intracerebral penetration of a zygomatic dental implant and consequent therapeutic dilemmas: case report. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2010 Mar-Apr;25(2):416-8. PMID: 20369103.

Ribeiro-Rotta RF, de Oliveira RC, Dias DR, Lindh C, Leles CR. Bone tissue microarchitectural characteristics at dental implant sites part 2: correlation with bone classification and primary stability. *Clin Oral Implants Res.* 2014 Feb;25(2):e47-53. doi: 10.1111/clr.12046. Epub 2012 Oct 29. PMID: 23106552.

Rigolizzo MB, Camilli JA, Francischone CE, Padovani CR, Brånemark PI. Zygomatic bone: anatomic bases for osseointegrated implant anchorage. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2005 May-Jun;20(3):441-7. PMID: 15973956.

Romeed SA, Hays RN, Malik R, Dunne SM. Extrasinus zygomatic implant placement in the rehabilitation of the atrophic maxilla: three-dimensional finite element stress analysis. *J Oral Implantol.* 2015 Apr;41(2):e1-6. doi: 10.1563/AAID-JOI-D-12-00276. Epub 2013 Sep 5. PMID: 24007531.

Rosas-Díaz JC, Córdova-Limaylla NE, PalominoZorrilla JJ, Guerrero ME, Carreteros R, Cervantes-Ganoza LA, y cols. Repeatability and reproducibility of a modified Lekholm and Zarb bone quality classification based on cone beam computed tomography. *J Int Soc Prevent Communit Dent.* 2023 Mar;17. doi: 10.4103/jispcd.JISPCD\_291\_21

Sanavia C, Vallergera E, Alessi F, Tealdo T, Bevilacqua M, Alberti C, Menini M, Pesce P. Five Steps for the Maintenance and Interception of Complications in Zygomatic Implants. *Dent J (Basel).* 2023 Sep 22;11(10):226. doi: 10.3390/dj11100226. PMID: 37886911; PMCID: PMC10605483.

Schliephake H. The role of systemic diseases and local conditions as risk factors. *Periodontol 2000.* 2022 Feb;88(1):36-51. doi: 10.1111/prd.12409. PMID: 35103330.

Solà Pérez A, Pastorino D, Aparicio C, Pegueroles Neyra M, Khan RS, Wright S, Ucer C. Success Rates of Zygomatic Implants for the Rehabilitation of Severely Atrophic Maxilla: A Systematic Review. *Dent J (Basel).* 2022 Aug 12;10(8):151. doi: 10.3390/dj10080151. PMID: 36005249; PMCID: PMC9406716.

Stella JP, Warner MR. Sinus slot technique for simplification and improved orientation of zygomaticus dental implants: a technical note. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2000 Nov-Dec;15(6):889-93. PMID: 11151591.

Stiévenart M, Malevez C. Rehabilitation of totally atrophied maxilla by means of four zygomatic implants and fixed prosthesis: a 6-40-month follow-up. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2010 Apr;39(4):358-63. doi: 10.1016/j.ijom.2010.01.009. Epub 2010 Feb 18. PMID: 20171057.

Takamaru N, Nagai H, Ohe G, Tamatani T, Sumida K, Kitamura S, Miyamoto Y. Measurement of the zygomatic bone and pilot hole technique for safer insertion of zygomaticus implants. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2016 Jan;45(1):104-9. doi: 10.1016/j.ijom.2015.07.015. Epub 2015 Sep 26. PMID: 26395065.

Tallgren A. The continuing reduction of the residual alveolar ridges in complete denture wearers: a mixed-longitudinal study covering 25 years. 1972. *J Prosthet Dent*. 2003 May;89(5):427-35. doi: 10.1016/s0022-3913(03)00158-6. PMID: 12806317.

Tavelli C, Tedesco A. Survival and complication rate of zygomatic implants: a systematic review. *J Oral Implantol*. 2022 Dec 6. doi: 10.1563/aaaid-joi-D-22-00008. Epub ahead of print. PMID: 36473176.

Tiwari Arun Kumar, Ahmad Naeem, Verma AK, Ali Mariyam, Deo Krishna, Pandey Kaushik Kumar. Residual ridge resorption: The unstoppable. *Int J Appl Res* 2016;2(2):169-171.

Tran AQ, Reyes-Capó DP, Patel NA, Pasol J, Capó H, Wester ST. Zygomatic dental implant induced orbital fracture and inferior oblique trauma. *Orbit*. 2019 Jun;38(3):236-239. doi: 10.1080/01676830.2018.1444063. Epub 2018 Mar 22. PMID: 29565705.

Tzerbos F, Bountaniotis F, Theologie-Lygidakis N, Fakitsas D, Fakitsas I. Complications of Zygomatic Implants: Our Clinical Experience with 4 Cases. *Acta Stomatol Croat*. 2016 Sep;50(3):251-257. doi: 10.15644/asc50/3/8. PMID: 27847399; PMCID: PMC5108285.

Uchida Y, Goto M, Katsuki T, Akiyoshi T. Measurement of the maxilla and zygoma as an aid in installing zygomatic implants. *J Oral Maxillofac Surg*. 2001 Oct;59(10):1193-8. doi: 10.1053/joms.2001.26725. PMID: 11573181.

Ujigawa K, Kato Y, Kizu Y, Tonogi M, Yamane GY. Three-dimensional finite elemental analysis of zygomatic implants in craniofacial structures. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2007 Jul;36(7):620-5. doi: 10.1016/j.ijom.2007.03.007. Epub 2007 May 22. PMID: 17517497.

Van Steenberghe D, Malevez C, Van Cleynenbreugel J, Bou Serhal C, Dhoore E, Schutyser F, Suetens P, Jacobs R. Accuracy of drilling guides for transfer from three-dimensional CT-based planning to placement of zygoma implants in human cadavers. *Clin Oral Implants Res*. 2003 Feb;14(1):131-6. doi: 10.1034/j.1600-0501.2003.140118.x. PMID: 12562376.

Varghese KG, Gandhi N, Kurian N, Daniel AY, Dhawan K, Joseph M, Varghese MG. Rehabilitation of the severely resorbed maxilla by using quad zygomatic implant-supported prostheses: a systematic review and meta-analysis. *J Prosthet Dent*. 2023 Oct;130(4):543-552. doi: 10.1016/j.pros.dent.2021.11.007. Epub 2021 Dec 14. PMID: 34920870.

Vázquez-Delgado E, Viaplana-Gutiérrez M, Figueiredo R, Renton T, Gay-Escoda C, Valmaseda-Castellón E. Prevalence of neuropathic pain and sensory alterations after dental implant placement in a university-based oral surgery department: A retrospective cohort study. *Gerodontology*. 2018 Jun;35(2):117-122. doi: 10.1111/ger.12326. Epub 2018 Feb 19. PMID: 29460459.

Vercruyssen M, Fortin T, Widmann G, Jacobs R, Quirynen M. Different techniques of static/dynamic guided implant surgery: modalities and indications. *Periodontol* 2000. 2014 Oct;66(1):214-27. doi: 10.1111/prd.12056. PMID: 25123770.

Vosselman N, Glas HH, de Visscher SAHJ, Kraeima J, Merema BJ, Reintsema H, Raghoobar GM, Witjes MJH. Immediate implant-retained prosthetic obturation after maxillectomy based on zygomatic implant placement by 3D-guided surgery: a cadaver study. *Int J Implant Dent*. 2021 Jun 14;7(1):54. doi: 10.1186/s40729-021-00335-w. PMID: 34121148; PMCID: PMC8200332.

Vosselman N, Glas HH, Merema BJ, Kraeima J, Reintsema H, Raghoobar GM, Witjes MJH, de Visscher SAHJ. Three-Dimensional Guided Zygomatic Implant Placement after Maxillectomy. *J Pers Med*. 2022 Apr 6;12(4):588. doi: 10.3390/jpm12040588. PMID: 35455704; PMCID: PMC9027393.

Vrielinck L, Moreno-Rabie C, Schepers S, Van Eyken P, Coucke W, Politis C. Perizygomatic infection associated with zygomatic implants: A retrospective longitudinal cohort study. *Clin Oral Implants Res*. 2022 Apr;33(4):405-412. doi: 10.1111/clr.13900. Epub 2022 Feb 15. PMID: 35137456.

Wadde K, Kokitkar S, Venkatakrishnan L, Ranganath S, Khair S. Comparative Evaluation of Sinus Complication and Survival Rates of Quad Zygoma versus Bizygoma in Combination with two Regular Implants in Atrophic Maxilla: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Maxillofac Oral Surg*. 2024 Jun;23(3):710-718. doi: 10.1007/s12663-024-02136-1. Epub 2024 Apr 15. PMID: 38911424 Review.

Wang F, Bornstein MM, Hung K, Fan S, Chen X, Huang W, Wu Y. Application of Real-Time Surgical Navigation for Zygomatic Implant Insertion in Patients With Severely Atrophic Maxilla. *J Oral Maxillofac Surg*. 2018 Jan;76(1):80-87. doi: 10.1016/j.joms.2017.08.021. Epub 2017 Aug 24. PMID: 28911958.

Wittneben JG, Millen C, Brägger U. Clinical performance of screw- versus cement-retained fixed implant-supported reconstructions--a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2014;29 Suppl:84-98. doi: 10.11607/jomi.2014suppl.g2.1. PMID: 24660192.

Won Woven. Bone resorption and prosthodontics. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 1973; 29:471-13.

Wyatt CC. The effect of prosthodontic treatment on alveolar bone loss: a review of the literature. *J Prosthet Dent*. 1998 Sep;80(3):362-6. doi: 10.1016/s0022-3913(98)70138-6. PMID: 9760370.

Xu X, Zhao S, Liu H, Sun Z, Wang J, Zhang W. An Anatomical Study of Maxillary-Zygomatic Complex Using Three-Dimensional Computerized Tomography-Based Zygomatic Implantation. *Biomed Res Int*. 2017;2017:8027307. doi: 10.1155/2017/8027307. Epub 2017 Dec 11. PMID: 29376077; PMCID: PMC5742432.

Zwahlen RA, Grätz KW, Oechslin CK, Studer SP. Survival rate of zygomatic implants in atrophic or partially resected maxillae prior to functional loading: a retrospective clinical report. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2006 May-Jun;21(3):413-20. PMID: 16796284.



# 10

ANEXOS



## **10 - ANEXOS**

### **10.1 ÍNDICE DE ABREVIATURAS**

CBCT: tomografía computarizada de haz cónico

RRR: reducción de la cresta residual

DMO: densidad mineral ósea

OAF: factor activador de osteoclastos

Punto A: proceso alveolar maxilar

Punto Ju: punto jugale

FI: Agujero infraorbitario

MDP: plano medio sagital

N: nasión

InF: foramen incisivo

Zm: región cigomaxilar

MP: punto medio entre Ju y Zm

VOI: volúmenes de interés

BV/TV: densidad de volumen óseo

Tb.Th: espesor de la placa trabecular

Tb.N: número de placas trabeculares

Tb.Sp: separación de la placa trabecular

TC: tomografía computarizada

TCO: técnica quirúrgica original

FEA: análisis de elementos finitos

PF: prótesis fija

BIC: contacto hueso-implante

CSR: tasa de supervivencia acumulada

OAC: comunicación oroantral

CAS: cirugía asistida por ordenador

## **10.2 PUBLICACIÓN CIENTÍFICA**



Article

# Bone Resorption Assessment Following Zygomatic Implants Surgery over 10 Years of Follow-Up

Fernando Duarte <sup>1</sup>, Carina Ramos <sup>2</sup>, Juan Santos-Marino <sup>1</sup>, Natalia Martínez-Rodríguez <sup>3,4,\*</sup> ,  
Cristina Barona-Dorado <sup>3,4</sup>  and José María Martínez-González <sup>3,4</sup> 

<sup>1</sup> Department of Surgery, Faculty of Medicine, University of Salamanca, 37007 Salamanca, Spain; fduarte@clitrofa.com (F.D.); juansantos@usal.es (J.S.-M.)

<sup>2</sup> Clitrofa Education Academy, 4785-248 Trofa, Portugal; cramos@clitrofa.com

<sup>3</sup> Department of Clinical Dental Specialities, Complutense University of Madrid, 28040 Madrid, Spain; cbarona@ucm.es (C.B.-D.); jmargo@ucm.es (J.M.M.-G.)

<sup>4</sup> Surgical and Implant Therapies in the Oral Cavity Research Group, Complutense University, 28040 Madrid, Spain

\* Correspondence: nataliamartinez@ucm.es; Tel.: +34-639-472-690

**Abstract:** The presence of sufficient bone volumes is one of the most important criteria for the success of oral implant osseointegration. Therefore, the rehabilitation of edentulous atrophic maxillae represents the greatest challenge in terms of oral rehabilitation. Techniques such as bone grafts, angled implants, short implants, tuberosity, and pterygoid implants may not always be a viable alternative in the subsequent rehabilitation of the posterior atrophic maxilla. A breakthrough occurred when Brånemark first introduced longer, custom-designed implants inserted into the zygomatic bone to support craniofacial prosthesis in the 1980s. When used in the treatment of atrophic jaws, zygomatic implants provide a safe and effective alternative, with stable long-term results. **Objectives:** We aimed to retrospectively evaluate zygomatic bone resorption ten years after the placement of zygomatic implants. **Methods:** A retrospective observational study was designed to evaluate bone resorption over ten years following the placement of zygomatic implants. In a study group of 50 patients, using Hounsfield scales, the area of the zygoma and its bone density were established and evaluated. The NewTom NNT Analysis software (NewTom<sup>®</sup>, Imola, Italy) was employed to trace the bone and implant limits on CBCT scans. Using this software, the three-dimensional information of the postoperative CBCT image was compared with the ten-year postoperative CBCT image, allowing for the assessment of the zygomatic bone resorption and bone density. **Results:** Highly significant statistical differences to an alpha level of 0.01 were identified between T0 (pre-op), T1 (12 months), and T2 (120 months) concerning zygomatic bone density, both in the first and in the second quadrants. The post hoc Bonferroni test revealed that significant statistical differences were observed between T0 and the remaining timepoints (T1 and T2), with the latter two exhibiting similar values. **Conclusions:** The evaluation of the resorption at the level of the zygoma, ten years after the placement of zygomatic implants, reveals that there are no significant losses between the initial and final controls. Therefore, it follows that this type of implant rehabilitation represents a viable alternative approach in patients with bone atrophy of the maxilla, offering a predictable therapeutic solution that enables immediate full function and excellent long-term success rates. However, we must not neglect the potential for future innovations in GBR involving the use of barrier membranes, either resorbable or non-resorbable, and even the application of titanium alveolar customized osteogenic scaffold, in conjunction with autologous bone grafts or biomaterials.



Academic Editor: Joseph Nissan

Received: 10 December 2024

Revised: 30 January 2025

Accepted: 31 January 2025

Published: 4 February 2025

**Citation:** Duarte, F.; Ramos, C.; Santos-Marino, J.; Martínez-Rodríguez, N.; Barona-Dorado, C.; Martínez-González, J.M. Bone Resorption Assessment Following Zygomatic Implants Surgery over 10 Years of Follow-Up. *J. Clin. Med.* **2025**, *14*, 989. <https://doi.org/10.3390/jcm14030989>

**Copyright:** © 2025 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

**Keywords:** zygomatic implant; zygoma bone resorption; long-term bone resorption

## 1. Introduction

Maxillary edentulism is increasingly prevalent globally. The World Health Organization (WHO) indicates that the primary etiological factors for tooth loss include a chronic history of oral diseases, notably extensive dental caries, and advanced periodontal disease. Additionally, tooth loss may arise from other factors such as traumatic injuries, pathological conditions, infections, and various systemic health issues [1]. Cardiovascular conditions and bleeding disorders that interfere with invasive procedures can affect surgery, healing, and implant maintenance. Systemic and local factors may also compromise bone and soft tissue healing after implant insertion [2]. Important systemic factors include osteoporosis, anti-bone resorptive medications, diabetes mellitus, and immune deficiency, and behavioral factors include substance abuse, in particular tobacco and alcohol. Local factors that should be considered include history of radiation therapy or oral mucosal diseases [2].

Over the last 30 years, the number of individuals with edentulism has doubled. A decrease in the incidence rate of edentulism was found in younger age groups, and there was a shift in the peak age of prevalence from 70 to 74 in 1990 to 75–79 in 2021 [3]. Globally, females have a higher prevalence rate of edentulism than males, with a disproportionate burden in regions with a high demographic index [3].

Edentulism remains a significant global public health concern, with the global prevalence rate projected to increase to 5004 individuals per 100,000 in 2040 [3]. The loss of teeth can have various implications, including psychological challenges, social impacts, and functional limitations. The effects of edentulism may diminish an individual's ability to consume food, leading to potential difficulties in chewing. This situation can result in notable changes in nutrition and may increase the risk of conditions such as obesity, diabetes, coronary artery disease, and certain types of cancer. Addressing these issues with care and attention is essential for overall well-being [1].

As the global population ages, tooth loss among older adults has become increasingly common, impacting oral function and overall health. Although removable dentures have been used to improve masticatory function, the long-term effects of denture conditions on mortality remain unclear [4]. After tooth loss, resorption of the alveolar bone in the maxilla occurs in a posterior/superior and lateral-to-medial direction [1]. Tooth loss is associated with the accelerated progression of frailty, and utilizing dentures did not reduce this trend [5].

The process of sinus pneumatization, combined with the resorption of alveolar bone, can potentially lead to a reduction in both vertical and horizontal bone volume in the posterior region of the jaw. Furthermore, a lack of significant anterior alveolar bone resorption may pose challenges to the use of conventional implants. It is also worth noting that the extended use of complete dentures may contribute to an increased degree of maxillary atrophy [6,7].

Alternative treatments are available for the atrophic maxilla, some of which use bone grafts, such as the iliac crest block bone graft, Le Fort I osteotomy, onlay-type bone grafting techniques, or maxillary sinus lift procedures in the posterior sectors of the maxilla [8]. Bone augmentation techniques, including guided bone regeneration (GBR), have emerged as indispensable tools for the treatment of complex defects. GBR involves the use of barrier membranes, resorbable or not, in conjunction with autologous bone grafts or biomaterials. The selection of membrane type and graft material depends on the size, shape, and complexity of the defect [9]. These techniques have several disadvantages:

the need for multiple surgeries; the use of extraoral donor areas, which involves extra morbidity; and the length of time the patient has to spend without oral rehabilitation waiting for graft consolidation and healing. An alternative solution is to place implants in the zygomatic bone [8].

Zygoma implants were first introduced by Brånemark in 1988 with the original purpose of rehabilitating patients who had undergone maxillectomy due to tumor resection, trauma, or congenital defects [10–12]. However, the function of this implant has since expanded to the rehabilitation of patients with severely resorbed edentulous maxilla [10,12,13].

The original zygomatic Brånemark protocol included one implant on each zygoma, traversing the sinus, and splinted to 2 to 4 conventional implants in the anterior region [7]. Since then, numerous modifications to zygomatic implant designs, surgical approaches, and loading protocols have been documented in the literature with quite favorable results [12,14].

However, the survival of these implants has been assessed based on possible complications and the resorption that occurs at the crest of the maxilla [15,16]. There are no studies in the literature that evaluate the resorption that may occur in the main anchorage bone, which is the zygomatic bone. Therefore, the objective of this research is to retrospectively analyze ten years of rehabilitation with zygomatic implants, assessing whether there are losses at the level of the zygoma, proposing as a null hypothesis that these implants remain stable over time without the presence of bone resorption at the level of the zygomatic bone.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Research Design

A retrospective observational study was designed to evaluate patients treated with zygomatic implants. The participants in this study came from the Master of Science in Oral Surgery and Implantology of the Faculty of Dentistry, Universidad Complutense Madrid. This study was conducted in accordance with the provisions laid down in the Declaration of Helsinki. The protocol was submitted and approved by the CEIM Hospital Clínico San Carlos ethics committee with the internal identification number 24/522-E.

### 2.2. Sample

The clinical records of patients rehabilitated with two zygomatic implants and with a follow-up of at least ten years were reviewed. The inclusion criteria were as follows: (1) total edentulism of the maxilla; (2) performance of CBCT studies (NewTom 5G®, Imola, Italy) prior to surgical treatment, one year after, and ten years after prosthetic loading; and (3) acceptance of patients for their participation and scientific dissemination of their results. The exclusion criteria were as follows: (1) patients with severe osteoporosis; (2) patients who during the ten-year period have been treated pharmacologically with corticosteroids, antiresorptives, or chemotherapy; (3) patients who did not comply with the follow-up protocol; and (4) patients who did not give their consent for the use of their data.

After applying these criteria, a total of 50 patients were selected and rehabilitated following the principles of the ZAGA technique.

The implants were placed according to the principles of the ZAGA technique, the acronym for the Zygoma Anatomy-Guided Approach, a concept used to place zygomatic implants in a prosthetically driven manner and according to the anatomy of the patient. The ZAGA method aims to promote patient-specific therapy by adapting the osteotomy type and implant design to the patient's structure. This acknowledges the existence of inter-individual anatomical differences as well as intra-individual variations. In most cases, this approach avoids the opening of a window or slot into the lateral wall of the maxillary sinus before implant placement. Instead, a mucoperiosteal flap, including the posterior

maxillary wall and the superior zygomatic rim, is raised, to allow for visual control of the complete surgical field [17].

After one year and ten years, new follow-up scans were obtained. With the NewTom NNT Analysis software, version 16.4 (NewTom<sup>®</sup>, Imola, Italy), we were able to trace the bone and implants on CBCT scans. This software allowed for the three-dimensional information of the postoperative CBCT image to be compared with the ten-year postoperative CBCT image and the assessment of zygomatic bone resorption and bone density.

The following parameters were used: X-ray source—110 KV, 1–20 mA (pulsed mode); focal spot—0.3 mm; acquisition technique: single scan; scan time 18–36 s' exposure; X-ray emission time 3.6 s–6.7 s; signal gray-scale—14-bit scanning and 16-bit reconstruction; FOV size DxH—6 × 6 cm; patient positioning—supine.

The zygomatic implant model used was manufactured by S.I.N.—Implant System (São Paulo, Brazil), with the following specifications: implant structure: apical diameter of Ø4.0 mm, cervical diameter of Ø4.4 mm, body diameter of Ø4.0–Ø4.4 mm. The available lengths were as follows: 32, 35, 37, 40, 42, 45, 47, 50, 52, 55, 57, 60, and 62 mm, and a mechanized surface with double acid etching. Prosthetic platform: universal external hexagon connection, 45° angled head, made from titanium grade IV.

### 2.3. Data Collection Instruments

This evaluation was performed before surgery (T0), 12 months after surgery (T1), and 120 months after surgery (T2), according to the previously described protocol.

- At T0 (preoperative), the area and bone density of the zygomatic bone were recorded (Figure 1).

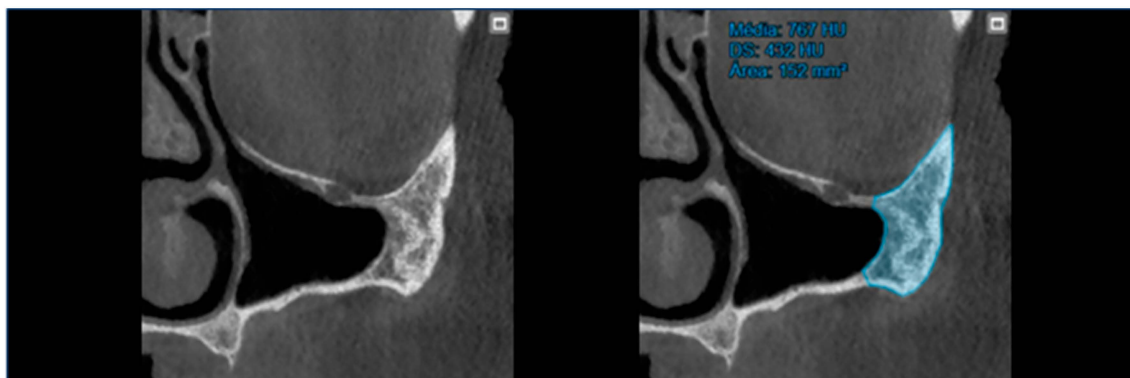


**Figure 1.** T0 preoperative assessment of zygomatic bone area and density.

- At T1 (12 months of follow-up), the area and density of the zygomatic bone, the upper contact distance between the zygomatic bone and the zygomatic implant, and the lower contact distance between the zygomatic bone and the zygomatic implant were evaluated (Figure 2).
- At T2 (120 months of follow-up), the area and density of the zygomatic bone, the upper contact distance between the zygomatic bone and the zygomatic implant, and the lower contact distance between the zygomatic bone and the zygomatic implant were also evaluated (Figure 3).



**Figure 2.** T1 evaluation considering (I) area and density of the zygomatic bone, (II) upper contact distance between the zygomatic bone and the zygomatic implant, and (III) lower contact distance between the zygomatic bone and the zygomatic implant.

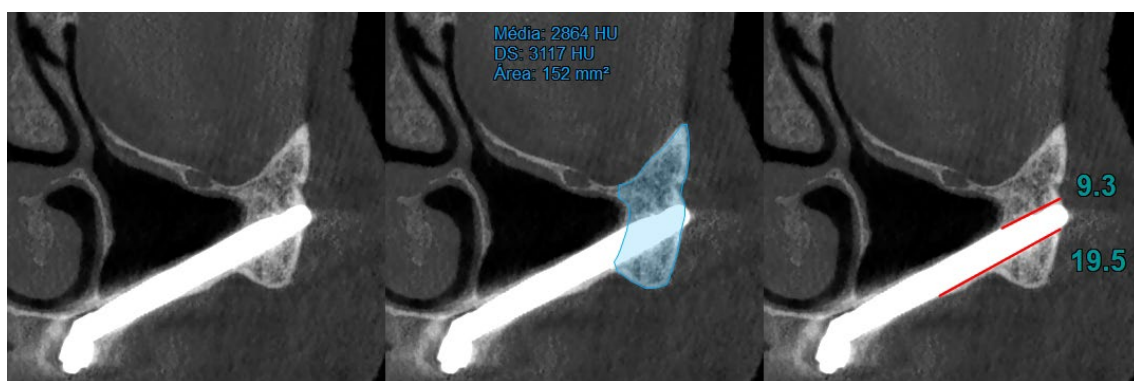


**Figure 3.** T2 evaluation considering (I) area and density of the zygomatic bone, (II) upper contact distance between the zygomatic bone and the zygomatic implant, and (III) lower contact distance between the zygomatic bone and the zygomatic implant.

#### 2.4. Statistical Analysis

IBM® SPSS® statistics software, version 30, was used for both descriptive and inferential data analysis. First, the study variables were tested to ensure that they conformed to a normal distribution by using either the Kolmogorov–Smirnov (D) or the Shapiro–Wilk (W) test. Secondly, the variances of the samples were tested for homogeneity by using either Levene’s (L) or Bartlett’s (B) test.

Descriptive statistics for the study variables included the calculation of the arithmetic mean ( $\bar{x}$ ) and standard deviation (SD) for continuous variables, median and inter-quartile range (IQR) for ordinal variables, and mode and frequencies for nominal variables.

Inferential statistics were used for the comparison of the three experimental timepoints (T0, T1, and T2). Given the paired nature of the data, and once the requirements for normality of distribution and homogeneity of variance were confirmed, a repeated-measures ANOVA test was applied. The post hoc Bonferroni inferential test was used for the testing of multiple comparisons in situations where a statistically significant difference was identified by the repeated-measures ANOVA.

$p$ -values below the statistical significance level ( $\alpha$ ) of 0.05 were considered statistically significant (\*), below 0.01 as highly statistically significant (\*\*), and below 0.001 as very highly statistically significant (\*\*\*)

### 3. Results

Table 1 shows the sociodemographic and general clinical characterization of the 50 patients included in this study. The mean age was  $60.32 \pm 10.43$ , with a higher percentage of female patients (66%) compared to male patients (34%).

**Table 1.** Sociodemographic and general clinical characterization of the sample.

| Variable                                                                  | Statistical Parameter                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sample<br>N                                                               | 50                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Age<br>Mean $\pm$ SD, years                                               | 60.32 $\pm$ 10.43                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Gender<br>n (percentage)                                                  | Male: 17 (34.0);<br>Female: 33 (66.0).                                                                                                                                                                                                                                      |
| Zygoma Anatomy-Guided Approach (ZAGA)<br>(1st Quadrant)<br>n (percentage) | ZAGA 0: 3 (6.0);<br>ZAGA I: 40 (80.0);<br>ZAGA II: 6 (12.0);<br>ZAGA III: 1 (2.0);<br>ZAGA IV: 0 (0.0).                                                                                                                                                                     |
| Zygoma Anatomy-Guided Approach (ZAGA)<br>(2nd Quadrant)<br>n (percentage) | ZAGA 0: 5 (10.0);<br>ZAGA I: 37 (74.0);<br>ZAGA II: 8 (16.0);<br>ZAGA III: 0 (0.0);<br>ZAGA IV: 0 (0.0).                                                                                                                                                                    |
| Zygomatic Implant Length<br>(1st Quadrant)<br>n (percentage)              | 4.5 $\times$ 32.5 mm: 9 (18.0);<br>4.5 $\times$ 35 mm: 12 (24.0);<br>4.5 $\times$ 37.5 mm: 9 (18.0);<br>4.5 $\times$ 40 mm: 9 (18.0);<br>4.5 $\times$ 42.5 mm: 5 (10.0);<br>4.5 $\times$ 45 mm: 4 (8.0);<br>4.5 $\times$ 47.5 mm: 1 (2.0);<br>4.5 $\times$ 50 mm: 1 (2.0).  |
| Zygomatic Implant Length<br>(2nd Quadrant)<br>n (percentage)              | 4.5 $\times$ 32.5 mm: 7 (14.0);<br>4.5 $\times$ 35 mm: 10 (20.0);<br>4.5 $\times$ 37.5 mm: 14 (28.0);<br>4.5 $\times$ 40 mm: 9 (18.0);<br>4.5 $\times$ 42.5 mm: 6 (12.0);<br>4.5 $\times$ 45 mm: 2 (4.0);<br>4.5 $\times$ 47.5 mm: 1 (2.0);<br>4.5 $\times$ 50 mm: 1 (2.0). |
| Zygomatic Implant Torque<br>(1st Quadrant)<br>Mean $\pm$ SD, Newtons      | 48.70 $\pm$ 11.19                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Zygomatic Implant Torque<br>(2nd Quadrant)<br>Mean $\pm$ SD, Newtons      | 49.70 $\pm$ 10.95                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Loading Protocol<br>n (percentage)                                        | Immediate: 40 (80.0);<br>Early: 3 (6.0);<br>Delayed: 7 (14.0).                                                                                                                                                                                                              |
| Antagonist Occlusion<br>n (percentage)                                    | Natural Teeth: 15 (30.0);<br>Removable Partial Denture: 1 (2.0);<br>Overdenture: 4 (8.0);<br>Partial Fixed Implants: 4 (8.0);<br>Total Fixed Implants: 26 (52.0).                                                                                                           |
| Complications<br>n (percentage)                                           | No: 46 (92.0);<br>Yes: 4 (8.0).                                                                                                                                                                                                                                             |

Regarding ZAGA characterization, in the first quadrant, ZAGA I was applied in 80% of cases, followed by ZAGA II in 12% and ZAGA 0 in 6% of cases. In the second quadrant, ZAGA I was applied in 74% of cases, followed by ZAGA II in 16% and ZAGA 0 in 10% of cases.

The most used zygomatic implant length in the first quadrant was 35 mm in 24% of the cases and in the second quadrant was 37.5 mm in 28% of the cases. The mean zygomatic implant torque in the first quadrant was  $48.70 \pm 11.19$  N, and in the second quadrant, it was  $49.70 \pm 10.95$  N.

Regarding the loading protocol, in 80% of cases, immediate function was performed, in 14% it was delayed, and in 6% it was early. With regard to antagonist occlusion, 52% of cases were total fixed implants rehabilitation, 30% natural teeth, 8% overdenture, 8% partial fixed implants rehabilitation, and 2% removable partial denture.

In this study, 8% of complications were recorded, present in four clinical cases, among which the following stand out: loss of a standard implant in anatomical position 2.1, two cases of sinusitis postop, and a fracture of the second quadrant zygomatic implant.

Table 2 presents the specific clinical characterization of the sample concerning the standard implants placed in the anterior maxilla. Implant 1 was mainly placed in anatomical position 1.1, in 54% of the cases, with the most used length being  $3.75 \times 10$  mm, in 24%, and the mean torque obtained was  $43.10 \pm 11.51$  N. Implant 2 was predominantly placed in anatomical position 1.3, in 36% of the cases, with the most used length being  $3.75 \times 10$  mm, in 30%, and the mean torque obtained was  $40.30 \pm 13.49$  N. Implant 3 was most frequently placed in anatomical position 2.1, in 38% of the cases, with the most used length being  $3.75 \times 8.5$  mm, in 14%, and the mean torque obtained was  $43.68 \pm 14.17$  N. Finally, implant 4 was placed in most cases in anatomical position 2.3, in 28% of the cases, with the most used length being  $3.75 \times 10$  mm, in 22%, and the mean torque obtained was  $37.68 \pm 16.70$  N.

**Table 2.** Specific clinical characterization of the sample concerning the implants placed.

| Variable                                                              | Statistical Parameter                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Standard Implant 1 Position<br><i>n (percentage)</i>                  | 1.1 position: 27 (54.0);<br>1.2 position: 15 (30.0);<br>1.3 position: 5 (10.0);<br>1.4 position: 1 (2.0);<br>1.7 position: 2 (4.0).                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Standard Implant 1 Length<br><i>n (percentage)</i>                    | $3.25 \times 8.5$ mm: 5 (10.0);<br>$3.25 \times 10$ mm: 4 (8.0);<br>$3.75 \times 7$ mm: 1 (2.0);<br>$3.75 \times 8.5$ mm: 7 (14.0);<br>$3.75 \times 10$ mm: 12 (24.0);<br>$3.75 \times 11.5$ mm: 2 (4.0);<br>$3.75 \times 15$ mm: 3 (6.0);<br>$4.1 \times 7$ mm: 8 (16.0);<br>$4.1 \times 8.5$ mm: 2 (4.0);<br>$4.1 \times 10$ mm: 2 (4.0);<br>$4.5 \times 8.5$ mm: 1 (2.0);<br>$4.5 \times 10$ mm: 2 (4.0);<br>$4.5 \times 15$ mm: 1 (2.0). |
| Standard Implant 1 Torque<br><i>Mean <math>\pm</math> SD, Newtons</i> | $43.10 \pm 11.51$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Standard Implant 2 Position<br><i>n (percentage)</i>                  | 1.2 position: 5 (10.0);<br>1.3 position: 18 (36.0);<br>1.4 position: 6 (12.0);<br>1.6 position: 3 (6.0);<br>1.7 position: 1 (2.0);<br>2.1 position: 8 (16.0);<br>2.2 position: 6 (12.0);<br>2.3 position: 3 (6.0).                                                                                                                                                                                                                           |

Table 2. Cont.

| Variable                                               | Statistical Parameter                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Standard Implant 2 Length<br><i>n</i> (percentage)     | 3.25 × 8.5 mm: 4 (8.0);<br>3.25 × 10 mm: 2 (4.0);<br>3.75 × 7 mm: 2 (4.0);<br>3.75 × 8.5 mm: 8 (16.0);<br>3.75 × 10 mm: 15 (30.0);<br>3.75 × 11.5 mm: 3 (6.0);<br>3.75 × 13 mm: 1 (2.0);<br>3.75 × 15 mm: 2 (4.0);<br>4.1 × 7 mm: 4 (8.0);<br>4.1 × 8.5 mm: 2 (4.0);<br>4.1 × 10 mm: 3 (6.0);<br>4.1 × 11.5 mm: 1 (2.0);<br>4.1 × 13 mm: 1 (2.0);<br>4.5 × 13 mm: 1 (2.0);<br>5 × 10 mm: 1 (2.0). |
| Standard Implant 2 Torque<br><i>Mean ± SD, Newtons</i> | 40.30 ± 13.49                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Standard Implant 3 Position<br><i>n</i> (percentage)   | 1.6 position: 1 (2.0);<br>2.1 position: 19 (38.0);<br>2.2 position: 11 (22.0);<br>2.3 position: 2 (4.0);<br>2.4 position: 3 (6.0);<br>2.7 position: 2 (4.0).                                                                                                                                                                                                                                      |
| Standard Implant 3 Length<br><i>n</i> (percentage)     | 3.25 × 8.5 mm: 2 (4.0);<br>3.25 × 10 mm: 3 (6.0);<br>3.75 × 7 mm: 4 (8.0);<br>3.75 × 8.5 mm: 7 (14.0);<br>3.75 × 10 mm: 5 (10.0);<br>3.75 × 11.5 mm: 3 (6.0);<br>3.75 × 15 mm: 3 (6.0);<br>4.1 × 7 mm: 2 (4.0);<br>4.1 × 8.5 mm: 1 (2.0);<br>4.1 × 10 mm: 1 (2.0);<br>4.5 × 8.5 mm: 3 (6.0);<br>4.5 × 10 mm: 3 (6.0);<br>5 × 11.5 mm: 1 (2.0).                                                    |
| Standard Implant 3 Torque<br><i>Mean ± SD, Newtons</i> | 43.68 ± 14.17                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Standard Implant 4 Position<br><i>n</i> (percentage)   | 2.2 position: 4 (8.0);<br>2.3 position: 14 (28.0);<br>2.4 position: 6 (12.0);<br>2.6 position: 4 (8.0).                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Standard Implant 4 Length<br><i>n</i> (percentage)     | 3.25 × 8.5 mm: 2 (4.0);<br>3.75 × 7 mm: 1 (2.0);<br>3.75 × 8.5 mm: 6 (12.0);<br>3.75 × 10 mm: 11 (22.0);<br>3.75 × 11.5 mm: 1 (2.0);<br>4.1 × 7 mm: 1 (2.0);<br>4.1 × 8.5 mm: 1 (2.0);<br>4.1 × 11.5 mm: 1 (2.0);<br>4.1 × 15 mm: 1 (2.0);<br>4.5 × 8.5 mm: 1 (2.0);<br>4.5 × 10 mm: 1 (2.0);<br>5.0 × 13 mm: 1 (2.0).                                                                            |
| Standard Implant 4 Torque<br><i>Mean ± SD, Newtons</i> | 37.68 ± 16.70                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

Table 3 represents the patients' follow-ups (T0, T1, and T2), concerning (i) zygomatic bone area (first and second quadrants); (ii) zygomatic bone density (first and second quadrants); (iii) upper contact distance between zygomatic bone and zygomatic implant (first and second quadrants); and (iv) lower contact distance between zygomatic bone and zygomatic implant (first and second quadrants).

**Table 3.** Patients' follow-ups.

| Variable                                                                                                             | Statistical Parameter                                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Zygomatic Bone Area (1st Quadrant) (mm <sup>2</sup> )<br><i>Mean ± SD, Newtons</i>                                   | T0: 205.96 ± 63.54;<br>T1: 205.96 ± 63.54;<br>T2: 205.96 ± 63.54.       |
| Zygomatic Bone Area (2nd Quadrant) (mm <sup>2</sup> )<br><i>Mean ± SD, Newtons</i>                                   | T0: 204.18 ± 64.91;<br>T1: 204.18 ± 64.91;<br>T2: 204.18 ± 64.91.       |
| Zygomatic Bone Density (1st Quadrant) (HU)<br><i>Mean ± SD, Newtons</i>                                              | T0: 1077.23 ± 264.90;<br>T1: 2642.06 ± 550.33;<br>T2: 2853.04 ± 530.26. |
| Zygomatic Bone Density (2nd Quadrant) (HU)<br><i>Mean ± SD, Newtons</i>                                              | T0: 1030.46 ± 314.13;<br>T1: 2457.86 ± 561.85;<br>T2: 2696.60 ± 583.29. |
| Upper Contact Distance between Zygomatic Bone and Zygomatic Implant (1st Quadrant) (mm)<br><i>Mean ± SD, Newtons</i> | T0: No valid cases;<br>T1: 9.01 ± 3.19;<br>T2: 9.10 ± 3.23.             |
| Upper Contact Distance between Zygomatic Bone and Zygomatic Implant (2nd Quadrant) (mm)<br><i>Mean ± SD, Newtons</i> | T0: No valid cases;<br>T1: 8.04 ± 3.02;<br>T2: 8.20 ± 3.19.             |
| Lower Contact Distance between Zygomatic Bone and Zygomatic Implant (1st Quadrant) (mm)<br><i>Mean ± SD, Newtons</i> | T0: No valid cases;<br>T1: 13.70 ± 4.74;<br>T2: 13.61 ± 4.62.           |
| Lower Contact Distance between Zygomatic Bone and Zygomatic Implant (2nd Quadrant) (mm)<br><i>Mean ± SD, Newtons</i> | T0: No valid cases;<br>T1: 14.69 ± 4.96;<br>T2: 14.65 ± 4.98.           |

Table 4 shows the results of the repeated-measures ANOVA (F) inferential test for comparing T0, T1, and T2 of the patients' follow-ups (T0, T1, and T2), concerning: (i) zygomatic bone area (first and second quadrants); (ii) zygomatic bone density (first and second quadrants); (iii) upper contact distance between zygomatic bone and zygomatic implant (first and second quadrants); and (iv) lower contact distance between zygomatic bone and zygomatic implant (first and second quadrants). *p*-values below the statistical significance level ( $\alpha$ ) of 0.001 as very highly statistically significant (\*\*\*)

**Table 4.** Repeated-measures ANOVA.

| Variable                                                                                                             | Test Statistics (F) | <i>p</i> -Value |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------|
| Zygomatic Bone Area (1st Quadrant) (mm <sup>2</sup> )<br><i>Mean ± SD. Newtons</i>                                   | 0.000               | 1.000           |
| Zygomatic Bone Area (2nd Quadrant) (mm <sup>2</sup> )<br><i>Mean ± SD. Newtons</i>                                   | 0.000               | 1.000           |
| Zygomatic Bone Density (1st Quadrant) (HU)<br><i>Mean ± SD. Newtons</i>                                              | 215.782             | <0.001 ***      |
| Zygomatic Bone Density (2nd Quadrant) (HU)<br><i>Mean ± SD. Newtons</i>                                              | 161.364             | <0.001 ***      |
| Upper Contact Distance between Zygomatic Bone and Zygomatic Implant (1st Quadrant) (mm)<br><i>Mean ± SD. Newtons</i> | 0.021               | 0.886           |
| Upper Contact Distance between Zygomatic Bone and Zygomatic Implant (2nd Quadrant) (mm)<br><i>Mean ± SD. Newtons</i> | 0.065               | 0.800           |
| Lower Contact Distance between Zygomatic Bone and Zygomatic Implant (1st Quadrant) (mm)<br><i>Mean ± SD. Newtons</i> | 0.010               | 0.922           |
| Lower Contact Distance between Zygomatic Bone and Zygomatic Implant (2nd Quadrant) (mm)<br><i>Mean ± SD. Newtons</i> | 0.001               | 0.974           |

In Table 5, the post hoc Bonferroni inferential test for comparing T0, T1, and T2 of the patients' follow-ups (T0, T1, and T2) concerning zygomatic bone density (first and second quadrants) is shown. *p*-values below the statistical significance level ( $\alpha$ ) of 0.05 were considered statistically significant (\*).

**Table 5.** Post hoc Bonferroni inferential test.

| Variable                                   | Comparison | Mean Difference (I–J) | Std. Error  | <i>p</i> -Value |
|--------------------------------------------|------------|-----------------------|-------------|-----------------|
| Zygomatic Bone Density (1st Quadrant) (HU) | T0         | T1                    | –1564.820 * | 93.396          |
|                                            |            | T2                    | –1775.800 * | 93.396          |
|                                            | T1         | T0                    | 1564.820 *  | 93.396          |
|                                            |            | T2                    | –210.980    | 93.396          |
|                                            | T2         | T0                    | 1775.800 *  | 93.396          |
|                                            |            | T1                    | 210.980     | 93.396          |
| Zygomatic Bone Density (2nd Quadrant) (HU) | T0         | T1                    | –1427.400 * | 100.305         |
|                                            |            | T2                    | –1666.140 * | 100.305         |
|                                            | T1         | T0                    | 1427.400 *  | 100.305         |
|                                            |            | T2                    | –238.740    | 100.305         |
|                                            | T2         | T0                    | 1666.140 *  | 100.305         |
|                                            |            | T1                    | 238.740     | 100.305         |

## 4. Discussion

### 4.1. Implant Survival

In Brennand's review, zygomatic implant survival was 96.2% during a mean follow-up of 75.4 months (6.3 years) [18]. A higher incidence of failure was identified in the first year (2%) compared to subsequent years (0.5%/year), while the overall annual incidence of failure was 0.7%, with mean intra-study follow-up times ranging from 36 to 142 months. The results of this study align with the values reported in the systematic reviews presented by Chrcanovic [19,20]. These suggest that some patients may experience early postsurgical complications, either infectious or medically related, which could result in the loss of zygomatic implants.

The cumulative failure rates of zygomatic implants and conventional implants were 1.6% and 5.2%, respectively, with follow-up time periods of 6 months to 12 years [12]. Reports on classic surgical approaches have shown that the survival rate of zygomatic implants is higher than that of conventional implants [21]. Ahlgren et al. (2006) reported a 100% success rate for zygomatic implants achieved over a follow-up period of 11 to 49 months [22].

In our study, the survival rate of zygomatic implants was 99.0%, while for the standard implants, it was 99.5% over a follow-up of 120 months (10 years). The results of this study are consistent with those described in the literature, revealing extremely high survival rates. However, a longer follow-up period is presented, compared to the available literature.

### 4.2. Surgical Approach

The pooled incidence rates for the original surgical technique (OST) reveal an incidence of 9.53% for sinusitis, 7.5% for soft tissue infection, 10.78% for paresthesia, 4.58% for oroantral fistula formation, and 6.91% for surgical-related complications, alongside 56 reported cases of prosthesis-related issues [23]. In comparison, the pooled incidence rates for the anatomy-guided technique (AGA) include 4.39% for sinusitis, 4.35% for soft tissue infection, 0.55% for paresthesia, 1.71% for oroantral fistula formation, 1.6% for surgical-related complications, and 104 reported instances of prosthesis-related complications [23].

It should be noted, however, that these percentages may not fully encompass the scope of the complications associated with both techniques, as many clinical studies did not report the presence or absence of complications comprehensively.

In this systematic review, we aimed to evaluate and compare the survival and complication rates of zygomatic implants using both the OST and the anatomy-guided approach (AGA) in patients with severely atrophic maxillae. The results indicate that both techniques achieved a commendable implant survival rate with few reported complications. Overall, our findings suggest that there is a parity in clinical outcomes concerning implant survival between the two approaches. Specifically, the 923 zygomatic implants placed using the OST demonstrated a survival rate between 90.3% and 100%, while the 1302 implants placed via the anatomy-guided approach showed a survival rate ranging from 90.4% to 100% [23].

The intrasinus approach generated 1.41- and 4.27-fold higher stress at the bone–implant interface and the zygomatic implant body, respectively, under vertical loading than the extramaxillary approach [10]. However, the reverse was observed under lateral loading where the extramaxillary approach showed an increased stress level at the bone–implant interface by 2.48-fold [10]. The zygomatic implant body in the extramaxillary approach also exhibited micromotion, with a magnitude twice as high as that seen with the intrasinus approach under lateral loading. Both techniques may be used for the treatment of severely atrophic maxillae; however, the intrasinus approach is more favorable if lateral loading is a major concern [10].

In this research, the zygomatic implants were placed according to the principles outlined by the ZAGA classification [14]. In the first quadrant, ZAGA I was applied in 80% of cases, followed by ZAGA II in 12% and ZAGA 0 in 6% of cases. In the second quadrant, ZAGA I was applied in 74% of cases, followed by ZAGA II in 16% and ZAGA 0 in 10% of cases. Zygomatic implants were placed according to the lateral maxillary sinus concavity wall as well as the palatal resorption of the maxillary alveolus. It is worth highlighting, however, the paramount importance of quad-cortical stabilization in all clinical cases, as this has proven to be the crucial factor for the results obtained. This surgical principle, although described in several publications, is not implemented as clearly in any of them.

#### 4.3. Loading Protocol

The primary advantage of graftless techniques is the ability to achieve immediate loading, enabling the prompt restoration of both function and esthetics post-surgery. The analysis revealed a significant difference in the prevalence of delayed versus immediate loading protocols among the various approaches: 77.7% for the Osteotome Sinus Technique (OST) and 22.3% for the immediate protocols, in contrast with the anatomy-guided technique, which showed 10.4% for delayed and 89.6% for immediate loading. This disparity may reflect the impact of recent advancements in anatomical-guided techniques and improvements in implant materials. The failure rates of the immediate loading protocols were recorded at 2.56% for the OST and 1.75% for the anatomy-guided technique. A comprehensive review involving 4566 zygomatic implants identified a failure rate of 1.7% for the immediate loading protocol based on the analysis of 103 failures [23].

The clinical course of the delayed zygomatic cases suggests a low-grade infection [24,25]. These types of infections are caused by low-virulent bacteria, such as *Staphylococcus epidermidis* or *Propionibacterium acnes*, which can infect at a later stage and manifest the associated complications even years after the original surgery [26]. For this reason, Ottenhausen et al. (2018) recommend a routine bacterial culture and a 16S ribosomal ribonucleic acid (rRNA) polymerase chain reaction (PCR) to identify these bacteria [26].

In this study, 80% of the cases received immediate loading (within 24 to 48 h after implant insertion), 14% received a delayed loading (more than 4 months after implant insertion), and

6% received early loading (between 48 h and 3 months). In most clinical cases included in this study, immediate function was performed, which is in line with the most recently published literature. However, contrary to some studies, namely Vrielinck et al.'s and Lopes et al.'s studies, there was no increase in the rate of associated complications [24,25].

#### 4.4. Microbiology

A successful dental implant relies on optimal hard and soft tissue conditions. This includes appropriate dimensions (vertical, sagittal, and transverse) and bone quality, together with healthy soft tissues around the implant shoulder, including an area of non-mobile keratinized gingiva. The only widely accepted distinctive design in implant dentistry is the long zygomatic implant [27].

In a study by Lombardo et al. (2016), the microbiological results were correlated with a history of periodontitis. The periodontal patients, in fact, showed a higher presence of periodontal pathogens compared to the non-periodontal group (53.8% vs. 28.6%), and three patients with a history of periodontitis also exhibited a higher bacterial load of red complex pathogens. *P. gingivalis* was found more frequently (46.2%), especially in periodontal patients. Moreover, *P. gingivalis* was noted in all the periodontal patients who had the highest loads of periodontal pathogen [28]. The patient's history of periodontitis also appeared to be relevant to bacterial colonization surrounding the zygomatic implants [28,29].

In all patients included in this study, the keratinized mucosa around the zygomatic and standard implants was carefully evaluated. This assessment was carried out intraoperatively with particular care in suturing, as well as during the final impressions phase. In the absence of keratinized mucosa, a free gingival graft would be performed before the placement of the final fixed implant-supported prosthesis.

#### 4.5. Bone Resorption

Publications from the early 1990s defined success criteria for osseointegration and reported an acceptable bone loss of 1 mm in the first year, followed by an annual bone loss of 0.1 mm or 0.2 mm. Currently, reports of criteria do not exist. Consequently, the reported cumulative bone level changes show no evidence for a pathological process and should be considered acceptable [30,31]. Implant success was assessed according to several clinical and radiographic parameters, namely absence of pain; absence of progressive marginal bone resorption or peri-implant radiolucency; and absence of excessive bleeding during peri-implant probing or implant mobility [30,31].

A key factor in dental implant success or failure depends on the transmission of stress to the surrounding bone. Inappropriate loading may result in the concentration of stress in the bone around the implant, which could lead to bone resorption. It is known that the vertical load component plays a major role in masticatory loading. Conversely, the role of the horizontal load component should not be overlooked, although its impact is minimal, especially when an angled implant is used [13,32].

In our study, no significant statistical differences were found between T0, T1, and T2 concerning zygomatic bone area (first and second quadrants), the upper contact distance between the zygomatic bone and the zygomatic implant (first and second quadrants), and the lower contact distance between the zygomatic bone and the zygomatic implant (first and second quadrants). The bone resorption values described in the literature are based on standard implants and not zygomatic implants. Therefore, it becomes difficult to compare the results obtained in this study with other similar studies.

#### 4.6. Bone Density

Type 4 bone quality is often found in the posterior maxilla, and the poor quality of bone in this region has been considered a factor contributing to increased implant

failure [33]. The zygomatic implant offers anchorage for a fixed bridge, resorting to less invasive surgery compared to bone augmentation procedures [34]. The combination of zygomatic implants with anterior standard implants may positively impact implant stability during bone healing with immediate occlusal loading prostheses [31,35]. Rehabilitation with zygomatic implants requires sufficient bone volume in the anterior maxilla, with a minimum height of 10 mm and width of 4 mm, to allow for the placement of two to four conventional implants [36]. If the volume of bone in the anterior region is insufficient, then ideal conditions for bone grafting and guided bone regeneration must be provided [36].

Both clinical experience and theoretical modeling suggest that effective axial loading of the zygomatic implant is achieved through cross-arch stabilization with a rigid splint framework using at least four implants with adequate anterior–posterior spread [37]. Following specific prosthetic, biomechanical, and anatomical factors, establishing the entrance point depends on the vertical and horizontal resorption of the alveolar/basal process and the curvature of the anterior maxillary wall [23].

From a prosthodontic perspective, the starting point (implant head emergence) should be at or close to the top of the alveolar ridge crest. When the residual bone at the sinus floor level has adequate thickness and width (minimum: 4 mm height, 6 mm width) in a patient without a history of periodontitis, the position of the entry point should be near the middle portion of the crest, with an intrasinus starting path for the implant if the maxillary wall is flat or convex [23]. When the crestal bone height or thickness is inadequate, the alveolar entrance point should be shifted to the buccal, regardless of the maxillary wall curvature [23]. Based on the maxillary wall concavity and the height of the new bone, the osteotomy is shaped like a tunnel or canal [23].

In this research, highly significant statistical differences at an alpha level of 0.01 were identified between T0, T1, and T2 concerning zygomatic bone density, both in the first and in the second quadrants. The post hoc Bonferroni test revealed that significant statistical differences occurred between T0 and the remaining timepoints (T1 and T2), with the latter two exhibiting similar values among them. Bone density values described in the literature are based on standard implants and not on zygomatic implants. Therefore, it becomes difficult to compare the results obtained in this study with similar studies.

#### 4.7. Complications

In a study conducted by Brennand et al. [18] it was observed that the overall prevalence of sinusitis was 14.2%, with an average follow-up period of 65.4 months. The approach to implant placement—whether intrasinus or extra-sinus—was found to be influenced by the patient's unique anatomy and the desired prosthetic envelope [18]. When sinusitis was identified, treatment with antibiotics and/or a surgical meatotomy was generally successful, with no notable adverse consequences reported. While instances of zygomatic implant failure due to loss of osseointegration were infrequent in the context of sinusitis, it appears that surgical removal was often the preferred response to address unresolved sinusitis.

In this study, 8% of complications were recorded, present in four clinical cases, among which the following stand out: loss of a standard implant in anatomical position 2.1, two cases of postop sinusitis, and a fracture of a second quadrant zygomatic implant. The complication rates in this study were lower than those described in the literature; this fact could be explained by the fact that all surgical interventions were performed in a surgical center under general anesthesia, which allowed for a higher degree of asepsis and disinfection.

#### 4.8. Prosthesis Survival

The prosthesis survival rates have been observed to range from 82% to 100%, with a mean survival rate of 94% at 76 months of follow-up. This favorable outcome aligns closely with the survival rates of zygomatic implants. It is important to consider that early failures of zygomatic implants may have influenced the survival of provisional prostheses, although this is unlikely to have impacted the definitive reconstructions [18]. When examining reconstructions supported solely by conventional implants, no statistically significant differences were noted in the materials used for full-arch screw-retained prostheses [38]. The prevalence of acrylic/acrylic teeth in many studies likely played a role in achieving these positive survival rates, as this design allows for repair rather than complete replacement. Complications such as chipping of the veneering resin and loss of retention have been reported, with the former being notably common [38].

Furthermore, instances of screw and abutment loosening have been reported frequently [39,40]. While these complications exist in the existing literature, it is possible that the unique dynamics of zygomatic reconstructions, including increased movement of the prosthesis due to bending forces, may contribute to the incidence rates [39–41]. These technical challenges were observed regardless of whether zygomatic implants were splinted to conventional implants or whether the prosthesis was solely supported by four zygomatic implants. Lastly, it is worth considering that such bending phenomena could also lead to fractures of the veneering material detached from the metal substructure [18].

In this study, the final fixed implant-supported prosthesis survival rate was 100.0%, over a follow-up of 120.0 months (10 years). All the prosthesis placed were screw-retained, allowing for reversibility for control and maintenance. The values obtained in this study align with those described in the literature, revealing extremely high survival rates; however, a longer follow-up period is presented compared to the available literature.

#### 5. Limitations

As limitations to this study, we could point out the sample size of 50 patients, which may not be very large. Additionally, the placement of implants in the premaxilla area may not always be identical across all cases, due to differences in bone availability. Similarly, the length of the zygomatic implants does not always maintain a correlation between both zygomas. We can also highlight the absence of studies similar to ours, meaning that both the methodology and the results of this study cannot be compared.

#### 6. Conclusions

The objective of this research was to retrospectively analyze ten years of rehabilitation with zygomatic implants, focusing on whether there are losses at the level of the zygoma, proposing as a null hypothesis that these implants remain stable over time without bone resorption at the zygomatic bone level.

The evaluation of resorption at the level of the zygoma, after ten years of zygomatic implant placement, reveals no significant losses between the initial and final controls. Therefore, it follows that this type of implant rehabilitation represents a viable alternative approach in patients with bone atrophy of the maxilla, offering a predictable therapeutic solution that enables immediate full function and excellent long-term success rates.

**Author Contributions:** Conceptualization, F.D., J.M.M.-G. and J.S.-M.; methodology, C.B.-D. and F.D.; validation, N.M.-R. and F.D.; formal analysis, J.S.-M.; investigation, N.M.-R., C.R. and F.D.; resources, C.R.; data curation, F.D.; writing—original draft preparation, F.D., C.R., N.M.-R. and C.B.-D.; writing—review and editing, F.D., J.S.-M. and J.M.M.-G.; supervision, F.D. and J.S.-M.; project administration, J.M.M.-G. All authors have read and agreed to the published version of this manuscript.

**Funding:** This research received no external funding.

**Institutional Review Board Statement:** This study was conducted in accordance with the provisions laid down in the Declaration of Helsinki. This protocol was submitted and approved by the CEIM Hospital Clínico San Carlos ethics committee with the internal identification number 24/522-E (approved on 8 August 2024).

**Informed Consent Statement:** Informed consent was obtained from all subjects involved in this study.

**Data Availability Statement:** All data is contained in the presented article.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflicts of interest.

## References

1. Polido, W.D.; Machado-Fernandez, A.; Lin, W.-S.; Aghaloo, T. Indications for zygomatic implants: A systematic review. *Int. J. Implant. Dent.* **2023**, *9*, 1–14. [\[CrossRef\]](#)
2. Schliephake, H. The role of systemic diseases and local conditions as risk factors. *Periodontol. 2000* **2022**, *88*, 36–51. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
3. Chen, H.M.; Shen, K.; Ji, L.; McGrath, C.; Chen, H. Global and Regional Patterns in Edentulism (1990–2021) With Predictions to 2040. *Int. Dent. J.* **2024**. *Epub ahead of print.* [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
4. Mameno, T.; Otsuki, N.; Takeuchi, S.; Yamamoto, R.; Ikebe, K. Removable denture use, fit, and all-cause mortality in older adults with reduced occlusal support: The OHSACA study. *J. Prosthet. Dent.* **2024**. *Epub ahead of print.* [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
5. Komiyama, T.; Gallagher, J.E.; Hattori, Y. Relationship between tooth loss and progression of frailty: Findings from the English longitudinal study of aging. *Arch. Gerontol. Geriatr.* **2024**, *127*, 105572. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
6. Tallgren, A. The continuing reduction of the residual alveolar ridges in complete denture wearers: A mixed-longitudinal study covering 25 years. *J. Prosthet. Dent.* **2003**, *89*, 427–435. [\[CrossRef\]](#)
7. Brånemark, P.; Gröndahl, K.; Öhrnell, L.; Nilsson, P.; Petruson, B.; Svensson, B.; Engstrand, P.; Nannmark, U. Zygoma fixture in the management of advanced atrophy of the maxilla: Technique and long-term results. *Scand. J. Plast. Reconstr. Surg. Hand Surg.* **2004**, *38*, 70–85. [\[CrossRef\]](#)
8. Pérez, A.S.; Pastorino, D.; Aparicio, C.; Neyra, M.P.; Khan, R.S.; Wright, S.; Ucer, C. Success Rates of Zygomatic Implants for the Rehabilitation of Severely Atrophic Maxilla: A Systematic Review. *Dent. J.* **2022**, *10*, 151. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
9. Merli, M.; Aquilanti, L.; Merli, M.; Mariotti, G.; Rappelli, G. Stepwise Protocol for Alveolar Ridge Augmentation Using Customized Titanium Mesh. *Medicina* **2025**, *61*, 58. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#) [\[PubMed Central\]](#)
10. Ishak, M.I.; Kadir, M.R.A.; Sulaiman, E.; Abu Kasim, N.H. Finite Element Analysis of Zygomatic Implants in Intrasinus and Extramaxillary Approaches for Prosthetic Rehabilitation in Severely Atrophic Maxillae. *Int. J. Oral Maxillofac. Implant.* **2013**, *28*, e151–e160. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
11. Goker, F.; Grecchi, E.; Del Fabbro, M.; Longoni, S.; Stefanelli, L.V.; Grecchi, F. Zygomatic Implant Insertion in MRONJ: A Case Report with a Follow-Up of 3 Years. *J. Clin. Med.* **2023**, *12*, 3300. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
12. Muñoz, D.G.; Aldover, C.O.; Zubizarreta-Macho, Á.; Menéndez, H.G.; Castro, J.L.; Peñarocha-Oltra, D.; Montiel-Company, J.M.; Montero, S.H. Survival Rate and Prosthetic and Sinus Complications of Zygomatic Dental Implants for the Rehabilitation of the Atrophic Edentulous Maxilla: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Biology* **2021**, *10*, 601. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
13. Fan, S.; Sáenz-Ravello, G.; Diaz, L.; Wu, Y.; Davó, R.; Wang, F.; Magic, M.; Al-Nawas, B.; Kämmerer, P.W. The Accuracy of Zygomatic Implant Placement Assisted by Dynamic Computer-Aided Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J. Clin. Med.* **2023**, *12*, 5418. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
14. Sanavia, C.; Vallergera, E.; Alessi, F.; Tealdo, T.; Bevilacqua, M.; Alberti, C.; Menini, M.; Pesce, P. Five Steps for the Maintenance and Interception of Complications in Zygomatic Implants. *Dent. J.* **2023**, *11*, 226. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
15. Gabriele, G.; Chisci, G.; Cascino, F.; Ricci, N.M.; Marruganti, C.; Ferrari, M. Technique-Related Survival Rate and Complications of Zygomatic Implant Placement: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int. J. Oral Maxillofac. Implant.* **2023**, *38*, 855–875. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
16. Wadde, K.; Kokitkar, S.; Venkatakrishnan, L.; Ranganath, S.; Khaire, S. Comparative Evaluation of Sinus Complication and Survival Rates of Quad Zygoma versus Bizygoma in Combination with two Regular Implants in Atrophic Maxilla: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J. Maxillofac. Oral Surg.* **2024**, *23*, 710–718. [\[CrossRef\]](#)
17. Aparicio, C. A proposed classification for zygomatic implant patient based on the zygoma anatomy guided approach (ZAGA): A cross-sectional survey. *Eur. J. Oral. Implantol.* **2011**, *4*, 269–275. [\[PubMed\]](#)
18. Roper, M.B.; Vissink, A.; Dudding, T.; Pollard, A.; Gareb, B.; Malevez, C.; Balshi, T.; Brecht, L.; Kumar, V.; Wu, Y.; et al. Long-term treatment outcomes with zygomatic implants: A systematic review and meta-analysis. *Int. J. Implant. Dent.* **2023**, *9*, 1–22. [\[CrossRef\]](#)

19. Chrcanovic, B.R.; Abreu, M.H.N.G. Survival and complications of zygomatic implants: A systematic review. *Oral Maxillofac. Surg.* **2012**, *17*, 81–93. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
20. Chrcanovic, B.R.; Albrektsson, T.; Wennerberg, A. Survival and Complications of Zygomatic Implants: An Updated Systematic Review. *J. Oral Maxillofac. Surg.* **2016**, *74*, 1949–1964. [[CrossRef](#)]
21. Gracher, A.H.P.; de Moura, M.B.; Peres, P.d.S.; Thomé, G.; Padovan, L.E.M.; Trojan, L.C. Full arch rehabilitation in patients with atrophic upper jaws with zygomatic implants: A systematic review. *Int. J. Implant. Dent.* **2021**, *7*, 1–9. [[CrossRef](#)]
22. Ahlgren, F.; Störksen, K.; Tornes, K. A study of 25 zygomatic dental implants with 11 to 49 months' follow-up after loading. *Int. J. Oral Maxillofac. Implant.* **2006**, *21*, 421–425.
23. Kämmerer, P.W.; Fan, S.; Aparicio, C.; Bedrossian, E.; Davó, R.; Morton, D.; Raghoobar, G.M.; Zarrine, S.; Al-Nawas, B. Evaluation of surgical techniques in survival rate and complications of zygomatic implants for the rehabilitation of the atrophic edentulous maxilla: A systematic review. *Int. J. Implant. Dent.* **2023**, *9*, 1–16. [[CrossRef](#)]
24. Vrielinck, L.; Moreno-Rabie, C.; Schepers, S.; Van Eyken, P.; Coucke, W.; Politis, C. Peri-zygomatic infection associated with zygomatic implants: A retrospective longitudinal cohort study. *Clin. Oral Implant. Res.* **2022**, *33*, 405–412. [[CrossRef](#)]
25. Lopes, A.; Nobre, M.d.A.; Ferro, A.; Guedes, C.M.; Almeida, R.; Nunes, M. Zygomatic Implants Placed in Immediate Function through Extra-Maxillary Surgical Technique and 45 to 60 Degrees Angulated Abutments for Full-Arch Rehabilitation of Extremely Atrophic Maxillae: Short-Term Outcome of a Retrospective Cohort. *J. Clin. Med.* **2021**, *10*, 3600. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
26. Ottenhausen, M.; Kalasauskas, D.; Kramer, A.; Neuhoﬀ, J.; Serrano, L.; Schwandt, E.; Ringel, F. Bone Flap Necrosis Due to Low-Grade Infection with *Propionibacterium acnes*. *World Neurosurg.* **2018**, *124*, 1–3. [[CrossRef](#)]
27. Tavelli, C.; Tedesco, A. Survival and complication rate of zygomatic implants: A systematic review. *J. Oral Implant.* **2022**. *Epub ahead of print.* [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
28. Lombardo, G.; D'Agostino, A.; Trevisiol, L.; Romanelli, M.G.; Mascellaro, A.; Gomez-Lira, M.; Pardo, A.; Favero, V.; Nocini, P.F. Clinical, microbiologic and radiologic assessment of soft and hard tissues surrounding zygomatic implants: A retrospective study. *Oral Surgery, Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol.* **2016**, *122*, 537–546. [[CrossRef](#)]
29. Davó, R.; Bankauskas, S.; Laurincikas, R.; Koçyigit, I.D.; Mate Sanchez de Val, J.E. Clinical Performance of Zygomatic Implants—Retrospective Multicenter Study. *J. Clin. Med.* **2020**, *9*, 480. [[CrossRef](#)]
30. Moraschini, V.; de Queiroz, T.R.; Sartoretto, S.C.; de Almeida, D.C.F.; Calasans-Maia, M.D.; Louro, R.S. Survival and complications of zygomatic implants compared to conventional implants reported in longitudinal studies with a follow-up period of at least 5 years: A systematic review and meta-analysis. *Clin. Implant. Dent. Relat. Res.* **2022**, *25*, 177–189. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
31. Lan, K.; Wang, F.; Huang, W.; Davó, R.; Wu, Y. Quad Zygomatic Implants: A Systematic Review and Meta-analysis on Survival and Complications. *Int. J. Oral Maxillofac. Implant.* **2021**, *36*, 21–29. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
32. Vrielinck, L.; Moreno-Rabie, C.; Coucke, W.; Jacobs, R.; Politis, C. Retrospective cohort assessment of survival and complications of zygomatic implants in atrophic maxillae. *Clin. Oral Implant. Res.* **2022**, *34*, 148–156. [[CrossRef](#)]
33. A Zwahlen, R.; Grätz, K.W.; Oechslin, C.K.; Studer, S.P. Survival rate of zygomatic implants in atrophic or partially resected maxillae prior to functional loading: A retrospective clinical report. *Int. J. Oral Maxillofac. Implant.* **2006**, *21*, 413–420.
34. Malevez, C.; Daelemans, P.; Adriaenssens, P.; Durdu, F. Use of zygomatic implants to deal with resorbed posterior maxillae. *Periodontol. 2000* **2003**, *33*, 82–89. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
35. Higuchi, K.W. The zygomaticus fixture: An alternative approach for implant anchorage in the posterior maxilla. *Ann. R. Australas. Coll. Dent.* **2000**, *15*, 28–33.
36. Pi Urgell, J.; RevillaGutiérrez, V.; Gay Escoda, C.G. Rehabilitation of atrophic maxilla: A review of 101 zygomatic implants. *Med. Oral Patol. Oral Cir. Bucal.* **2008**, *13*, E363–E370. [[PubMed](#)]
37. Parel, S.M.; Brånemark, P.-I.; Öhrnell, L.-O.; Svensson, B. Remote implant anchorage for the rehabilitation of maxillary defects. *J. Prosthet. Dent.* **2001**, *86*, 377–381. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
38. Wittneben, J.-G.; Millen, C.; Brägger, U. Clinical Performance of Screw- Versus Cement-Retained Fixed Implant-Supported Reconstructions—A Systematic Review. *Int. J. Oral Maxillofac. Implant.* **2014**, *29*, 84–98. [[CrossRef](#)]
39. Davó, R.; Pons, O. 5-year outcome of cross-arch prostheses supported by four immediately loaded zygomatic implants: A prospective case series. *Eur. J. Oral. Implantol.* **2015**, *8*, 169–174. [[PubMed](#)]
40. Dash, K.C.; Praveena, K.N.V.L.; Mansuri, S.; Ali, R.H.; Sailasri, K.; Karre, S.; Managutti, A. Analysis of Long-Term Success and Biological Complications in Zygomatic Implant-Supported Prostheses. *J. Pharm. Bioallied Sci.* **2024**, *16*, S2455–S2457. [[CrossRef](#)]
41. Varghese, K.G.; Gandhi, N.; Kurian, N.; Daniel, A.Y.; Dhawan, K.; Joseph, M.; Varghese, M.G. Rehabilitation of the severely resorbed maxilla by using quad zygomatic implant-supported prostheses: A systematic review and meta-analysis. *J. Prosthet. Dent.* **2021**, *130*, 543–552. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

**Disclaimer/Publisher's Note:** The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.