



**UNIVERSIDAD DE SALAMANCA
FACULTAD DE MEDICINA**

**PROGRAMA DE DOCTORADO EN BIOCENCIAS:
BIOLOGÍA Y CLÍNICA DEL CÁNCER Y MEDICINA TRASLACIONAL**

TESIS DOCTORAL

**PREDICTIBILIDAD DE LA REDUCCIÓN DE ESMALTE INTERPROXIMAL
REALIZADO MEDIANTE UNA TÉCNICA DE NAVEGACIÓN ESTÁTICA ASISTIDA
POR ORDENADOR**

Autora

D^a. María Dolores Cotrina Peregrín

Directores

Dr. D. Alberto Francisco Albaladejo Martínez

Dr. D. Álvaro Zubizarreta Macho

Dra. D^a. Patricia Arrieta Blanco

Salamanca, Junio de 2024

AGRADECIMIENTOS

Al Profesor Alberto Francisco Albaladejo Martínez

Al Profesor Álvaro Zubizarreta Macho

A la Profesora Patricia Arrieta Blanco

A todos los miembros de la Universidad de Salamanca, que han participado en este proyecto.

A mi familia,

**FACULTAD DE MEDICINA
DEPARTAMENTO DE CIRUGÍA**

Alfonso X El Sabio, s/n.
Campus "Miguel de Unamuno"
37007 Salamanca

Tel.: (34) 923 29 45 00 EXT 1895
Fax: (34) 923 29 45 58

E-mail: [cirugia@usal.es](mailto:cirurgia@usal.es)

D. Javier Montero Martín, Director del Departamento de Cirugía de la Universidad de Salamanca

CERTIFICA:

Que el Trabajo Doctoral titulado

“Predictibilidad de la reducción de esmalte interproximal realizado mediante una técnica de navegación estática asistida por ordenador” de la que es autora D^a María Dolores Cotrina Peregrín reúne los requisitos necesarios para su presentación y defensa ante el Tribunal Calificador para optar al **Grado de Doctor por la Universidad de Salamanca**

Y para que así conste a los efectos oportunos, firman el presente Certificado en Salamanca a 10 de marzo de 2024.

Fdo.: Prof. Javier Montero Martín

INFORME DE LOS DIRECTORES DE LA TESIS DOCTORAL

Dr. D. Alberto Albaladejo Martínez, Doctor en Odontología. Catedrático de Ortodoncia de la Universidad de Salamanca.

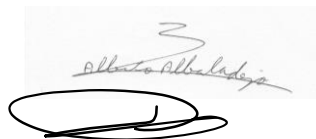
Dr. D. Álvaro Zubizarreta Macho, Doctor en Odontología. Profesor Asociado al Departamento de Cirugía de la Facultad de Medicina de la Universidad de Salamanca.

Dra. Dña. Patricia Arrieta Blanco, Doctora en Odontología. Profesora Asociada al Master de Ortodoncia de la Universidad Alfonso X el Sabio.

Hacen constar que el trabajo de investigación realizado por la doctoranda D^a María Dolores Cotrina Peregrín, que lleva por título “PREDICTIBILIDAD DE LA REDUCCIÓN DE ESMALTE INTERPROXIMAL REALIZADO MEDIANTE UNA TÉCNICA DE NAVEGACIÓN ESTÁTICA ASISTIDA POR ORDENADOR”, ha sido realizado bajo su dirección, siguiendo una rigurosa metodología, presentando unos resultados de interés y unas conclusiones derivadas de los anteriores, que hacen que dicho trabajo de investigación pueda ser defendido para optar al Grado de Doctor por la Universidad de Salamanca.

Salamanca, 10 de marzo de 2024,

Fdo.: Dr. D. Alberto Albaladejo Martínez



Fdo.: Dr. D. Álvaro Zubizarreta Macho

Fdo. Dra. Dña. Patricia Arrieta Blanco.



RESUMEN

El objetivo de este estudio fue analizar y comparar la precisión de una nueva técnica de reducción del esmalte interproximal (IPR) basada en una técnica de navegación estática asistida por ordenador con respecto a una técnica convencional a mano alzada para la reducción del esmalte interproximal. Se distribuyeron aleatoriamente veinte modelos anatómicos experimentales de poliuretano en las siguientes técnicas DPI: técnica DPI basada en la técnica de navegación estática asistida por computadora ($n = 10$) (GI) para el Grupo A y técnica convencional de manos libres para IPR ($n = 10$) (FHT) para el Grupo B. Se presentaron modelos experimentales de poliuretano de base anatómica asignados aleatoriamente al grupo de estudio gastrointestinal para la exploración preoperatoria de la superficie intraoral en 3D; Luego, los conjuntos de datos se cargaron en un software de planificación de implantes 3D para diseñar plantillas virtuales para la técnica de reducción del esmalte interproximal. Posteriormente, los modelos experimentales de poliuretano de base anatómica de los grupos de estudio GI y FHT se sometieron a una impresión digital posoperatoria utilizando un escaneo de superficie intraoral 3D para comparar la precisión de las técnicas de reducción del esmalte interproximal en las áreas bucal (mm), lingual/palatina (mm) y niveles angulares ($^{\circ}$) utilizando la prueba t de Student. Diferencias estadísticamente significativas entre la técnica de reducción del esmalte interproximal basada en la técnica de navegación estática asistida por computadora y la técnica convencional a mano alzada para la reducción del esmalte interproximal en bucal ($p = 0.0008$) y lingual/palatal. ($p < 0.0001$) niveles; Sin embargo, no se mostraron diferencias estadísticamente significativas a nivel angular ($p = 0.1042$). La técnica de reducción del esmalte interproximal basada en la técnica de navegación estática asistida por computadora fue más precisa que la técnica convencional a mano alzada para la reducción del esmalte interproximal.

ABSTRACT

The aim of this study was to analyze and compare the accuracy of a novel interproximal enamel reduction (IPR) technique based on a computer-aided static navigation technique with respect to a conventional free-hand-based technique for interproximal enamel reduction. Twenty anatomical-based experimental cast models of polyurethane were randomly distributed into the following IPR techniques: IPR technique based on computer-aided static navigation technique ($n = 10$) (GI) for Group A and conventional free-hand-based technique for the IPR ($n = 10$) (FHT) for Group B. The anatomical-based experimental cast models of polyurethane randomly assigned to the GI study group were submitted for a preoperative 3D intraoral surface scan; then, datasets were uploaded into 3D implant-planning software to design virtual templates for the interproximal enamel reduction technique. Afterward, the anatomical-based experimental cast models of polyurethane of both GI and FHT study groups were subjected to a postoperative digital impression by a 3D intraoral surface scan to compare the accuracy of the interproximal enamel reduction techniques at the buccal (mm), lingual/palatal (mm), and angular ($^{\circ}$) levels using the Student *t*-test. Statistically significant differences between the interproximal enamel reduction technique based on the computer-aided static navigation technique and the conventional free-hand-based technique for the interproximal enamel reduction at the buccal ($p = 0.0008$) and lingual/palatal ($p < 0.0001$) levels; however, no statistically significant differences were shown at the angular level ($p = 0.1042$). The interproximal enamel reduction technique based on computer-aided static navigation technique was more accurate than the conventional free-hand-based technique for interproximal enamel reduction.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	
JUSTIFICACIÓN	
OBJETIVOS	
<i>PRINCIPAL</i>	
<i>DISEÑO DEL ESTUDIO</i>	55
SELECCIÓN DE LA MUESTRA	56
<i>CRITERIOS DE INCLUSIÓN</i>	56
<i>CRITERIOS DE EXCLUSIÓN</i>	56
TAMAÑO MUESTRAL	57
<i>PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS</i>	57
<i>ANÁLISIS ESTADÍSTICO</i>	62
<i>ESTADÍSTICA descriptiva</i>	64
<i>Análisis Gage R&R</i>	
DISCUSIÓN	68
CONCLUSIONES	79
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

INTRODUCCIÓN

1. ANTECEDENTES

La reducción interproximal del esmalte (“*Interproximal Enamel Reduction*” (IPR o ERM) constituye una técnica irreversible utilizada para reducir cantidades controladas de esmalte en la superficie proximal del diente disminuyendo su tamaño mesio-distal. Este procedimiento permite aumentar el espacio en la arcada dentaria¹ y resolver muchas maloclusiones provocadas por el apiñamiento dentario generado por la diferencia entre el tamaño de los dientes y la longitud del arco dentario².

Este procedimiento terapéutico ha ganado popularidad por ser una de las técnicas más conservadoras que se utilizan en ortodoncia para ganar espacio en la arcada dentaria, así como por permitir alinear los dientes sin retruir el perfil. Así mismo, el IPR permite resolver otra demanda estética al reducir los triángulos negros interproximales. B.U. Zachrisson fue uno de los primeros autores en emplear la técnica de reducción interproximal de esmalte para eliminar los triángulos negros gingivales mejorando el pronóstico periodontal³.

El estudio del tamaño de los dientes ha sido de vital importancia en el mundo de la ortodoncia mejorando el diagnóstico; y, por ende, los procedimientos terapéuticos. Además, permite detectar la existencia de discrepancia dentaria entre la arcada superior y la inferior pudiendo resolver esta diferencia eliminando el exceso de esmalte y consiguiendo una buena relación dentaria con un resalte y sobremordida correctos².

Black fue uno de los primeros investigadores que analizó el tamaño dentario y destacó la reducción proximal fisiológica producida por la abrasión interproximal natural

de los dientes a lo largo de la vida de una persona⁴. Así mismo, M. Ballard también estudió el tamaño mesio-distal de los dientes anteriores, encontrando con mayor frecuencia un mayor tamaño mesio-distal en los incisivos inferiores respecto a los superiores (2 mm)⁵. Por otra parte, S.R. Steadman realizó un método para predeterminar la relación de sobremordida y resalte adecuada basándose en la comparación de la anchura de los cuatro incisivos superiores y mitad de la anchura de los caninos comparado con la anchura de los seis dientes anteroinferiores⁶. W. A. Bolton realizó un estudio en el que cuantificó el tamaño mesio-distal de los dientes y determinó unos parámetros útiles para analizar la discrepancia dentaria y sus alternativas terapéuticas, mediante IPR de la zona del tamaño dentario aumentado o mediante el aumento del tamaño dentario en la zona disminuida realizando restauraciones. Estos parámetros siguen vigentes en la actualidad como método diagnóstico para analizar la localización del IPR^{7 8 9}. En 1972 Peck and Peck observaron una relación entre la forma de los incisivos inferiores, expresado en el índice mesio-distal y buco-lingual y la presencia o ausencia de apiñamiento dentario en esa zona. Este índice clínico permitió mejorar el diagnóstico y plan de tratamiento ortodóncico corrigiendo las desviaciones de la forma de los dientes mediante IPR¹.

Por último, A. Lüdstrom estudió la relación entre el grado de apiñamiento, el perímetro de arcada y la suma de la anchura de los dientes y vieron como el tamaño de los dientes puede influir en su posición, también observaron la relación entre el tamaño mayor de los dientes superiores respecto a los inferiores y el apiñamiento dentario superior y el tamaño menor de los dientes superiores respecto a los inferiores y el apiñamiento inferior¹⁰.

2. CARACTERÍSTICAS DEL ESMALTE

El esmalte constituye el tejido calcificado más duro del cuerpo humano debido a su elevado contenido en sales minerales. Está compuesto por carbonato de hidroxapatita (HAP), un 95% en el esmalte maduro, un 1 % de matriz orgánica y un 4 % de agua¹¹. Sin embargo, una vez mineralizado no se puede remodelar ni reparar por tratarse de un tejido acelular¹¹.

Su función específica es formar una superficie resistente para los dientes que los hace adecuados para la masticación¹². Gracias a esta extrema dureza combinada con una gran resiliencia permiten hacer frente no solo a las fuerzas masticatorias (770 N) sino también a cambios extremos de pH y temperatura (4,12°C)¹³.

3. AMELOGÉNESIS

Albertí Vázquez et al realizaron una revisión bibliográfica para describir el proceso de formación del esmalte y la relación funcional entre algunas proteínas del esmalte y su proceso de formación¹⁴.

El proceso de formación del esmalte se denomina amelogénesis y se caracteriza por la producción de una matriz orgánica y la deposición de sales minerales dentro de ella¹⁴.

El proceso de organogénesis comienza con la diferenciación de las yemas epiteliales que se forman por la profundización y proliferación del epitelio de la lámina dental en la

mesénquima subyacente y en el lugar que ocuparán los órganos dentales. Después pasa por la constitución de los órganos dentales en casquete donde quedan diferenciadas estructuras como el órgano dental epitelial, la papila y el saco dental. En la etapa de campana se produce la diferenciación entre ameloblastos y odontoblastos. La papila dentaria formará la dentina y la pulpa y el saco dental formará al cemento, ligamento periodontal y hueso alveolar propio. Por último, en la etapa de folículo dentario la diferenciación de los tejidos del germen alcanza su nivel máximo y se inicia la formación de los tejidos mineralizados. Otros autores consideran a esta etapa como una etapa avanzada de campana¹⁴.

En el polo secretor de los ameloblastos se concentran numerosas vesículas cuyo contenido se segrega y forma la matriz orgánica del esmalte. A medida que se forma la matriz, los ameloblastos se desplazan hacia afuera en dirección al epitelio externo hasta formar el esmalte. Junto al depósito de la matriz aparecen dentro de ella los cristales de hidroxiapatita que son segregadas por las vesículas del ameloblasto. La calcificación o mineralización de la matriz del esmalte se produce en tres etapas:

-Una primera de impregnación por estratos, donde se impregna un 23-25% de la masa total de las sales del esmalte.

-Después se depositan las sales de forma masiva y se distribuyen de forma homogénea por toda la matriz. Esta impregnación en masa pasa del 60-70% al 93-95% de sustancia inorgánica que posee el esmalte maduro.

-La etapa de cristalización se produce cuando se ha completado la afluencia de sales inorgánicas. En esta última etapa de cristalización se elimina gran parte de la sustancia orgánica y de agua volviéndose el esmalte duro y soluble a los ácidos.

Las proteínas de la matriz del esmalte como la amelogenina, la ameloblastina y la enamelinina están involucradas en la formación del esmalte y la colágena tipo X en la mineralización de este tejido.¹⁴

4. ESPESOR DEL ESMALTE

Se han realizado muchos estudios acerca del espesor del esmalte para investigar la evolución humana, así como para todas las disciplinas de la odontología; especialmente para planificar la reducción interproximal del esmalte¹⁵. Macho y Berner evidenciaron que el patrón de distribución del esmalte ha ido cambiando a lo largo de la evolución humana adaptándose a los cambios de las cargas masticatorias y al aumento de esta en la zona posterior¹⁶. Kailasam et al realizaron una revisión de la literatura acerca del espesor de esmalte proximal en dientes permanentes y demostraron que el mayor espesor de esmalte mesial y distal se observó en premolares y molares mientras que fue menor en los incisivos centrales mandibulares. Se observó al menos una diferencia de 0.02mm entre las caras mesial y distal (95% IC ,0.07-0.11mm), (95% IC, 0.06-0.09mm) de los segundos molares superior e inferior mientras que la mayor diferencia fue de 0.12mm observada en los incisivos centrales superiores (95% IC, 0.07-0.17mm) y los primeros premolares superiores (95% IC, 0.07-0.16mm). El espesor del esmalte en distal fue 0.1 mm mayor que en mesial (95% IC, 0.09- 0.12)¹⁷.

Es importante tener en cuenta que en los dientes temporales la capa de esmalte es menor que en los dientes permanentes¹⁸.

5. DESCRIPCIÓN DEL STRIPPING

5.1 CONSIDERACIONES PREVIAS

Se debe realizar una evaluación precisa de la cantidad de esmalte a remover utilizando un protocolo riguroso con instrumentos específicos y sin anestesia local ya que es un procedimiento indoloro¹⁹.

Para evaluar la cantidad de esmalte a remover se pueden utilizar radiografías periapicales^{2,20}.

Y durante el stripping, medidores o galgas para confirmar cuanto esmalte estamos quitando²¹.

Si es posible, es recomendable corregir las rotaciones de los dientes apiñados antes de realizar el procedimiento de IPR²¹, Incluso, hay autores que recomiendan realizar durante el tratamiento de ortodoncia un round-tripping o movimiento de vaivén que se realiza a veces en ortodoncia termoplástica para acceder mejor al stripping moviendo los dientes hacia delante, consiguiendo un mejor acceso a los dientes en mesial y distal, una vez realizado el stripping, los dientes se retroinclinan llegando a su posición final dejándolos alineados²².

Algunos softwares de planificación terapéutica como “Clincheck” permiten realizar un análisis previo de Bolton para ver las discrepancias respecto al tamaño dentario. Con esta herramienta también podemos alinear los dientes de forma virtual y cuantificar la cantidad de esmalte que tendríamos que remover para dejar una correcta relación interoclusal, resalte y sobremordida²³.

Baumgartner et al recomiendan una reducción no superior a 0.3mm en incisivos maxilares, 0.6mm en premolares y molares maxilares y mandibulares y 0.2mm en incisivos inferiores²⁴, esta misma cantidad de IPR la recomendó Fillion recogida en el artículo de Johner et al²⁵.

Jarjoura et al consideran que se puede generar un espacio de 7 mm cuando se realiza el stripping en premolares y molares y 2.5 mm en los dientes anteriores²⁶.

Stroud, realizó un estudio del tamaño mesio-distal del esmalte de los premolares y molares inferiores midiendo dicho esmalte mediante radiografías y encontró de 0.3 a 0.4 mm más ancho el esmalte de los molares que los premolares y mayor tamaño en distal que en mesial llegando a la conclusión de que se puede hacer mayor reducción de esmalte en molares incluso de la que se propone por otros autores².

Chudasama y Cheridan recomiendan reducir la superficie del esmalte en los dientes posteriores hasta 0.5mm por superficie o 1 mm de área interproximal utilizando las galgas para controlar la cantidad de esmalte removido, no es partidario de realizar la reducción de la mitad de esmalte de la zona proximal del diente como muchos autores recomiendan porque, según él, no está bien definido cómo medir la cantidad de esmalte

a reducir. También recomiendan alinear y desrotar los dientes antes de realizar el stripping, el uso de separadores o muelles helicoidales para tener mejor acceso al stripping y dar mejor forma al diente, el uso de un protector interdental durante el procedimiento de IPR, el uso de una fresa ``safe-tipped ARS`` (Air Rotor Stripping), que no corta en la punta y tiene punta redondeada para no dañar el tejido gingival y no dejar un escalón en interproximal, realizar el stripping repartido en varias citas espaciando las mismas y mantener el anclaje durante el tratamiento de alineamiento con ortodoncia para no perder el espacio conseguido²⁷.

Debemos considerar que los pacientes jóvenes presentan una cámara pulpar más grande y que los dientes temporales tienen una capa de esmalte menor que los dientes permanentes¹⁸.

Otra consideración a tener en cuenta en cuanto al IPR en dientes temporales es que, además de tener menor cantidad de esmalte respecto a los dientes permanentes tienen mayor tendencia a la desmineralización debido al bajo contenido mineral y alto contenido orgánico²⁸.

5.2 INDICACIONES DEL STRIPPING

1. Resolver discrepancias del Índice de Bolton⁹.

Los parámetros normales del análisis de Bolton de la relación entre los dientes de la arcada superior y los dientes de la arcada inferior del primer molar permanente de una hemiarcada hasta el homólogo contralateral son $91.3\% \pm 1.91\%$ y los parámetros normales de canino a canino, ambos incluidos: $77.2\% \pm 1.65$. Estos resultados se obtienen

de dividir el diámetro mesio-distal de los dientes mandibulares entre los maxilares y después multiplicarlo por cien⁹.

Así mismo, podemos evaluar la disarmonía del tamaño de los dientes utilizando el análisis de Bolton calculando el exceso de anchura dentaria de una arcada respecto a otra analizando dónde está el problema de exceso de tamaño dentario, realizando además un set up para estudiar mejor la oclusión, resalte, etc...adecuado y resolverlo con stripping o extracciones²³.

2. Discrepancia óseo-dentaria negativa.

La discrepancia óseo-dentaria (DOD) es la relación que existe entre el tamaño del arco dentario o longitud de arcada (espacio disponible) y el tamaño dentario o tamaño mesio-distal de los dientes (espacio requerido). Si la DOD es negativa tendremos apiñamiento dentario pudiendo, en casos de apiñamiento leve o moderado, resolverlo mediante IPR^{24,26}.

Por lo tanto, podemos reducir el exceso de material dentario que interfiere en el alineamiento, causa de muchas maloclusiones².

3. Alternativa a las extracciones dentales.

Desde el principio de la ortodoncia es un tema de debate la realización o no de extracciones como solución a algunos tratamientos de ortodoncia para alinear las arcadas y conseguir a la vez una posición correcta de los incisivos en sentido vestíbulo-lingual¹⁹.

Las indicaciones, para evitar las extracciones con la realización del IPR, serían en casos de apiñamiento no muy severos, de 4 a 8 mm, reduciendo el diámetro mesio-distal de las superficies dentales proximales para ganar espacio en el arco dental ²⁷, pudiendo alinear los dientes sin proinclinarse en exceso los incisivos ni aumentar la distancia intercanina³.

Se ha estudiado la repercusión en el perfil blando de los tratamientos con extracciones y mesialización de molares, cerrando el espacio residual, y de los tratamientos sin extracciones con IPR de 0.4 mm en posterior y de 0.25 mm en anterior, evaluando el espesor de esmalte realizando una radiografía de aleta de mordida antes del stripping. Tras estudiar los resultados de ambas formas de tratamiento, observaron resultados parecidos, pero con pequeñas diferencias entre ellos encontrando una retrusión ligeramente mayor del labio superior e inferior en pacientes con extracciones y una disminución del tiempo de tratamiento en los pacientes tratados con IPR²⁰.

Para distalar la arcada en casos de apiñamiento, se ha utilizado como alternativa a las extracciones de los segundos premolares (empleada en los casos en los que no queremos retruir mucho el perfil) el IPR acompañado de microimplantes, encontrando resultados parecidos²⁹.

4. Indicaciones estéticas.

Indicado para alinear las piezas dentarias sin retruir perfiles y aplicado en los casos en los que, al realizar las extracciones, exista el riesgo de hundir el perfil³⁰.

También está indicado a nivel estético para eliminar los triángulos negros³.

5.Indicaciones periodontales.

La papila interdental no solo es una barrera para proteger las estructuras periodontales, sino que juega un papel crítico en la estética facial. La preservación de tejido gingival en el sector anterior se tiene muy en cuenta en los tratamientos periodontales, restaurativos e implantológicos. Influyen varios factores en la presencia o ausencia de papila interdental, siendo el factor dominante la distancia entre la cresta alveolar y el punto de contacto. Cuando la distancia es menor o igual a 5 mm, la papila está completamente presente³¹.

Aunque muchos estudios en prostodoncia han demostrado que una posición coronal al diente puede causar pérdida de papila interdental, un estudio reciente, utilizando CBCT para medir la arquitectura de la papila interdental en pacientes jóvenes de población China con salud periodontal, observó que no había relación³².

Podemos, mediante el stripping, disminuir la distancia entre el punto de contacto y la cresta alveolar³¹.

6.En dentición temporal.

En casos de agenesia de premolares en los que interesa retener a los molares temporales que se encuentran en el lugar de sus sucesores agenesicos podemos mejorar

la oclusión gracias al IPR de estos molares temporales dejando un tamaño más parecido al de los premolares agenésicos³³.

Autores como Al-Erman solucionan el apiñamiento temprano por falta de espacio en edades entre los 6 y 7 años reduciendo 1.5 mm en cada canino temporal, 3 mm en total³⁴.

Van der Linden sugiere prevenir el apiñamiento o mejorar las condiciones del alineamiento de los dientes anteriores realizando stripping seleccionado en algunos dientes temporales (favoreciendo la erupción de los dientes anteriores realizando el stripping de la cara mesial de los caninos temporales y continuar, según vayan evolucionando en la erupción, realizando el stripping de la cara mesial de los molares temporales para favorecer la erupción de los premolares³⁵.

Rosa realiza un "slicing" en dientes temporales en casos de apiñamiento menor a 2-3 mm para facilitar la erupción de los dientes permanentes aprovechando el espacio de deriva. Retira el esmalte interproximal con una fresa de diamante y spray con agua templada y sin anestesia porque realiza este slicing cuando la raíz del diente temporal a recortar tiene al menos la mitad de la raíz reabsorbida. Realiza dos cortes, uno oclusal, paralelo a la cara interproximal del diente permanente vecino, y otro en vertical. Va realizando el slicing primero en mesial del canino temporal para favorecer la erupción de los incisivos, después realiza el slicing en mesial del primer molar temporal para favorecer la erupción del canino permanente y así sucesivamente, cuando realiza el recorte mesial del segundo molar temporal ancla al primer molar permanente para que no

se mesialice. Hay que tener en cuenta que en la arcada superior el orden es distinto ya que la erupción del primer premolar permanente se realiza antes que la del canino.

Esta técnica es de pobre pronóstico cuando la curva de Spee está muy aumentada, el apiñamiento es mayor a 2-3 mm y la expansión de arcadas obtenga mejores resultados³⁶.

a. CONTRAINDICACIONES DEL STRIPPING

1. Rotaciones severas.

Muchos autores recomiendan alinear primero antes de realizar el stripping por tener tan difícil acceso²⁷.

2. Pacientes que no quieren realizarse stripping (no quieren que se rebaje el esmalte de sus dientes).

3. Alto riesgo de caries y mala higiene dental.

Al dejar el stripping pequeñas rugosidades y desmineralización del esmalte³⁷, que después hay que tratar y mejorar²⁷, si el paciente tiene mala higiene o tiene en boca muchos empastes que nos indican su mala higiene o calidad de esmalte es mejor buscar otra solución para el apiñamiento dentario³⁷.

b. TÉCNICAS DE STRIPPING

1. TIRAS MANUALES DE STRIPPING

Es un instrumento manual. Las tiras manuales de acero inoxidable pueden ser de una o dos caras y de grano fino, medio o grueso.

Las tiras de stripping manual se pueden utilizar para realizar un stripping, separar el punto de contacto o para mejorar los resultados del pulido añadiendo ácido ortofosfórico a las tiras de stripping manuales³⁸. Lapenaite et al realizaron una revisión bibliográfica desde 2003 al 2012 de las distintas técnicas que existen para realizar IPR resaltando de la técnica de tiras manuales que son las más indicadas en dientes muy rotados y para el recontorneado del diente después de realizar IPR, también evidencian que la tira manual no es práctico ni productivo, consume mucho tiempo y deja trozos de tira entre los dientes tras el IPR³⁹.

Sheridan y Chudasama recomiendan, después del stripping, pasar una tira de stripping manual mojada en ácido ortofosfórico y enjuagar la zona con spray de agua y después aplicar flúor²⁷.

El riesgo de dañar al diente es menor con la tira manual que con los discos perforados o con fresas⁴⁰.

Sheridan recuerda que el acceso para el stripping con tira manual en la zona posterior es mucho más laborioso²¹.

2. DISCOS DIAMANTADOS

Zachrisson recomendó realizar esta técnica basándose en la de Tuverson⁴¹, realizando IPR a cuatro manos, con la ayuda de un separador metálico y spray de agua refrigerante utilizando un disco de grano fino o medio de una sola cara de 0.1 mm insertado en un contra ángulo a velocidad media (30000 rpm)⁴².

Según Zhong et al, es posible realizar con estos discos un stripping dejando la superficie de esmalte incluso más suave que el esmalte natural en un tiempo de 2.2 minutos por superficie^{43,25}.

La desventaja de los discos diamantados es que pueden dañar la mucosa yugal y la lengua^{21,25,39}.

3. MOTOR -DRIVEN ABRASIVE STRIPS (TIRAS DE OSCILACIÓN MECÁNICA).

Este sistema consiste en un contra-ángulo al que se le conecta una tira de stripping oscilante de diamante.

La velocidad a la que va el motor de estos sistemas hace que la temperatura en la cámara pulpar aumente cuando se realiza el stripping pero menos que con una turbina, aun así no llega a ser mayor de 5.5°C⁴⁴.

Gazzani et al realizaron un estudio in vitro en el que analizaron los efectos sobre la superficie del esmalte después de reducirla mediante IPR utilizando toda la secuencia, es decir todo el kit de tiras del sistema de oscilación mecánica (Dentasonic) comparándolo con una sola tira (tira metálica), quedando las superficies más regulares utilizando el kit,

finalmente recomiendan utilizar toda la secuencia de tiras (Kit) y concluyendo la eficacia de este método que requiere menos tiempo de trabajo al ortodoncista que la tira manual⁴⁵.

Kaauara et al realizaron un estudio in vivo en el que también evaluaron la superficie del esmalte después del IPR comparando la técnica de tiras manuales de stripping, discos diamantados y tiras de oscilación mecánica (Intensive Ortho-strip) dejando esta última técnica la superficie más regular y con menos rugosidad que con la tira manual¹⁹.

Esta técnica es segura y no daña ni la lengua ni los labios y permite tener precisión en la remoción del esmalte sin ser incómodo para el paciente en un tiempo relativamente corto, aunque la vibración que produce este sistema es una desventaja por ser muy incómodo para el paciente²⁵.

4. AIR ROTOR STRIPPING (INSTRUMENTO ROTATORIO)

Esta técnica se realiza con una turbina de alta velocidad siendo más difícil ser conservadores²³. Es una técnica precisa, indolora y eficiente llegando a poder realizar una reducción interproximal de 1 mm en cada punto de contacto en la zona posterior y en la zona anterior no más de 0.5 mm en interproximal por ser más fino el esmalte en los incisivos laterales superiores y en los incisivos inferiores²¹. Sheridan y Chudasama recomiendan utilizar unas guías para la realización del stripping con Air Rotor Stripping utilizando separadores, protectores del tejido interdental, unas galgas para medir la cantidad de stripping realizado, también recomiendan realizar el alineamiento dental previo al stripping en dientes rotados e incluso round-tripping y realizar el stripping en

varias visitas. Para el IPR utilizan una fresa de stripping de fisura N°699L para comenzar con la reducción inicial, después utilizan fresas de diamante medio y fino para suavizar y contornear el diente y acaban realizando el pulido con discos giratorios finos Sof-Lex disks.

Utilizan fresas con la punta inactiva para prevenir la formación de muescas en las paredes proximales y proteger a los tejidos subyacentes.

Para dar más suavidad a la superficie se termina pasando una tira abrasiva fina impregnada en ácido ortofosfórico al 35% y utilizan la jeringa de agua.

Al final de este proceso recomiendan aplicar flúor porque la superficie de esmalte reducido tiene tendencia a remineralizarse y al aplicar productos fluorados previenen la caries en esta zona²⁷.

Silvestrini et al analizaron en un estudio in vitro cuatro diferentes técnicas de IER para ver la rugosidad que queda en la superficie del esmalte. Para ello utilizaron fresas de diamante fino de 30 micras (Komet 862 EF), fresa de diamante fino Komet 862 EF con 12 pasos de discos 3M Soft Lex medio-fino-ultrafino, fresa de diamante extrafina (15 micras), fresa de diamante extra fina con discos 3M Soft Lex medio-fino-ultrafino de 12 pasos, fresa de carburo de tungsteno (Komet ET9-8 de septiembre de 4159), fresa de carburo de tungsteno (Komet ET9-8 Septiembre 4159) con acabado de 12 discos medio-fino-ultrafino, tiras de diamante extra fina de Horico (espesor 0.10 mm), muestra control (esmalte sin tratar). La menor rugosidad de la superficie tratada se consiguió con la fresa

de carburo de tungsteno Komet ET9-8 Sep 4159 con la terminación de los 12 pasos de discos Soft Lex mediano-fino-ultrafino⁴⁶.

Levrini et al estudiaron in vivo la precisión de diferentes técnicas de stripping utilizando la planificación del software clincheck, utilizaron las tiras de reducción manual interproximal de Horico (Henry Scheim), fresas con turbina y tiras de stripping montadas en contraángulo, encontrando mayor precisión en el IPR realizado con fresas y turbina ya que se acercaba más la cantidad de stripping conseguido al planificado²³.

5. PULIDO FINAL TRAS EL IPR

Este paso final con discos de pulido tras el stripping es fundamental para reducir las rugosidades causadas por el stripping e intentar conseguir que la superficie del esmalte quede lo más suave posible.

Los discos abrasivos Sof-Lex existen en 4 tamaños de grano diferentes (de grueso a super fino)²⁷.

El pulido de la superficie del esmalte reducido tras el IPR es recomendado por numerosos autores para conseguir una menor rugosidad, demostrando mayor suavidad tras su uso^{45,19,46}.

6. GUÍAS QUIRÚRGICAS.

Henao et al nos explican detalladamente los distintos tipos de guías quirúrgicas que existen y su funcionamiento profundizando en la técnica de prototipado rápido⁴⁷.

Las guías quirúrgicas son dispositivos biomédicos indispensables para la inserción adecuada de los implantes dentales.

En general las guías de diagnóstico y quirúrgico deben poseer unas propiedades de rigidez, estabilidad y precisión para garantizar la exactitud y seguridad durante los procedimientos de inserción de los implantes^{48, 47}.

Idealmente deben llevar incorporados marcadores radiopacos, ser retentivos y estables intraoralmente, confortables, esterilizables y compatibles con la técnica tomográfica^{48,47}.

Las guías se pueden clasificar de acuerdo con la limitación o restricción que ofrezcan durante el momento de la preparación quirúrgica o de acuerdo con la técnica de fabricación⁴⁷.

1. Según la limitación o restricción:

-NO RESTRICTIVA: indica al cirujano la posición del implante en relación con la prótesis, no hay guía y por lo tanto hay menor control en la dirección o profundidad del fresado, con posibles errores de angulación, paralelismo...

-SEMIRESTRICTIVA: incorpora un tubo guía que corresponde a la fresa inicial, el resto lo hará sin guía.

-RESTRICTIVA: limita las posiciones vestibulares o linguales y posee topes de profundidad que hace que las preparaciones sean exactas y de acuerdo con la planificación^{49,47}.

2.Según la técnica de fabricación:

-GUÍA CLÁSICA O DE LABORATORIO: La ventaja de esta técnica es que tiene bajo coste y facilidad de elaboración y la desventaja es que no asegura ni la estabilidad ni la precisión. En el caso de que queramos tallar la cara vestibular de un diente, se pueden incorporar tubos guías en los sitios de las perforaciones con un diámetro que corresponde a la primera fresa (se trataría de una guía semirestrictiva). Se pueden realizar algunas modificaciones como eliminar la porción vestibular o lingual para mejorar la visibilidad, garantizar el paralelismo, disminuir la temperatura intraósea durante la preparación, incorporar pines de paralelismo, etc...

Se elaboran a partir de una lámina de acetato termoplástico aplicado al vacío sobre un duplicado de yeso y reforzado con polimetil metacrilato (PMMA), existen materiales alternativos como la resina fotopolimerizable tipo Triad^{47,50}.

-GUÍA DE DISEÑO CAD-CAM: Son de alto coste y requieren un proceso de planificación detallado y preciso. Se consigue la realización precisa de un plan de tratamiento a partir de una tomografía axial computerizada y una predeterminación protésica. Permite la fabricación de dispositivos de guía personalizados, es un protocolo mínimamente invasivo y permite rehabilitaciones precisas.

Mediante un software se procesa la información recogida por el escáner para, en casos de implantología, determinar las posiciones del implante en relación con los niveles óseos de la anchura y altura, esto permite realizar unas guías quirúrgicas prototipadas mediante mecanizado CNC o impresora 3D que incorporan imágenes de implantes posicionados de forma virtual.

El prototipado rápido incluye diferentes técnicas como la litografía estereoscópica (SLA), la sinterización selectiva por láser (SLS), el modelado por deposición fundida (FDM), fabricación de objetos laminados (LOM) y los sistemas basados en inyección de tinta e impresión tridimensional (3DP)⁴⁷.

La impresión 3D es una técnica aditiva que permite construir formas complejas incluyendo estructuras huecas, actualmente permite utilizar materiales metálicos o poliméricos. La técnica consiste en obtener un modelo virtual de forma escaneada o por modelado 3 D, posteriormente se materializa el objeto mediante la adición de un material capa a capa. Se utilizan principalmente en el área de la biomedicina tres sistemas, el de sinterización selectiva por láser (SLS), el modelado de deposición por fusión y la impresora por chorro de tinta.

Los principales materiales que se utiliza actualmente para la impresión 3 D son polímeros termoplásticos como el acrilonitrilo buta-dieno estireno (ABS), el ácido poliláctico (PLA), la poliamida (PA), el policarbonato (PC) y materiales poliméricos termoendurecibles como las resinas epóxicas⁴⁷.

La industria digital continúa produciendo innovaciones en el campo de los escáneres, máquinas de pulido, impresoras 3D, software, etc...

Al mismo tiempo empiezan a bajar los costes que envuelven a esta tecnología haciendo asequible el uso de la misma en la práctica clínica y en los laboratorios⁵¹.

En un estudio reciente in vitro que realizó Ellakany, Aly y Al-Harbi en el año 2021 evaluaron la exactitud en la medición en diferentes tipos de modelos, en modelos de escayola convencionales, en modelos digitales y en modelos digitales impresos en 3D. También observaron la exactitud en la medición utilizando diferentes escáneres, intra y extraorales, concluyeron que los escáneres extraorales mostraban mayor exactitud que los intraorales, los escáneres extraorales tenían mayor exactitud cuando se escaneaban arcadas completas y los escáneres intraorales tenían mayor exactitud cuando se escaneaba un diente unitario. También observaron que los modelos impresos en 3 D eran más exactos que los modelos digitales⁵².

Magne, en 1999, introdujo la utilización de silicona para las guías de preparación del diente⁵³.

Estudios recientes han utilizado guías termoplásticas para las preparaciones dentarias⁵⁴.

Gao et al introdujeron las guías auto-stop SLA para simplificar y tener más exactitud en la preparación de las veneers. Realiza la preparación virtual del diente, el encerado diagnóstico, el diseño virtual de la sonrisa etc... Utiliza unas plantillas

especiales para la preparación de la carilla creada digitalmente y fabricada por la técnica de estereolitografía⁵⁵.

Las guías impresas 3 D mejoran el control y manejo de la profundidad de la reducción de las preparaciones veneers, teniendo más exactitud que con la utilización de fresas guías⁵⁶.

También se han utilizado guías de metal customizadas que se colocan en el diente con una ventana en una porción de la cara vestibular para reducir solo esa zona obteniendo mayor control la reducción⁵⁷. Zhong Li et al, utilizaron una guía de aleación de metal (con unas guías rígidas que delimitan la reducción) impresa en 3D con la que consiguió mayor exactitud que con las fresas de medición⁵⁶.

En un estudio reciente del año 2021, Gao evalúa el grado de exactitud entre diferentes guías de preparación para carillas Veneers. El grupo F realiza la preparación a mano alzada, el grupo S con guía de Silicona, el grupo T con guía termoplástica, el grupo D con guía uniforme impresa en 3 D y el grupo A con guía auto-stop impresa en 3 D. Los grupos D y A realizaron un escáner intraoral de la arcada, después lo exportaron como archivo Standard Tessellation Language (STL), este archivo se importó en un software dental CAD y se diseñó la guía para la preparación en el modelo digital, esta guía se fabricó por impresora 3D.

En el grupo A se añadió en el diseño unas auto-guías para que la fresa vaya guiada en la preparación, además a estas fresas les incorporaron un tope de manera que cuando llegan a dicho tope ya no pueden seguir reduciendo.

Midieron antes y después de realizar las preparaciones utilizando modelos digitales que se importaron en el software de metrología 3D. Utilizaron los valores de veracidad de la reducción comparando la profundidad de la preparación (hecha) con la profundidad diseñada (planificada): MADs.

Los resultados confirmaron la importancia y la necesidad de utilizar guías para conseguir la exactitud en la preparación⁵⁸.

Las guías de material termoplástico alcanzaban mayor exactitud que las de silicona, esto puede ser por la flexibilidad de la silicona, pudiendo ejercerse más presión en la guía de silicona disminuyendo el espacio entre la guía y la superficie del diente. El grupo A fue el que alcanzó mayor exactitud (grupo con guías auto-stop impresas en 3D)⁵⁸.

El coste de las guías impresas en 3D son más caras que las de silicona o termoplástico convencionales siendo importante seguir avanzando en el estudio de guías que nos aporten mucha exactitud a un precio asequible.⁵⁵

c. EFECTOS ADVERSOS-COMPLICACIONES ASOCIADAS AL IPR

El procedimiento de IPR produce unas irregularidades en la superficie del esmalte que pueden aumentar la susceptibilidad de estos dientes al acúmulo de placa bacteriana y por lo tanto mayor tendencia a la caries^{27,37,59,60}.

Por otra parte, Jarjoura hizo un estudio en el que demostró que tras el stripping no había un mayor índice de caries²⁶.

Para mejorar las irregularidades generadas tras el IPR Hudson introdujo en las tiras interproximales metálicas de grano fino y medio la aplicación de flúor tópico tras el stripping⁵⁹.

Paskow recomendó que la cantidad de IPR debe estar comprendida entre 0.23mm y 0.37mm sugiriendo tras el mismo la aplicación de flúor tópico⁶¹.

1. Rugosidad superficial

Tras el stripping la superficie del esmalte presenta un incremento de rugosidad y se recomienda restaurar la textura y morfología utilizando una fresa de grano medio y después fino y finalmente el disco Soft-lex (antes del pulido para el stripping utilizan una fresa N° 699 L tapered fissure carbide). Estos mismos autores también sugieren aplicar 35% de ácido fosfórico con una tira fina manual tras utilizar la fresa "safe-tipped ARS" (Air Rotor Stripping)²⁷.

La rugosidad superficial del esmalte producida como consecuencia de la IPR ha sido ampliamente analizada. Piacentini et al demostraron que el stripping con fresa de carburo de tungsteno de 8 hojas mantenía una superficie más pulida que con otros materiales, puliendo después con unos discos Sof-Flex y terminando con discos Sof-Lex ultrafinos⁶². Radlanski et al observaron que estas irregularidades superficiales pueden inducir la aparición de caries y por lo tanto se recomienda realizar un pulido después del stripping^{37,63}. Se recomienda favorecer la remineralización del esmalte tras el IPR, ya que, a pesar de que disminuya la rugosidad del esmalte tras realizar un pulido adecuado, la desmineralización no disminuye⁶⁴. Es por esto por lo que se recomienda proteger el

esmalte con diferentes procedimientos terapéuticos: Aplicación de fluoruros. Se recomienda utilizarlos tanto en dentífricos como en gel, barnices y cementos, siendo este el abordaje más utilizado para reducir la incidencia de desmineralización y sobre todo para prevenir lesiones del esmalte tempranas⁶⁵. Choudhary et al recomiendan el uso de fluoruro de estaño al 8% aplicado durante 4 minutos y el uso de enjuagues de flúor una vez al día durante 45 días para reducir sus complicaciones⁶⁶. El barniz de flúor reduce la rugosidad superficial y ayuda a la recuperación de los minerales perdidos⁶⁷. El barniz de flúor es cariostático y su principal acción permite retardar la desmineralización y promover la remineralización del esmalte y dentina por la absorción de calcio y fosfato de la saliva⁶⁸.

Jarjoura et al no asocian la realización del IPR con un incremento del riesgo de caries, pero reconocen que la aplicación de flúor tópico con pasta dentífrica reduce el riesgo de la incidencia de caries aconsejando su uso en todos los pacientes con o sin IPR²⁶.

También se ha recomendado el uso de caseína fosfopéptida amorfa calcio fosfato (“Casein Phosphopeptide-Amorphous Calcium Phosphate” (CPP-ACP)) para reducir la incidencia de desmineralización de una forma parecida a como lo hace el flúor, favoreciendo la remineralización. El CPP-ACP proviene de la leche y se adhiere al ACP y esto previene la disolución de iones de calcio y fosfato, manteniendo el estado de sobre saturación que inhibe la desmineralización y mejora la remineralización^{69,70}.

Patel et al realizaron un estudio en el que se comparó la actividad de fluoruro sódico y fluoruro cálcico al 6%, digluconato de clorhexidina al 10% y fluoruro de sodio al 5% y CPP-ACP al 2% frente a la caries dental valorando la cantidad de *Streptococcus*

mutans presente en saliva. Concluyeron que el digluconato de clorhexidina presentaba un mayor efecto antibacteriano seguido de la CPP-ACP con flúor y el barniz de flúor⁷¹. Así mismo, Russell también destacó la capacidad antimicrobiana del digluconato de clorhexidina y su efecto inhibidor de la caries dental; no obstante, también evidenció las tinciones intrínsecas asociadas al mismo, sus propiedades organolépticas y la descamación del epitelio⁷².

Por otra parte, el CPP-ACP no solo contribuye a la remineralización del esmalte, sino que también hace que disminuya la cantidad de *S. Sobrinus* y *S. Mutans*, inhibiendo su adherencia sobre el biofilm⁷³.

Duraisamy et al descubrieron el efecto sinérgico entre el CPP-ACP y el flúor al mostrar una menor desmineralización y un mayor potencial remineralizador⁷⁴.

Wang et al realizaron una revisión sistemática en la que analizaron el efecto preventivo y terapéutico del CPP-ACPF, el CPP-ACP con flúor incorporado y un placebo frente a las lesiones de manchas blancas observadas tras el tratamiento fijo multibracket y concluyeron que no había diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de estudio⁷⁵.

2.Efecto térmico sobre el tejido pulpar

Banga et al observaron que la IPR realizada mediante fresa con turbina, tira de metal manual (Horico) y Kit de tiras de motor con contraángulo de IPR de ortodoncia no

incrementaba la temperatura más de 5.5°C ⁷⁶. Zach y Cohen observaron que un aumento de la temperatura superior a 5.5°C podría inducir una necrosis pulpar⁷⁷.

Hay que tener en cuenta que el contenido mineral y el tamaño de la cámara pulpar de un diente difiere según la edad del paciente y esto puede cambiar el aumento de la temperatura al realizar el stripping de unos individuos a otros^{78,79}.

Aunque el uso de agua refrigerante y aspiración al mismo tiempo pueda dificultar la visibilidad, impide el aumento de temperatura¹³. Es por esto, que varios autores recomiendan el uso de refrigeración^{40,80}. Shegal et al observaron cambios térmicos en la cámara pulpar asociados a diferentes técnicas de stripping, pero aquellas que utilizaban refrigeración presentaban valores térmicos más bajos⁸¹.

d. TÉCNICAS DE MEDICIÓN DEL STRIPPING

1. MICROSCOPIO ÓPTICO

Los microscopios electrónicos permiten alcanzar ampliaciones mayores que los ópticos debido a que la longitud de onda de los electrones es bastante menor que la de los fotones. Los microscopios electrónicos utilizan electrones en lugar de luz o fotones para formar imágenes de objetos diminutos⁸².

2. MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE TRANSMISIÓN (TEM)

Los conceptos básicos de este tipo de microscopía fueron propuestos por Knoll y Ruska^{83, 84}.

Gracias al TEM se comenzó a estudiar el análisis estructural de los diferentes tipos de células⁸⁵.

3. MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO (SEM)

Los conceptos básicos del microscopio electrónico de barrido (SEM) o de barrido fue inventado por M. Knoll en 1931^{83,86}.

En el microscopio electrónico de barrido la interacción del haz de electrones con la superficie de la muestra genera un número de señales que formarán la imagen. Estas señales son electrones secundarios formados a través de un detector que capta la interacción del haz de electrones con la superficie, estos electrones secundarios formarán la imagen⁸⁴.

El microscopio electrónico de barrido está indicado para estudiar la estructura del esmalte dental, debido a su habilidad para crear imágenes de alta resolución de las superficies duras⁸⁷.

Los electrones, emitidos por un cátodo de tungsteno, pasan por una columna al vacío. El haz inicial es concentrado por una serie de lentes electromagnéticas, su diámetro va disminuyendo hasta hacerse puntual. La intensidad de la corriente disminuye y también la cantidad de electrones primarios.

Este haz puntual electrónico es desplazado sobre toda la superficie de la muestra barriéndola con continuas idas y venidas (movimientos de vaivén).

La interacción del haz electrónico con la superficie es captada por un detector, se forman fotones que son dirigidos a través de un cañón de luz a un fotomultiplicador dando origen dichos fotones a fotoelectrones que, a través de unos diodos, producen una gran cascada de electrones secundarios, estos a su vez pasan a un video-amplificador y son dirigidos a producir la imagen⁸⁴.

Numerosos autores estudian la rugosidad de la superficie del esmalte en interproximal tras el IPR^{19,25,45,46}.

4. ESCÁNERES

Richert et al explican cómo funcionan los escáneres intraorales y los distintos tipos⁸⁸. Desde el siglo XVIII se han utilizado técnicas de impresión para registrar los tejidos dentales en las tres dimensiones del espacio. En 1980 se empezaron a aplicar las cámaras intraorales en odontología. Estas cámaras intraorales actualmente siguen creciendo, encontrando distintas marcas como Trios (3 Shape) / True Definition (3M) / Lythos (ORMCO)/ iTero (Align Technoly) / Cerec Omnicam (Sirona) / Condor, etc...⁸⁸.

Las impresiones se toman por una cámara intraoral que realiza una digitalización óptica escaneando el rayo de luz a las superficies dentarias y a los tejidos blandos vecinos sin estar en contacto directo. El rayo que incide en la superficie escaneada se refleja, este rayo reflejado depende de la habilidad de la superficie de rebotar la señal de la luz emitida

por el sensor. Los ortodoncistas tenemos que tratar con distintos materiales (esmalte, cerámica, metal, tejido blando, etc...) con diferente reflectividad. Esto podemos mejorarlo espolvoreando dióxido de titanio, pero sin espolvorear demasiado porque podríamos distorsionar el registro de la superficie. En el rebote de vuelta, el haz es recogido por un fotosensor (CCD o CMOS). El registro depende de la cualidad intrínseca del sensor y del software de la cámara que procesará y discriminará la información eléctrica validándola (generando un punto) o invalidándolo (eliminándolo)⁸⁸.

Existen distintos sistemas de cámaras:

-Por triangulación. Utiliza un rayo láser para escanear la superficie que será registrada y recibida en una cámara digital que analiza la distorsión y la reflexión del rayo para determinar el criterio espacial. Cientos de triángulos forman la imagen 3D. Se llama así porque el láser transmisor, el receptor y el punto de láser en la superficie forman un triángulo. Este sistema se usa en el Sirona Cerec Bluecam System⁸⁸.

-Por interferometría o proyección de franjas de luz (AFI: Accordion Fringe Interferometry). Este escáner está equipado con unos filtros a través de los cuales se proyectan unos patrones de luz en forma de franjas emitidas por un láser. Estas franjas de luz se deforman en la superficie del diente y los tejidos blandos que son escaneados según variaciones en altura.

Esta tecnología se usa en ORMCO'S Lythos scanner, comparando con el sistema de triangulación que escanea banda a banda, el sistema AFI escanea multibanda⁸⁸.

-Imagen por paralelismo confocal (holografía conoscópica). El rayo láser se proyecta a través de un agujero de alfiler. El rayo reflejado pasa a través de un cristal birrefractario y es dirigido hacia un sensor a través de un agujero de aguja eliminando la luz refractada que está localizada fuera del plano focal. Solamente son registrados los puntos bien definidos dentro del plano focal formando cortes del objeto y a su vez se forman cortes en miles de puntos para formar la imagen tridimensional de la superficie escaneada. El sistema de reconstrucción de la imagen se llama "point-and-stitch reconstruction". La ventaja de esta técnica es que el rayo incidente y reflejado son colineales y siguen la misma trayectoria, esto permite medir ángulos tan largos como 85° y profundos recovecos y cavidades no siendo posible en otras técnicas en las que la fuente y el receptor no están alineados como ocurre en la triangulación o técnica AFI.

El sistema iTero by Cadent y el sistema Trios by 3 Shape ambos utilizan la imagen paralela confocal⁸⁸.

-Video estereofotogramétrico o video de captura 3D en movimiento: In-motion 3D video capture o stereophotogrammetric video. Dos o varias cámaras HD se posicionan apartadas, la captura es precisa, pero con diferentes imágenes de las superficies escaneadas. Las distancias entre los puntos son calculadas en base al menos a dos puntos para obtener coordenadas tridimensionales, estas coordenadas X, Y y Z se calculan a través de un análisis de algoritmos de las imágenes⁸⁸.

La técnica estereofotogramétrica se utiliza en aviación durante el reconocimiento de los vuelos para registrar la misma área al mismo tiempo desde diferentes ángulos y crean una imagen 3D.

Esta técnica se usa en el sistema True Definition by 3M y el sistema Condor⁸⁸.

a. REALIZACIÓN DE LA IMAGEN COMPUTERIZADA.

Todos los puntos de la superficie atacados por el rayo de luz son registrados en la cámara. Se cogen vistas de diferentes ángulos para cubrir la superficie entera. Cada imagen se superpone en otra para obtener una reconstrucción completa y precisa del objeto escaneado.

El software limpia la imagen quitando los puntos que se repiten e igualan la densidad de los puntos registrados definiendo la resolución.

Si se realiza un escaneado in vivo debemos de evitar escanear "parásitos móviles" como la lengua o los dedos del operador, si apareciesen debemos borrarlos y eliminarlos.

Las impresiones digitalizadas de toda la boca no deben durar más de 10 minutos⁸⁸.

b. ARCHIVOS DIGITALES

Después de escanear la imagen se recomienda codificar los archivos en formato libre como STL (Standard Tessellation Language) para hacerlo legible por todos los software 3 D, este formato digital describe una sucesión de superficies trianguladas donde cada triángulo está definido por tres puntos en una superficie.

Existen otros formatos digitales como son los archivos PLY (Polygon File Format) para registrar transparencias, colores o textura de los tejidos dentales.

Los archivos 3 D se pueden visualizar en cualquier momento⁸⁸.

c. PRECISIÓN Y VERACIDAD

La exactitud del IOS (escáner intraoral) viene descrita por dos métodos de medición: la veracidad y la precisión.

Veracidad es la cercanía entre la media aritmética de un largo número de resultados de la prueba y el valor de referencia aceptado.

Precisión es la cercanía entre sí de los resultados de la prueba.

La implementación del escáner intraoral en la práctica dental coincide con el desarrollo de la tecnología CAD-CAM (computer-aided design and manufacturing) aportando numerosas ventajas al operador como un plan de tratamiento más fácil, aceptación del caso, comunicación con laboratorios, reduce el tiempo de trabajo, requerimientos de almacenamiento, etc⁸⁸.

d. UTILIZACIÓN DEL ESCÁNER PARA MEDIR LA CANTIDAD DE ESMALTE REMOVIDO EN EL STRIPPING.

En estos últimos años se están realizando numerosos estudios para investigar la cantidad de esmalte removido durante el stripping, ver si se retira más esmalte en la cara distal o en la mesial, estudiar si se tiende a realizar mayor cantidad de stripping en la clínica que el planificado, etc... utilizando distintos métodos de medición digital.

Algunos de estos estudios están realizados in vivo y acompañados de tratamientos con aparatos termoplásticos como Invisalign.

En el estudio de Kalemaj y Levrini investigan la relación entre la reducción interproximal programada (p-IPR) y la reducción interproximal realizada (i-IPR) en tratamientos de ortodoncia utilizando como forma de medición el índice de Bolton del programa clincheck de invisalign²³.

Otros autores como De Felice et al realizaron un estudio en el que compararon el stripping planificado con el realizado utilizando como método de medición el set up digital en el tratamiento con Clear Aligner (CAT) midiendo de segundo premolar en un lado a segundo premolar en el otro⁸⁹.

Laganà et al compararon la reducción de esmalte interproximal planificado con el realizado en pacientes tratados con Invisalign comprehensive package utilizando como método de medición el software digital orthocad midiendo la anchura mesio-distal de todos los dientes excepto los molares⁹⁰.

5. MICROSCOPIO DE FUERZA ATÓMICA (AFM).

El AFM fue inventado en 1987. Este microscopio estudia la estructura de la superficie de las muestras midiendo las fuerzas de interacción entre los átomos de esta superficie y los átomos de una punta acoplada en el extremo de una palanca flexible o cantiléver, como resultado de esta interacción y dependiendo de la distancia entre la punta

y la superficie de la muestra, los átomos estarán sujetos a unas fuerzas de naturaleza atractiva o repulsiva definiéndose dos áreas según la distancia, área de contacto y área de no contacto. En el área de contacto la distancia entre la punta y la superficie de la muestra es de unos pocos Angstroms (Å) y las fuerzas que actúan entre los átomos son fuerzas de repulsión electrostáticas. En el área de no contacto en la que la distancia es relativamente mayor (de unos 10 a 100 Å) las fuerzas interatómicas son de naturaleza atractiva como resultado de las fuerzas de Van der Waals de largo alcance.

A medida que va rastreando la superficie, línea a línea, las fuerzas de interacción entre átomos provocan una flexión del cantiléver que puede ser detectado por el sistema de detección óptico de desviación del cantiléver y de este modo se pueden medir las desviaciones del cantiléver mediante una luz láser.

Debido a cambios en la superficie de la muestra, se producen doblamientos del cantiléver que provocan cambios en el ángulo de la reflexión del láser y cambios en la intensidad de la luz del láser reflejado.

Esta diferencia de intensidad se transforma en una señal eléctrica pudiendo cuantificar tanto los movimientos verticales de la punta como los laterales y de torsión del cantiléver.

Al mismo tiempo, a través de un circuito de retroalimentación se controlan los movimientos de la punta y de la muestra durante el rastreo gracias a un sistema de tubos piezoeléctricos.

Mediante un procesador de señales se convierten las señales eléctricas del cabezal del microscopio en datos que podrán ser analizados por un programa informático. Los datos obtenidos son procesados y transformados en imagen⁹¹.

De este modo el AFM permite obtener información no solo de la topografía de la muestra sino también de sus propiedades mecánicas y viscoelásticas⁹².

6. TÉCNICA CON FOTOGRAFÍA INTRAORAL ESTANDARIZADA DE MÁXIMO ACERCAMIENTO Y MEDICIÓN ELECTRÓNICA DE LA FOTOGRAFÍA OBTENIDA.

Se utiliza para la medición computerizada de áreas y perímetros oclusales sobre imágenes fotográficas estandarizadas. Esta técnica permite medir el área y periferia de superficies dentales cubiertas por sellantes, amalgamas, resinas o cualquier otro material de obturación, zonas de desgaste dental, zonas de hipocalcificación, líneas de fractura, restauraciones protésicas, tamaño de cavidades cariosas, pigmentaciones dentales, lesiones de tejidos blandos, adaptación oclusal de bandas ortodóncicas, evaluación de la apariencia clínica del esmalte después de tratamientos ortodóncicos, control de movimientos dentales con aparatología fija y removible⁹³.

7. PROFILOMETRÍA Y RUGOSIMETRÍA.

El perfilómetro o rugosímetro es una técnica útil y objetiva para la evaluación cuantitativa de la rugosidad de diversas superficies en odonto-estomatología, especialmente en odontología restauradora, materiales odontológicos y periodoncia.

El rugosímetro dispone de una unidad central con teclado programable, impresora y opción de incorporar un video o pantalla.

Las funciones del perfilómetro son:

- Registro del estado de la superficie seleccionada.
- Impresión de las rugosidades y distribución de su amplitud.
- Capacidad de detección de hasta 15 parámetros independientes.

Parámetros de interés a investigar:

RT: Rugosidad mayor desde el punto más bajo al más alto del perfil de la rugosidad o profundidad de rugosidad máxima.

RZ: Profundidad media de la rugosidad.

RM: La rugosidad de máxima profundidad en la determinación del RZ.

RA: Valor medio de rugosidad o media aritmética de los valores absolutos de todas las ordenadas del perfil dentro del recorrido total y eliminando las sinuosidades.

Para la medición de la rugosidad de una superficie se registra con un micro detector con una punta de diamante. La aguja de diamante palpa toda la rugosidad de la superficie y las oscilaciones de la aguja se transforman en tensiones eléctricas cuya intensidad es proporcional a la magnitud de las oscilaciones. Los impulsos eléctricos son aumentados por un amplificador digital y un microprocesador calcula los valores de la rugosidad⁹⁴.

La rugosidad se puede medir también con el Microscopio electrónico de barrido (SEM) y con el Microscopio de fuerza atómica (AFM)⁹⁵.

JUSTIFICACIÓN

Justificación

Justificación

La reducción de esmalte interproximal es un procedimiento clínico que se utiliza mucho en ortodoncia para ganar espacio en la arcada dentaria permitiendo el alineamiento de los dientes sin protruir la zona anterior en exceso evitando problemas periodontales, ni retruir el perfil ya que resuelve el apiñamiento evitando las extracciones dentarias.

Es motivo de estudio intentar mejorar esta técnica y conseguir una mayor confortabilidad y seguridad para el paciente, mejorar el acceso al stripping disminuyendo el riesgo de dañar a la lengua y a los tejidos blandos, aumentar la visibilidad ya que se debe realizar esta técnica con spray y agua para refrigerar el diente, mejorar el acceso para el IPR en la zona posterior ya que es de mayor difícil acceso, y disminuir el riesgo de reducir más cantidad de stripping de lo que se debe dañando al diente.

Por lo tanto, es muy importante cuantificar la cantidad de esmalte a reducir antes de realizar el stripping mediante técnicas precisas de medición y ser lo más exacto posible a la hora de realizar la reducción.

Con este estudio se pretende descubrir una técnica novedosa de stripping, diferente a la utilizada de forma convencional, para poder obtener unos resultados más precisos repercutiendo en el beneficio del paciente.

Justificación

OBJETIVOS

PRINCIPAL

El objetivo principal de este estudio es desarrollar una nueva técnica para reducir el esmalte interproximal, mediante una técnica de navegación estática y analizar su precisión respecto a la técnica a mano alzada.

HIPÓTESIS

HIPÓTESIS NULA (H_0)

No se observaron diferencias estadísticamente significativas en la precisión del stripping realizado mediante navegación estática asistida por ordenador y el stripping realizado a mano alzada.

HIPÓTESIS ALTERNATIVA (H_1)

Se observaron diferencias estadísticamente significativas en la precisión del stripping realizado mediante navegación estática asistida por ordenador y el stripping realizado a mano alzada.

MATERIAL Y MÉTODOS

DISEÑO DEL ESTUDIO

Se llevó a cabo un ensayo experimental controlado aleatorizado de acuerdo con los principios definidos en la organización Internacional de Normalización (ISO 14801) en el departamento de Cirugía de la Universidad de Salamanca (Salamanca, España), el servicio de Estomatología del Hospital Fundación Jiménez Díaz (Madrid, España) y el Departamento de Ciencias Biomédicas, Quirúrgicas y Odontológicas de la Università degli Studi di Milano (Milán, Italia), entre septiembre de 2022 y octubre de 2023. Además, este estudio fue autorizado por el comité ético de la Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Alfonso Décimo el Sabio (Madrid, España) en julio de 2022 (Proceso nº 14/2022).

SELECCIÓN DE LA MUESTRA

CRITERIOS DE INCLUSIÓN

Los criterios de inclusión para la selección de la muestra fueron:

1. Dientes superiores e inferiores.
2. Dientes sin patología dental.
3. Dientes sin tratamiento dental previo.
4. Consentimiento informado firmado por el paciente para incluir los dientes en el estudio.

CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

Los criterios de exclusión de la muestra fueron:

1. Dientes con patología dental.
2. Dientes con tratamiento dental previo.
3. Falta de consentimiento informado por el paciente para incluir los dientes en el estudio.

TAMAÑO MUESTRAL

En este estudio se incluyeron doscientos (200) procedimientos de reducción del esmalte interproximal para garantizar un efecto de potencia del 80.00 % para detectar diferencias estadísticamente significativa.

Se utilizó la prueba t de Student bilateral de dos muestras independientes para evaluar la hipótesis nula $H_0: \mu_1 = \mu_2$, con un nivel de significancia de 5.00 %. El cálculo de tamaño de la muestra se realizó en la variable nivel lingual/ palatino; Para detectar diferencias de 0.2 unidades con una desviación de 0.1, se necesitaron 10 observaciones por grupo.

PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS

Veinte modelos experimentales de poliuretano (Ref. 1522-62; Sawbones Europe AB; Malmö, Suecia), con puntos de contacto entre dientes adyacentes, se utilizaron en

este estudio. Posteriormente, los modelos experimentales anatómicos de poliuretano se distribuyeron aleatoriamente (Epidat 4.1, Galicia, España) en las siguientes técnicas de reducción interproximal: técnica de reducción del esmalte interproximal basada en la técnica de navegación estática asistida por ordenador (NemoStudio®, Nemotec, Madrid, España) (n = 10) (IPR guiado (GI)) para el Grupo A y técnica convencional a mano alzada para la reducción del esmalte interproximal (n = 10) (IPR a mano alzada (FHT)) para el Grupo B. El uso de poliuretano se basó en la aprobación de la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM F-1839-08) del uso de poliuretano para instrumentos de prueba y procedimientos dentales ("Especificación estándar para espuma rígida de poliuretano para uso como material estándar para dispositivos ortopédicos de prueba para instrumentos").

PLANIFICACIÓN DE LA REDUCCIÓN DE ESMALTE INTERPROXIMAL

Los modelos experimentales de poliuretano de base anatómica superior e inferior se fijaron en un maniquí imitando la cabeza del paciente y posteriormente se fijaron a un sillón dental para simular un entorno real.

PROCEDIMIENTO DE REDUCCIÓN DE ESMALTE INTERPROXIMAL

Se realizó una reducción del esmalte interproximal de 0.2 mm de ancho utilizando fresas de rotor de aire con una longitud de cabeza de 7 mm, una longitud total de 23.5 mm y un diámetro mínimo y máximo de 0.2 mm y 0.55 mm, respectivamente (Código

852-005, E11S Komet Medical, Lemgo, Alemania), fijados al dispositivo de rotación de alta velocidad (Tornado LK; Bien Air, Le Noirmont, Suiza) colocado en el sillón dental a 410.000 rpm con irrigación profusa. En particular, se utilizó una fresa en cada técnica de reducción del esmalte interproximal.

Los modelos experimentales de poliuretano de base anatómica asignados aleatoriamente al grupo de estudio GI se sometieron a un escaneo de superficie intraoral en 3D (True Definition, 3M ESPE™ Saint Paul, MN, USA) para una impresión digital. Los conjuntos de datos obtenidos del flujo de trabajo digital se cargaron en un software de planificación de implantes 3D (NemoStudio®, Nemotec, Madrid, España) para diseñar plantillas virtuales para la técnica de reducción del esmalte interproximal basada en la técnica de navegación estática asistida por ordenador. A continuación, se diseñaron dos fresas de implante virtual cruzando el punto de contacto en la superficie interproximal de los dientes con un diámetro y longitud de 0.2 y 23.5 mm, respectivamente, de acuerdo con las medidas de fresas aire-rotor (Figura 1A) de las recomendaciones establecidas por Chudasama et Sheridan (2007)²⁷. En particular, la fresa se colocó perpendicular al eje axial de los dientes adyacentes hasta eliminar 0.2 mm en la superficie mesial y 0.2 mm en la superficie distal de los dientes adyacentes bajo irrigación profusa. Se realizaron diez procedimientos de reducción del esmalte interproximal en cada modelo experimental de moldeado de poliuretano basado en anatomía. Después de diseñar las plantillas virtuales (Figura 1A,B), se fabricaron utilizando la técnica de estereolitografía (ProJet 6000, 3D Systems, Rock Hill, SC, USA) (Figura 1C). Las plantillas se ajustaban al modelo y no necesitaban más ajustes.

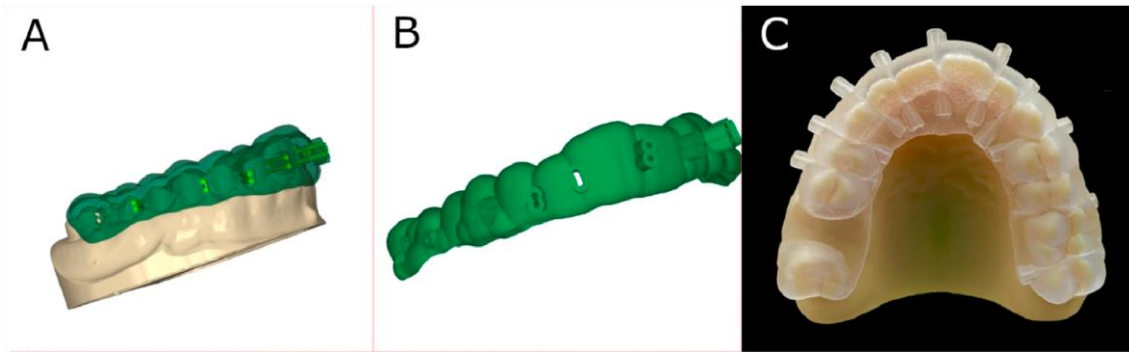


Figura 1. (A) Diseño de fresas de implantes virtuales que cruzan el punto de contacto en la superficie interproximal de los dientes, (B) diseño de plantillas virtuales y (C) plantillas estereolitográficas adjuntas a los modelos de fundición experimental GI de poliuretano.

Los modelos experimentales de molde de poliuretano de base anatómica asignados aleatoriamente al grupo de estudio FHT se sometieron a procedimientos de reducción del esmalte interproximal siguiendo las recomendaciones establecidas por Chudasama y Sheridan²⁷, mediante la colocación de la fresa perpendicular al eje axial de los dientes adyacentes hasta eliminar 0.2 mm en la superficie mesial y 0.2 mm en la superficie distal de los dientes adyacentes bajo irrigación profusa.

Los procedimientos de reducción del esmalte interproximal fueron realizados por un operador único con más de 20 años de experiencia en ortodoncia.

MEDICIÓN DIGITAL DE LA REDUCCIÓN DE ESMALTE INTERPROXIMAL

Los modelos experimentales de poliuretano basados en la anatomía de los grupos de estudio GI y FHT se sometieron a una impresión digital postoperatoria mediante un escaneo intraoral (True Definition, 3M ESPE™, Saint Paul, MN, USA) a través de una tecnología de imagen de video en movimiento 3D para generar un archivo digital STL

utilizando una nube de puntos que crean una red de tesela. representando objetos tridimensionales como polígonos compuestos de teselas de triángulos equiláteros. El procedimiento de captura de imágenes se realizó siguiendo las recomendaciones del fabricante mediante el escaneo del plano incisal/oclusal y de las superficies vestibular y lingual. Posteriormente, los archivos digitales preoperatorios y postoperatorios del "Lenguaje de Teselación Estándar" (STL)⁸⁸ se importaron a un software de planificación de implantes 3D (NemoStudio®, Nemetec, Madrid, España); Se llevó a cabo un procedimiento de alineación de arco completo. El archivo digital STL preoperatorio se consideró el archivo digital de referencia, y el archivo digital STL postoperatorio se superpuso utilizando las superficies bucal y palatina/lingual de los dientes anteriores y las superficies oclusal, bucal y palatina/lingual de los dientes posteriores con el algoritmo de mejor ajuste (Figura 2A). Se utilizaron estas superficies como referencia porque no se habían alterado durante el proceso de stripping, permitiendo superponer las piezas pre y postoperatorio. Posteriormente, se midió la precisión de la reducción del esmalte interproximal a nivel bucal (mm), lingual/palatino (mm) y angular (°). Este procedimiento de medición digital se realizó en un estudio previo de Triduo et al⁹⁶. Además, también se midió la distancia de reducción del esmalte interproximal (Figura 2B).

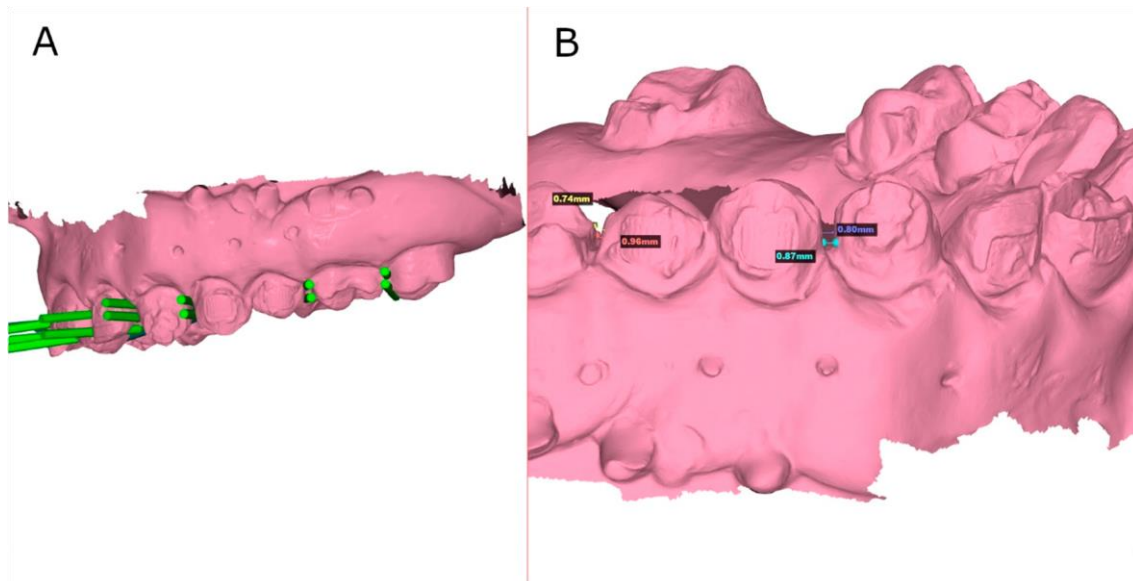


Figura 2. (A) Procedimiento de alineación entre la planificación preoperatoria (cilindros verdes) y los archivos digitales STL postoperatorios. (B) Mediciones lineales de los procedimientos de reducción del esmalte interproximal.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico de las variables de medida se realizó utilizando SAS 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Los estadísticos descriptivos se expresan como media y DE para la reducción del esmalte interproximal (mm). Se analizó el análisis comparativo entre la técnica de reducción del esmalte interproximal basada en la técnica de navegación estática asistida por ordenador y la técnica convencional basada a mano alzada para la reducción del esmalte interproximal a nivel bucal (mm), lingual/palatino (mm) y angular ($^{\circ}$) mediante la prueba t de Student y la prueba no paramétrica de Mann-Whitney. La repetibilidad y reproducibilidad de la técnica de medición digital se analizó mediante el análisis estadístico Gage R&R.

RESULTADOS

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

En la Tabla 1 y en la Figura 3 se muestran las medias y los valores de desviación estándar (SD), para la reducción del esmalte interproximal (mm) entre la técnica de reducción del esmalte interproximal basada en la técnica de navegación estática asistida por ordenador y la técnica convencional a mano alzada para la reducción del esmalte interproximal a nivel bucal.

Tabla 1. Estadística descriptiva de la reducción del esmalte interproximal (mm) entre la técnica de reducción del esmalte interproximal basada en la técnica de navegación estática asistida por ordenador y la técnica convencional a mano alzada para la reducción del esmalte interproximal a nivel bucal.

Medición	Técnica	<i>n</i>	Media (mm)	SD (mm)	Mínimo (mm)	Máximo (mm)
Bucal	GI	200	0.20	0.09	0.10	0.40
	FHT	200	0.39	0.07	0.30	0.50
Lingual/Palatino	GI	200	0.24	0.11	0.10	0.40
	FHT	200	0.58	0.9	0.40	0.70
Angular	GI	200	3.63	0.58	2.30	4.20
	FHT	200	4.01	0.60	2.60	4.60

SD: desviación estándar.

ESTADÍSTICA COMPARATIVA

La prueba *t* de Student mostró diferencias estadísticamente significativas ($p = 0.0008$) entre la técnica de reducción del esmalte interproximal basada en la técnica de navegación estática asistida por ordenador (0.20 ± 0.09 mm) y la técnica convencional a mano alzada (0.39 ± 0.07 mm) para la reducción del esmalte interproximal a nivel bucal (Figura 3).

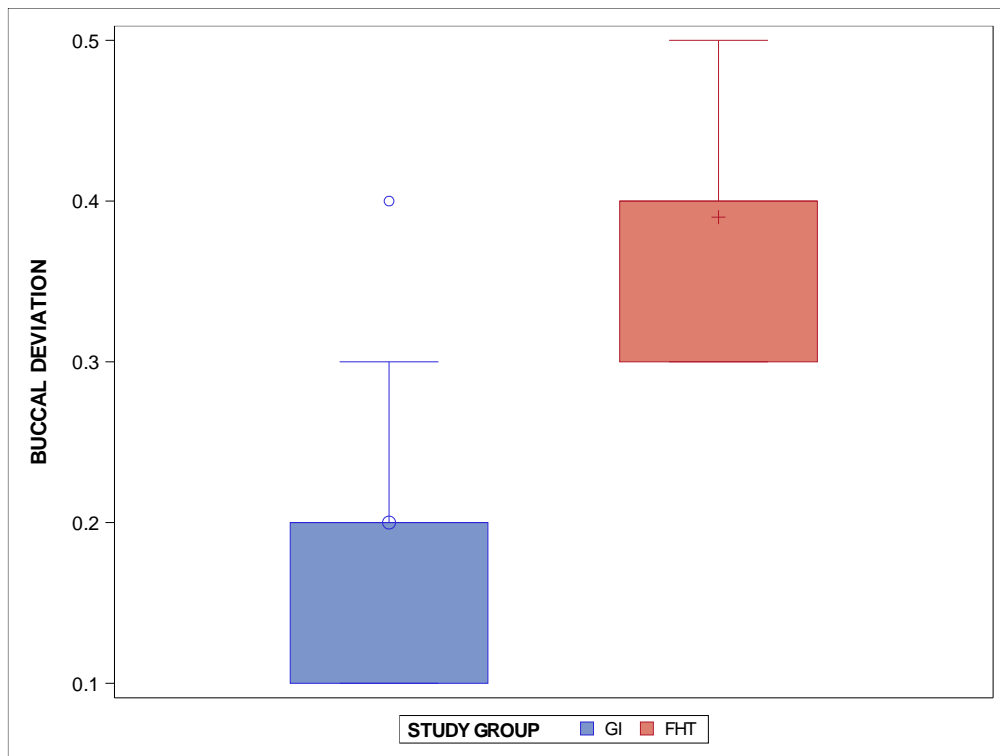


Figura 3: Diagrama de cajas de las desviaciones bucales entre los grupos de estudio de stripping realizados mediante técnica de navegación estática guiada por ordenador y a mano alzada. La línea horizontal en cada cuadro representa la mediana. °,+ representan el valor medio.

La prueba t de Student mostró diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.0001$) entre la técnica de reducción del esmalte interproximal basada en la técnica de navegación estática asistida por ordenador (0.24 ± 0.11 mm) y la técnica convencional basada a mano alzada (0.58 ± 0.9 mm) para la reducción del esmalte interproximal a nivel lingual/palatino (Figura 4).

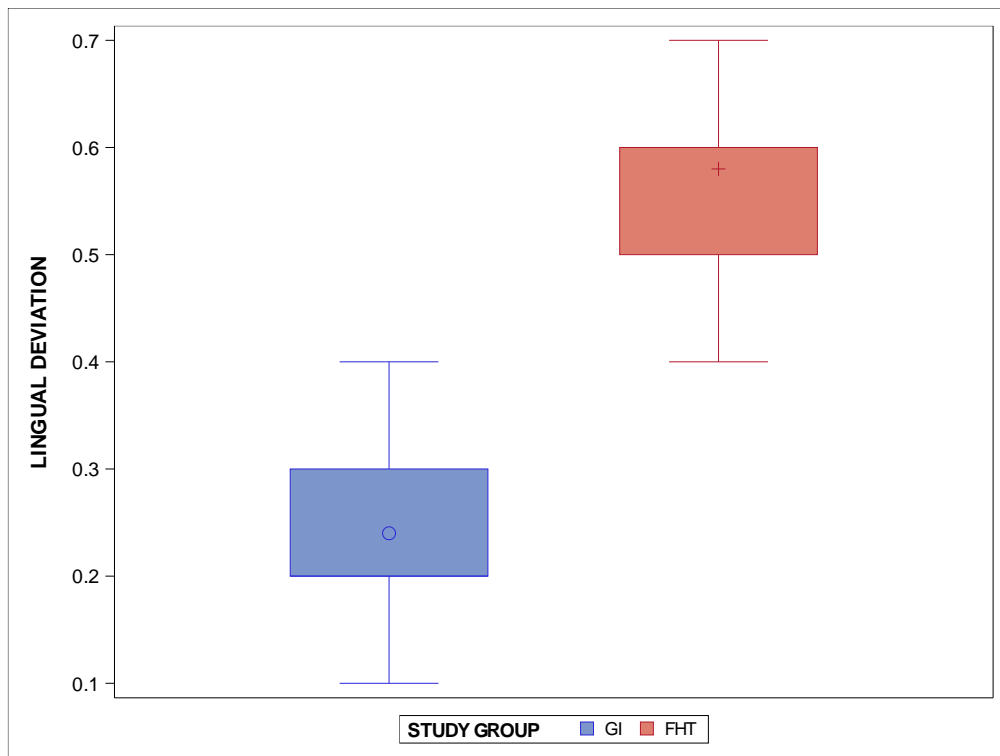


Figura 4: Diagrama de cajas de las desviaciones linguales entre los grupos de estudio de stripping realizados mediante técnica de navegación estática guiada por ordenador y a mano alzada. La línea horizontal en cada cuadro representa la mediana. °,+ representan el valor medio.

La prueba *t* de Student no mostró diferencias estadísticamente significativas ($p = 0.1042$) entre la técnica de reducción del esmalte interproximal basada en la técnica de navegación estática asistida por ordenador ($3.36 \pm 0.58^\circ$) y la técnica convencional a mano alzada ($4.01 \pm 0.60^\circ$) para la reducción del esmalte interproximal a nivel angular (Figura 5).

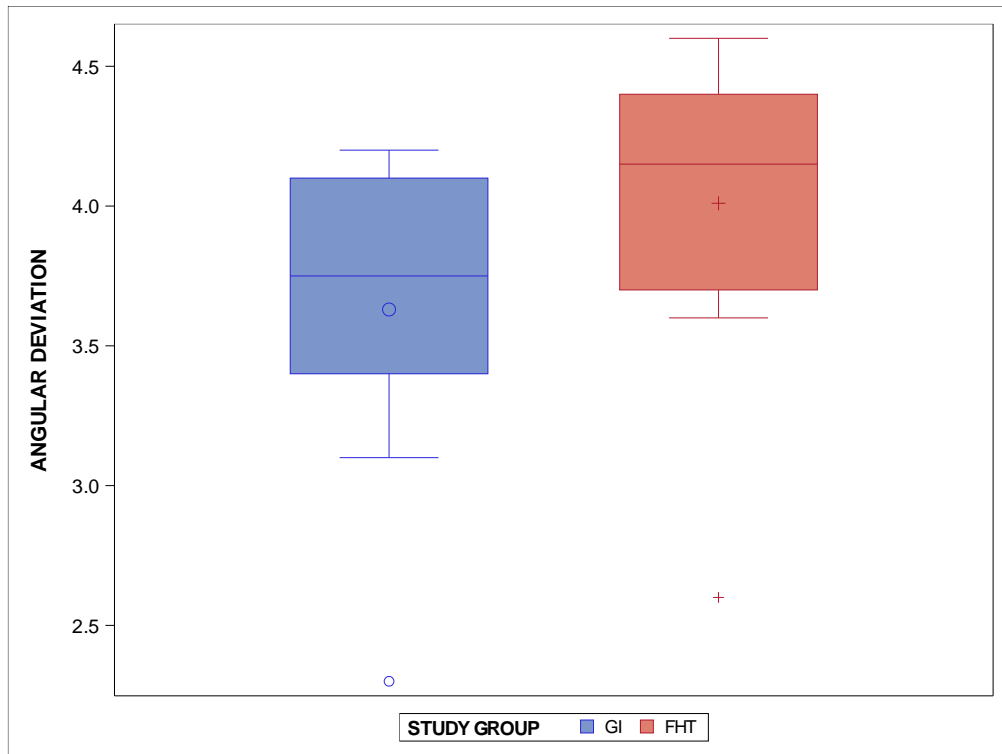


Figura 5: Diagrama de cajas de las desviaciones angulares entre los grupos de estudio de stripping realizados mediante técnica de navegación estática guiada por ordenador y a mano alzada. La línea horizontal en cada cuadro representa la mediana. °,+ representan el valor medio.

DISCUSIÓN

Los resultados presentados en este estudio rechazaron la hipótesis nula (H_0) que afirma que no existen diferencias entre la precisión de una nueva técnica de reducción del esmalte interproximal basada en una técnica de navegación estática asistida por ordenador y una técnica convencional basada a mano alzada para la reducción del esmalte interproximal.

Sittikornpaiboon et al evaluaron la precisión de la cirugía de implantes asistida por ordenador a través de plantillas quirúrgicas basadas en el escaneo CBCT y los archivos digitales STL obtenidos por impresiones digitales, concluyendo que este flujo de trabajo digital es sensible al protocolo de fresado y al diseño del dispositivo⁹⁷. Además, se ha informado que la cirugía con implantes totalmente guiada es más precisa que la cirugía con implantes parcialmente guiada y que la desviación de la posición del implante dental puede estar influenciada por la ubicación del implante dental; sin embargo, no se ve afectado por los sistemas de implantes, el software de implantes dentales⁹⁸ o el proceso de fabricación de las plantillas quirúrgicas mediante el modelado por deposición fundida impreso en el consultorio o por estereolitografía⁹⁹. Por otra parte, la cirugía de implantes estáticos asistida por ordenador mediante plantillas quirúrgicas ha evidenciado un resultado predecible del tratamiento para la colocación de implantes dentales, mostrando diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) con respecto al número de dientes¹⁰⁰. Además, también se han recomendado clavos de fijación para sujetar las plantillas quirúrgicas al maxilar durante el procedimiento de perforación; sin embargo, Pessoa et al informaron que el uso de plantillas quirúrgicas con o sin pasadores de fijación para la colocación de implantes dentales proporcionó resultados predecibles en el tratamiento¹⁰¹. En el presente estudio, la plantilla quirúrgica diseñada para el

procedimiento de reducción del esmalte interproximal no incluyó clavijas de fijación, ya que estaba soportada por el diente mediante modelos experimentales de yeso superior e inferior de base anatómica completamente dentada; Además, el operador comprobó la estabilidad de la plantilla quirúrgica antes de su uso. En resumen, Ngamprasertkit et al destacaron que la cirugía de implantes asistida por computadora a través de un flujo de trabajo totalmente digital es un procedimiento práctico que proporciona una colocación precisa de los implantes dentales¹⁰².

Posteriormente, los prometedores resultados asociados a la técnica de implante quirúrgico asistido por ordenador condujeron a su aplicación a los procedimientos de preparación dental. En particular, Li Z Y et al informaron que las plantillas quirúrgicas impresas en 3D mejoraron el control y la gestión de la profundidad de reducción de las preparaciones de carillas, aumentando la precisión en comparación con las fresas guía⁵⁶. Además, las guías metálicas fenestradas personalizadas de Jurado et al. (2021) también se han utilizado para reducir selectivamente la superficie dental⁵⁷.

Además, Gao analizó el grado de precisión entre diferentes guías de preparación para restauraciones de carillas y destacó la relevancia del uso de guías de preparación dental para lograr una preparación dental precisa, el grupo que alcanzó mayor exactitud fue el que tenía una guía auto-stop impresa en 3 D. Estas guías se consiguieron realizando un escáner intraoral de la arcada, después lo exportaron como archivo STL este archivo se importó en un software dental CAD y se diseñó la guía para la preparación en el modelo digital, esta guía se fabricó por impresora 3D. Se añadió en el diseño de la guía de preparación unas auto-guías para que la fresa fuera guiada en la preparación y también

incorporaron un tope para que cuando llegara la fresa a dicho tope ya no pudiera seguir reduciendo⁵⁸.

Además, Johner et al realizaron un estudio in vitro para evaluar la predictibilidad de la cantidad esperada de IPR utilizando tres dispositivos comunes de IPR en dientes premolares extraídos y concluyeron que, para todos los escenarios la cantidad de reducción interproximal era menor que la predeterminada y esperada. Sin embargo, los autores destacaron que las tiras abrasivas manuales tradicionales realizaban un IPR impredecible en los dientes posteriores, y los dispositivos accionados por motor reducen más esmalte en el punto de contacto, por lo que este será más plano siendo necesario en este caso alisar los bordes y remodelar el punto de contacto con otros dispositivos, como fresas de diamante²⁵.

En los últimos años, se han llevado a cabo numerosos estudios para investigar la cantidad de tejido del esmalte eliminado durante los procedimientos de stripping, comparar la reducción de la superficie distal frente a la mesial, y comparar la cantidad de stripping realizado con respecto a los diferentes métodos de medición digital previstos, incluido el software Invisalign Clincheck²³, la configuración digital en el tratamiento con dispositivos de alineadores transparentes, y el software digital Orthocad⁹⁰. Además, Kalemaj y Levrini compararon la reducción del esmalte interproximal programada e implementada en un entorno clínico e informaron una diferencia de medias estadísticamente significativa de 0.15 mm (DE \pm 0.14 mm; $p = 0.0001$). Estos autores midieron las diferencias en el software digital invisalign clincheck, índice de Bolton. Estos procedimientos de IPR se realizaron mediante técnicas a mano alzada sin técnicas de navegación estática asistida por ordenador²³.

Estos autores junto a otros como De Felice et al no analizaron la fiabilidad de la técnica de medición y cuantificaron las distancias mesio-distales de cada diente, sin medir los segundos ni terceros molares^{23,89,90}. Sin embargo, se han recomendado dientes posteriores ya que el grosor del esmalte aumenta en estos dientes a pesar de presentar peor accesibilidad¹⁰³.

El presente estudio seleccionó la True Definition intraoral ya que Guth et al informaron que True Definition mostró una mayor veracidad (21.8 μm) que los sistemas de impresión digital Cerec Bluecam (34.2 μm), Cerec Omnicam (43.3 μm), Itero (49.0 μm), Lava C.O.S. (47.7 μm), TRIOS (25.7 μm) y TRIOS color (26.1 μm) para el escaneo de arcada dental nature¹⁰⁴. Además, el presente estudio incluye algunas limitaciones, ya que Jivanescu et al informaron que la presencia de dientes adyacentes puede disminuir la visión de las superficies interproximales¹⁰⁵. Además, el escaneo de arcada completa puede presentar mayores desviaciones que el escaneo de arcada parcial¹⁰⁶, la temperatura ambiente¹⁰⁷, el número de dientes y la ubicación¹⁰⁸, el tiempo de escaneo, las condiciones de iluminación y la humedad; por lo tanto, se recomiendan más estudios clínicos para aumentar los resultados de estos procedimientos.

Meredith et al analizaron la nanotopografía del esmalte después de la reducción interproximal del esmalte utilizando microscopía de fuerza atómica (AFM) e informaron que la superficie del esmalte se vuelve progresivamente más lisa desde las fresas hasta las tiras y los discos hasta los pulidores. La rugosidad de la superficie fue mayor con el IPR realizado con fresa y fue disminuyendo con tiras de stripping medianas, tiras finas, discos y finalmente con discos y un dispositivo de pulido Sof-Lex. Concluyeron que el

pulido con discos Soft-Lex después del IPR reduce la rugosidad del esmalte quedando la superficie del esmalte reducido incluso más suave que el no tratado. Sin embargo, estos procedimientos de medición no proporcionaron información relacionada con la precisión de los procedimientos de reducción del esmalte interproximal o del tejido duro (esmalte y/o dentina) afectado por la preparación del diente. Estos procedimientos de medición proporcionan información 2D sobre un área seleccionada y no proporcionan información 3D relacionada con los perfiles y la geometría del diente después de la técnica de reducción del esmalte interproximal.

Existen distintas técnicas de stripping de las que las más destacadas son las tiras manuales, los discos diamantados, las tiras de oscilación mecánica y el instrumento rotatorio con fresas. Todas tienen sus ventajas e inconvenientes. En resumen diremos que con la tiras manuales podemos hacer el stripping sin problema de dañar los tejidos pero se emplea mucho tiempo en realizarlo quedando, la mayoría de las veces un stripping menor del planificado, además estas tiras de pulir las recomiendan muchos autores para aplicarla impregnada en ácido ortofosfórico, después enjuagan la zona con agua en spray y finalmente aplican flúor para, de esta forma favorecer la remineralización del esmalte tras el IPR^{21,27,38,39,40}. Con los discos diamantados se deja la superficie del esmalte reducido más suave que con ninguna de las otras técnicas, el problema es que puede dañar la mucosa yugal y la lengua^{21,25,39,41,42,43}. Con las tiras de oscilación mecánica no se produce daño en las mucosas ni la lengua y es más rápida que con las tiras manuales, recomiendan para que la superficie quede suave hacer el stripping con toda la secuencia de tiras del kit y después pulir con los discos Soft Lex, el gran inconveniente de esta técnica es la vibración que produce tan molesta al paciente y que la superficie queda plana teniendo después que dejar la superficie interproximal recontorneada para mejorar el

punto de contacto^{19,25,44,45}. Finalmente, cuando realizamos el stripping con fresa y turbina queda más rugoso el esmalte que con las otras técnicas (la fresa de tungsteno de 8 hojas da menor rugosidad que las demás fresas)⁶², los autores que utilizan esta forma de trabajo recomiendan realizar un pulido con los discos Soft Lex medio-fino y ultrafino y en 12 pasos. Al no vibrar la fresa con turbina es una técnica más cómoda y además más rápida para el paciente. Además recomiendan realizar el stripping pasando la fresa perpendicular al eje del diente²⁷.

Cuando se utilizan fresas troncocónicas muy finas de tungsteno o de diamante para realizar el IPR se recomienda realizar un pulido con los discos Soft Lex^{21,27,46}. Con la fresa con turbina consiguen precisar mejor el stripping porque se tiende a recortar más²³, es por ello que en este estudio buscamos un sistema de reducción de esmalte basado en la navegación asistida por ordenador y así alcanzar una mayor precisión en la cantidad de IPR realizado además de una mayor comodidad para el profesional y para el paciente.

Sarver ha diseñado una fresa más ancha en la base que en la punta, de diamante para alcanzar mejor la forma del punto de contacto, definiéndolo como el punto exacto donde los dientes tocan entre sí, situándose los puntos de contacto cada vez más hacia apical en dirección desde la línea media hacia posterior¹⁰⁹.

En este estudio hemos elegido una fresa Código 852-005,E11S Komet Medical de diámetro mínimo y máximo de 0.2 mm y 0.55 mm, respectivamente porque buscábamos una fresa fina para realizar un stripping muy reducido y se eligió también de longitud total 23.5 mm y en la cabeza longitud de 7 mm porque así se podía introducir la fresa en la férula sin romper la guía de la plantilla estereolitográfica (ProJet 6000, 3D

Systems, Rock Hill, SC, USA) y poder reducir el esmalte interproximal teniendo la parte cortante de la fresa dentro de la férula.

La mayoría de los estudios de análisis del punto de contacto se realizan en molares temporales encontrando en estos unos puntos de contacto amplios, planos y situados gingivalmente comparados con los permanentes. Al ser el punto de contacto amplio en los molares hay una mayor predisposición a la caries interproximal porque el proceso de autolimpieza se reduce debido a la limitación en el movimiento de cepillado permitiendo un mayor acúmulo de placa, esto hay que tenerlo en cuenta puesto que además los molares temporales presentan una menor cantidad de esmalte y dentina¹¹⁰.

Se debe alcanzar una anatomía en las caras interproximales que nos permitan acercarnos a la forma de punto de contacto ideal, intentando conseguir una anatomía interproximal convexa para que la relación de punto de contacto sea puntual y se consiga mejor limpieza tras la comida y mejor masticación.

Los criterios OXIS, (O: Open; X: Point o puntual; I: Straight o recto; S: Curved o cóncava), se han determinado para estudiar la relación entre los puntos de contacto y la presencia de caries llegando a la conclusión de que los puntos de contacto I (rectos) y S (Curvos) son los que tienen mayor susceptibilidad a la caries en molares temporales, más que los O (abiertos) o los X (puntuales)^{111,112}.

El punto de contacto se forma de la unión entre las superficies interproximales de los dientes, estas pueden ser cóncavas o convexas en dirección buco-lingual y ocluso-cervical llegando a la conclusión en estudios en molares temporales que la morfología

cóncava tiene una mayor predisposición a tener acúmulo de placa bacteriana. La superficie cóncava se considera S según el criterio OXIS con un mayor riesgo de caries seguido de la forma I, X y O¹¹³.

El estudio del punto de contacto desde el plano oclusal se considera correcto para estudiar dichos puntos¹¹⁴.

Mohsen Ozaibi et al presentan unas guías de estudio de los puntos de contacto y las alturas del contorno del diente y determinan que en una vista oclusal todos los dientes tienen los puntos de contacto ligeramente a bucal, en el tercio medio en sentido buco-lingual¹¹⁵.

En este estudio elegimos la fresa alargada fina para reducir la menor cantidad posible de esmalte pero al mismo tiempo recomendamos ,después del IPR realizar un pulido exhaustivo con los discos Soft Lex, como muchos autores defienden no solo para disminuir las rugosidades del esmalte reducido sino también para dar una mejor anatomía de punto de contacto ya que hemos visto que es fundamental intentar acercarnos a la forma ideal de punto de contacto que no sea cóncava, sino lo más convexa posible para permitir una buena higiene^{19,27,45,46}.

No se suele realizar IPR en la zona posterior por la dificultad del acceso y esto hace que muchos profesionales solo realicen IPR en la zona anterior ya que no pueden conseguir una buena anatomía ni precisión con el IPR, en este estudio hemos querido diseñar una técnica que nos permita realizar el stripping en la zona posterior con mayor precisión y así poder reducir más cantidad de esmalte en posterior que en anterior ya que

disponemos de mayor cantidad de esmalte estando por ello recomendado realizar más stripping en posterior que en anterior^{2,17,24,25,26}.

En cuanto al sistema de medición, numerosos estudios lo realizan midiendo de segundo premolar a segundo premolar o de primer molar a primer molar, pero no miden el resto de molares, con este sistema de medición digital basado en un estudio previo de Triduo et al⁹⁶ podemos medir todas las piezas dentarias.

CONCLUSIONES

Los resultados muestran que la técnica de reducción del esmalte interproximal basada en la técnica de navegación estática asistida por ordenador fue más precisa que la técnica convencional basada a mano alzada para la reducción del esmalte interproximal.

The results show that the computer-assisted static navigation technique-based interproximal enamel reduction technique was more accurate than the conventional freehand-based technique for interproximal enamel reduction.

ANEXOS



Article

Novel Technique of Interproximal Enamel Reduction Based on Computer-Aided Navigation Technique – An In Vitro Study

María Dolores Cotrina-Peregrín ^{1,2}, Patricia Arrieta-Blanco ², Juan Manuel Aragonese-Lamas ^{2,3},

Alberto Albaladejo Martínez ⁴, Ana Belén Lobo Galindo ⁴ and Álvaro Zubizarreta-Macho ^{2,4,*}

¹ Doctoral Student in Cancer Biology and Clinic and Translational Medicine program, Faculty of Medicine, University of Salamanca, 37008 Salamanca, Spain; mcotrper@uax.es

² Faculty of Health Sciences, Alfonso X el Sabio University, 28691 Madrid, Spain; parribla@uax.es (P.A.B.); jaraglam@uax.es (J.M.A.L.)

³ Department of Dentistry, Universidad Federico Henríquez y Carvajal, Santo Domingo 10106, Dominican Republic

⁴ Department of Surgery, Faculty of Medicine, University of Salamanca, 37008 Salamanca, Spain; albertoalbaladejo@usal.es (A.A.M.); alobogal@usal.es (A.B.L.G.)

* Correspondence: amacho@uax.es

Abstract: The aim of this study was to analyze and compare the accuracy of a novel interproximal enamel reduction (IPR) technique based on a computer-aided static navigation technique with respect to a conventional free-hand-based technique for interproximal enamel reduction. Twenty anatomical-based experimental cast models of polyurethane were randomly distributed into the following IPR techniques: IPR technique based on computer-aided static navigation technique (n = 10) (GI) for Group A and conventional free-hand-based technique for the IPR (n = 10) (FHT) for Group B. The anatomical-based experimental cast models of polyurethane randomly assigned to the GI study group were submitted for a preoperative 3D intraoral surface scan; then, datasets were uploaded into 3D implant-planning software to design virtual templates for the interproximal enamel reduction technique. Afterward, the anatomical-based experimental cast models of polyurethane of both GI and FHT study groups were subjected to a postoperative digital impression by a 3D intraoral surface scan to compare the accuracy of the interproximal enamel reduction techniques at the buccal (mm), lingual/palatal (mm), and angular (°) levels using the Student *t*-test. Statistically significant differences between the interproximal enamel reduction technique based on the computer-aided static navigation technique and the conventional free-hand-based technique for the interproximal enamel reduction at the buccal ($p = 0.0008$) and lingual/palatal ($p < 0.0001$) levels; however, no statistically significant differences were shown at the angular level ($p = 0.1042$). The interproximal enamel reduction technique based on computer-aided static navigation technique was more accurate than the conventional free-hand-based technique for interproximal enamel reduction.

Keywords: orthodontics; interproximal enamel reduction; standard tessellation language; digital impression; computer-aided static system

Citation: Cotrina-Peregrín, M.D.; Arrieta-Blanco, P.; Aragonese-Lamas, J.M.; Albaladejo Martínez, A.; Lobo Galindo, A.B.; Zubizarreta-Macho, Á. Novel Technique of Interproximal Enamel Reduction Based on Computer-Aided Navigation Technique – An In Vitro Study. *J. Pers. Med.* **2024**, *14*, x.

<https://doi.org/10.3390/xxxxx>

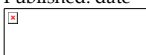
Academic Editor(s) Name

Received: 21 December 2023

Revised: 17 January 2024

Accepted: 23 January 2024

Published: date



Copyright: © 2024 by the authors.

Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license

(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Interproximal enamel reduction (IPR) or “stripping” is an irreversible technique used to reduce controlled amounts of enamel on the proximal surface of the tooth by decreasing its mesiodistal size as an alternative to extraction or expansion in borderline cases [1]. This procedure is recommended to increase the space in the dental arch and align the teeth [2] without an excessive

labioversion of incisors or, in some cases, without increasing the intercanine distance, solving many malocclusions caused by dental crowding generated by the difference between the size of the teeth and the length of the dental arch [3]. The IPR is indicated in cases of not very severe crowding, from 4 to 8 mm, to align teeth without retruding the profile and reduce the unsightly interproximal black triangles in gingival improving the periodontal prognosis [4–6]. The thickness of the enamel is greater in the posterior than in the anterior region and a little greater in the distal face than in the mesial (0.10 mm (95% CI, 0.09–0.12)), and there is even more in molars than in premolars (0.12 mm (95% CI, 0.07–0.17)). In addition, it is important to highlight that in temporary teeth, the enamel layer is less than in permanent teeth, and they also have a greater tendency to demineralize than permanent teeth due to the low mineral content and high organic content [7].

Stripping procedures can be performed through manual stainless-steel strips, diamond blades, motor-driven abrasive strips (strips connected to a micromotor), or air rotor stripping (milling cutter connected to a turbine). Sheridan and Chudasama created action guides with this last painless, fast, and efficient technique, being able to perform an interproximal reduction of 1 mm at each point of contact in the posterior area and no more than 0.5 mm in the anterior area because the enamel is thinner. After using bur, it is recommended to finish with thin rotating discs Sof-Lex to soften and contour the tooth in the interproximal area. Therefore, these authors also use a thin abrasive strip impregnated with 35% orthophosphoric acid and a water syringe. Finally, they recommend applying fluoride because the reduced enamel surface tends to remineralize and when applying fluorinated products, they prevent caries in this area [8]. It is also very important to use cooling water and suction even if visibility decreases to prevent the temperature from rising [9–11]. Moreover, Gazzani et al. analyzed the effects on enamel surface after reducing the interproximal enamel surface by the oscillating mechanical system and reported more regular enamel surfaces using a single metallic strip and recommended adequate polishing after IPR procedures to maintain the enamel morphologic integrity [12]. Additionally, Kaaara et al. evaluated the enamel surface after IPR and recommended minimizing the number of abrasions caused by stripping to obtain a surface condition close to an untreated enamel surface using Soft-Lex abrasive discs to obtain a shiny finish and polish of the entire interdental surface [13].

Surgical guides are indispensable biomedical devices for the proper insertion of dental implants. In particular, Sarment et al. highlighted the effectiveness of CAD/CAM stereolithographic rapid prototyping techniques for the manufacturing of surgical guides to increase the accuracy of dental implant placement [12]. In general, diagnostic and surgical guides must have properties of rigidity, stability, and precision to ensure accuracy and safety during implant insertion procedures [13]. Additionally, CAD-CAM procedures require high cost and a detailed and precise planning process, and treatment plan. As a result, it allows the manufacture of personalized guidance templates for minimally invasive treatment and allows accurate rehabilitation. Moreover, Gao JH (2021) assessed the accuracy between different tooth preparation guides for veneer restorations and concluded that personalized guidance templates improved the accuracy of tooth preparation [14].

Furthermore, previous measurement techniques have been used to quantify the amount of enamel reduced such as the optical microscope, the transmission electron microscope (TEM) [15], the scanning electron microscope (SEM) [16], the atomic force microscope (AFM) [17], the standardized intraoral electron photography technique, the electronic photograph measurement technique, and the intraoral scanners [18,19]. Moreover, the roughness of the enamel has been analyzed by prolymphometry [20], although it has been also measured with the scanning electron microscope (SEM) and the atomic force microscope (AFM) [21].

The aim of this study was to analyze and compare the accuracy of a novel interproximal enamel reduction technique based on the computer-aided static navigation technique with respect to a conventional free-hand-based technique for the interproximal enamel reduction, with a null hypothesis (H_0) stating that there are no differences between the accuracy of a novel interproximal enamel reduction technique based on computer-aided static navigation technique and the conventional free-hand-based technique for the interproximal enamel reduction.

2. Material and Methods

2.1. Study Design

A randomized controlled experimental trial was conducted in accordance with the principles defined in the International Organization for Standardization (ISO 14801) [22] at the Department of Surgery of the University of Salamanca (Salamanca, Spain), the Stomatology Department of Fundación Jimenez Díaz Hospital (Madrid, Spain) and the Department of Biomedical, Surgical and Dental Sciences of Università degli Studi di Milano, (Milan, Italy), between September 2022 and October 2023. In addition, this study was authorized by the Ethical Committee of the Faculty of Health Sciences, University Alfonso X el Sabio (Madrid, Spain) in July 2022 (Process No. 14/2022). Two hundred (200) interproximal enamel reduction procedures were included in this study to ensure a power effect of 80.00% for detecting statistically significant differences. The bilateral Student's t-test of two independent samples was used to evaluate the null hypothesis $H_0: \mu_1 = \mu_2$, with a significance level of 5.00%. The sample size calculation was carried out on the lingual/palatal level variable; to detect differences of 0.2 units with a deviation of 0.1, 10 observations per group were needed.

2.2. Experimental Procedure

Twenty anatomical-based experimental cast models of polyurethane (Ref. 1522-62; Sawbones Europe AB; Malmo, Sweden), with contact points between adjacent teeth, were used in this study. Afterward, the anatomical-based experimental models of polyurethane were randomly distributed (Epidat 4.1, Galicia, Spain) into the following measurement techniques: interproximal enamel reduction technique based on computer-aided static navigation technique (NemoStudio®, Nemotec, Madrid, Spain) ($n = 10$) (guided IPR (GI)) for Group A and conventional free-hand-based technique for the interproximal enamel reduction ($n = 10$) (Free-hand IPR (FHT)) for Group B. The use of polyurethane was based on the American Society for Testing and Materials' (ASTM F-1839-08) approval of the use of polyurethane for testing instruments and dental procedures ("Standard Specification for Rigid Polyurethane Foam for Use as a Standard Material for Test Orthopedic Devices for Instruments") [23].

2.3. Interproximal Enamel Reduction Procedure

Afterward, the anatomical-based upper and lower experimental cast models of polyurethane were fixed in a phantom imitating the patient's head and subsequently attached to a dental chair to simulate a real setting. Then, an interproximal enamel reduction of 0.2 mm width was performed using air-rotor burs with 7 mm head length, a total length of 23.5 mm, and a minimum and maximum diameter of 0.2 mm and 0.55 mm, respectively (Code 852-005, E11S Komet Medical, Lemgo, Germany), fixed to the high-speed rotation device (Tornado LK; Bien Air, Le Noirmont, Switzerland) placed on the dental chair at 410,000 rpm with profuse irrigation. In particular, one bur was used on each interproximal enamel reduction technique.

The anatomical-based experimental cast models of polyurethane randomly assigned to the GI study group were submitted for a 3D intraoral surface scan (True Definition, 3M ESPE™, Saint Paul, MN, USA) for a digital impression. Datasets obtained from the digital workflow were uploaded into 3D implant-planning software (NemoStudio®, Nemotec, Madrid, Spain) to design virtual templates for interproximal enamel reduction technique based on computer-aided static navigation technique. Then, two virtual implant drills were designed by crossing the contact point at the interproximal surface of the teeth with a diameter and length of 0.2 and 23.5 mm, respectively, according to the air-rotor bur measurements (Figure 1A) from the recommendations established by Chudasama et Sheridan (2007) [24]. In particular, the bur was placed perpendicular to the axial shaft of the adjacent teeth by buccal to lingual movements up to remove 0.2 mm on mesial and 0.2 mm on distal surface of the adjacent teeth under profuse irrigation. Ten interproximal enamel reduction procedures were performed in each anatomical-based experimental cast model of polyurethane. After designing the virtual templates (Figure 1A,B), they were fabricated using the stereolithography technique (ProJet 6000, 3D Systems, Rock Hill, SC, USA) (Figure 1C). The templates fit the model and did not need further adjustments.

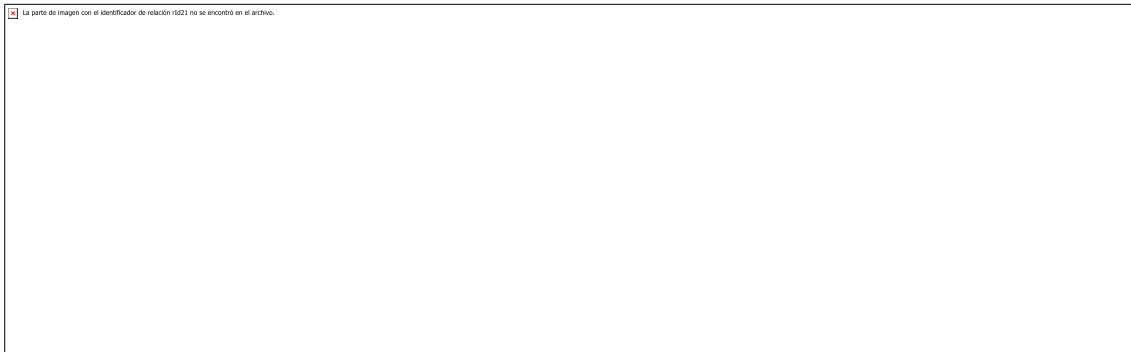


Figure 1. (A) Virtual implant drills designing crossing the contact point at the interproximal surface of the teeth, (B) virtual template designing, and (C) stereolithographic template attached on the GI experimental cast models of polyurethane.

The anatomical-based experimental cast models of polyurethane randomly assigned to the FHT study group were subjected to interproximal enamel reduction procedures following the recommendations established by Chudasama et Sheridan [**Error! Marcador no definido.**] by placing the bur perpendicular to the axial shaft of the adjacent teeth by buccal to lingual movements up to remove 0.2 mm on mesial and 0.2 mm on distal surface of the adjacent teeth under profuse irrigation.

The interproximal enamel reduction procedures were performed by a unique operator with more than 20 years of experience in orthodontics.

2.4. Digital Measurement Procedure

Afterward, the anatomical-based experimental cast models of polyurethane of both GI and FHT study groups were submitted to a postoperative digital impression by an intraoral scan (True Definition, 3M ESPE™, Saint Paul, MN, USA) via a 3D in-motion video imaging technology to generate an STL digital file using a cloud of points that create a tessella network, representing three-dimensional objects as polygons composed of equilateral triangle tessellas [25,26]. The capturing images procedure was performed following manufacturer recommendations by scanning the incisal/occlusal plane and the vestibular and lingual surfaces. Afterward, the preoperative and postoperative “Standard Tessellation Language” (STL) digital files were imported to a 3D implant-planning software (NemoStudio®, Nemetec, Madrid, Spain); a full-arch alignment procedure was conducted. The preoperative STL digital file was considered the reference digital file, and the postoperative STL digital file was superimposed on it using the buccal and palatal/lingual surfaces of the anterior teeth and the occlusal, buccal, and palatal/lingual surfaces of the posterior teeth with the best-fit algorithm (Figure 2A). Afterward, the accuracy of the interproximal enamel reduction was measured at buccal (mm), lingual/palatal (mm), and angular level (°). This digital measurement procedure was performed in a previous study of Triduo et al. [27]. Additionally, interproximal enamel reduction distance was also measured (Figure 2B).

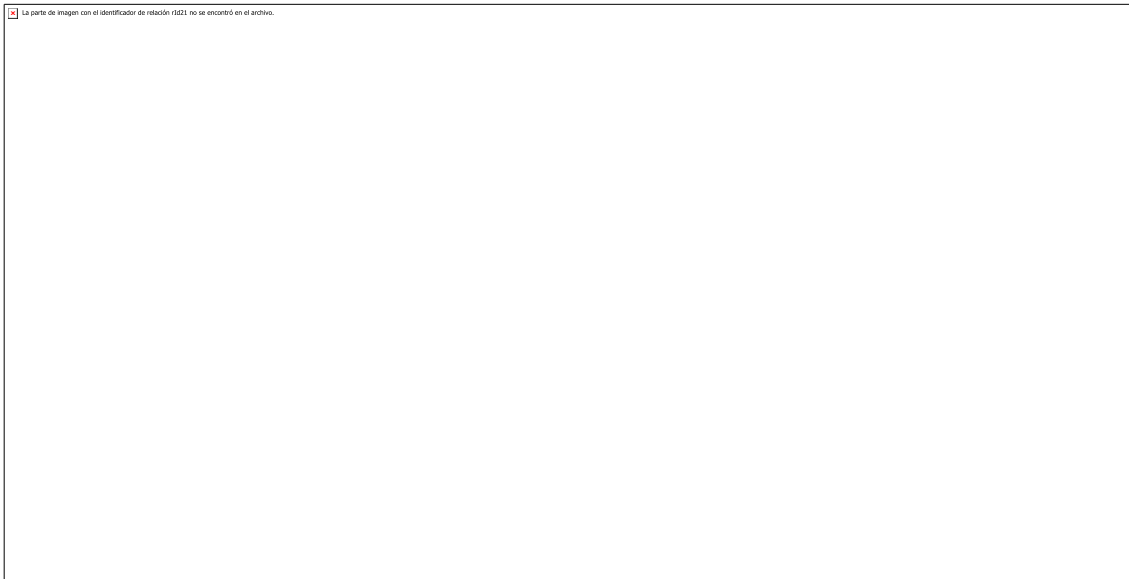


Figure 2. (A) Alignment procedure between preoperative planning (green cylinders) and postoperative STL digital files. (B) Lineal measurements of the interproximal enamel reduction procedures.

2.5. Statistical Tests

Statistical analysis of the measurement variables was conducted using SAS 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Descriptive statistics are expressed as mean and SD for the interproximal enamel reduction (mm). Comparative analysis between the interproximal enamel reduction technique based on the computer-aided static navigation technique and the conventional free-hand-based technique for the interproximal enamel reduction at buccal (mm), lingual/palatal (mm), and angular ($^{\circ}$) levels was analyzed by using the Student *t*-test and the Mann–Whitney non-parametric test. The repeatability and reproducibility of the digital measurement technique were analyzed using Gage R&R statistical analysis.

3. Results

The means and SD values for the interproximal enamel reduction (mm) between the interproximal enamel reduction technique based on the computer-aided static navigation technique and the conventional free-hand-based technique for the interproximal enamel reduction at the buccal level are displayed in Table 1 and Figure 3.

Table 1. Descriptive statistics of the interproximal enamel reduction (mm) between the interproximal enamel reduction technique based on computer-aided static navigation technique and the conventional free-hand-based technique for the interproximal enamel reduction at buccal level.

Measure	Technique	<i>n</i>	Mean (mm)	SD (mm)	Minimum (mm)	Maximum (mm)
Buccal	GI	100	0.20	0.09	0.10	0.40
	FHT	100	0.39	0.07	0.30	0.50
Lingual/Palatal	GI	100	0.24	0.11	0.10	0.40
	FHT	100	0.58	0.9	0.40	0.70
Angular	GI	100	3.63	0.58	2.30	4.20
	FHT	100	4.01	0.60	2.60	4.60

SD: standard deviation.

The Student *t*-test showed statistically significant differences ($p = 0.0008$) between the interproximal enamel reduction technique based on the computer-aided static navigation technique (0.20 ± 0.09 mm) and the conventional free-hand-based technique (0.39 ± 0.07 mm) for the interproximal enamel reduction at the buccal level (Figure 3).



Figure 3. Box plots of the buccal deviation of the interproximal enamel reduction (mm) between the computer-aided static navigation technique and the conventional free-hand-based technique. The horizontal line in each box represents the median value. +,°: represent the mean value.

The Student *t*-test showed statistically significant differences ($p < 0.0001$) between the interproximal enamel reduction technique based on the computer-aided static navigation technique (0.24 ± 0.11 mm) and the conventional free-hand-based technique (0.58 ± 0.9 mm) for the interproximal enamel reduction at the lingual/palatal level (Figure 4).

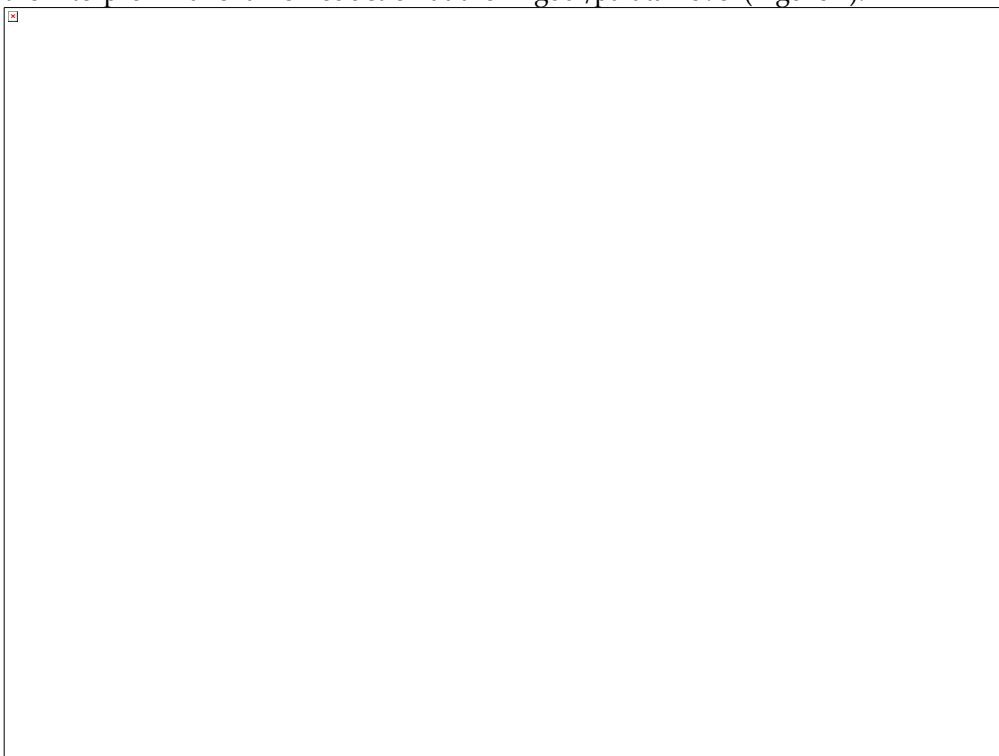


Figure 4. Box plots of the lingual/palatal deviation in the interproximal enamel reduction (mm) between the computer-aided static navigation technique and the conventional free-hand-based technique. The horizontal line in each box represents median value. +,°: represent the mean value.

The Student *t*-test showed statistically significant differences ($p = 0.01042$) between the interproximal enamel reduction technique based on the computer-aided static navigation technique ($3.36 \pm 0.58^\circ$) and the conventional free-hand-based technique ($4.01 \pm 0.60^\circ$) for the interproximal enamel reduction at the angular level (Figure 5).

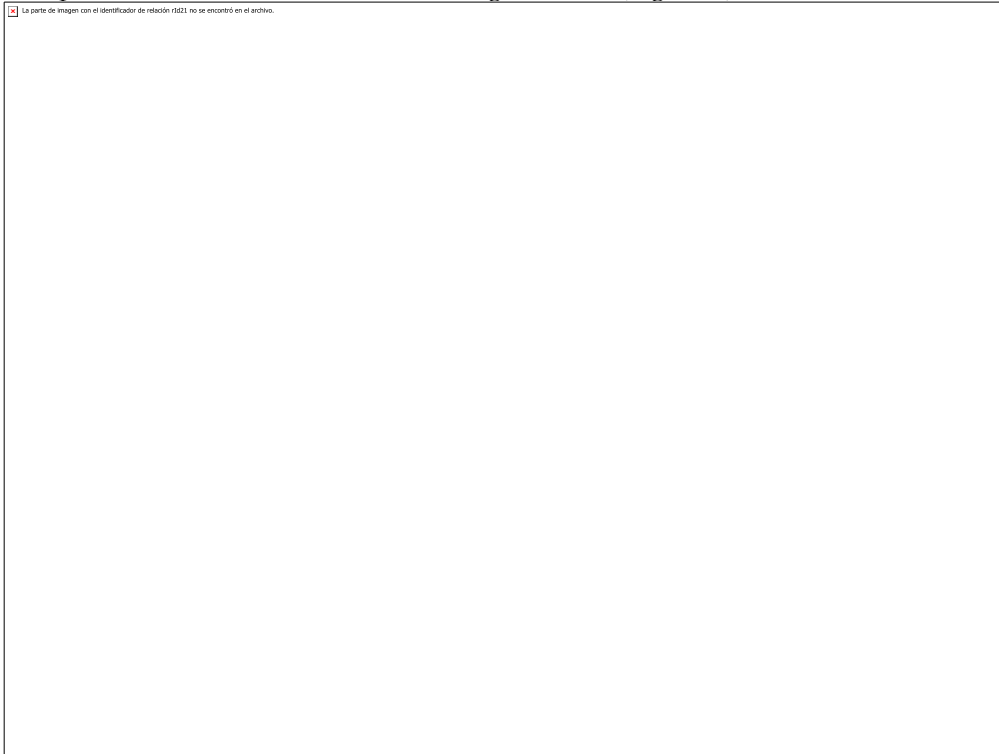


Figure 5. Box plots of the angular deviation of the interproximal enamel reduction ($^\circ$) between the computer-aided static navigation technique and the conventional free-hand-based technique. The horizontal line in each box represents median value. +,°: represent the mean value.

4. Discussion

The results presented in this study rejected the null hypothesis (H_0) that states there are no differences between the accuracy of a novel interproximal enamel reduction technique based on a computer-aided static navigation technique and a conventional free-hand-based technique for the interproximal enamel reduction.

Sittikornpaiboon et al. assessed the accuracy of computer-assisted implant surgery through surgical templates based on the CBCT scan and STL digital files obtained by digital impressions, concluding that this digital workflow is sensitive to the milling protocol and the design of the device [28]. In addition, it has been reported that fully guided implant surgery is more accurate than partially guided implant surgery and that deviation of the dental implant position may be influenced by the dental implant location; however, it is not affected by implant systems, dental implant software [29], or the manufacturing process of the surgical templates by fused deposition modeling printed in-office or by stereolithography [30]. Moreover, tooth-supported computer-aided static implant surgery by surgical templates has evidenced a predictable treatment outcome for dental implant placement, showing statistically significant differences ($p < 0.05$) with respect to the number of teeth [31]. Moreover, fixation pins have been also recommended to attach the surgical templates to the maxilla during the drilling procedure; however, Pessoa et al. (2022) reported that the use of surgical templates with or without fixing pins for dental implant placement provided predictable treatment outcomes [32]. In the present study, the surgical template designed for the interproximal enamel reduction procedure did not include fixing pins because it was tooth-supported by fully dentated anatomical-based upper and lower experimental cast models; additionally, the operator checked the surgical template stability before use. In resume, Ngamprasertkit et al. (2022) highlighted that computer-aided implant surgery through fully digital workflow is a practical procedure that provides an accurate dental implant placement [33].

Afterward, the promising results associated with the computer-aided surgical implant technique led to its application to tooth preparation procedures. In particular, Li et al. (2020) reported that 3D-printed surgical templates improved the control and management of the reduction depth of veneer preparations, increasing the accuracy compared to guide milling cutters [34]. Additionally, Jurado et al.'s (2021) custom-fenestrated metal guides have also been used to selectively reduce tooth surface [35]. Moreover, Zong Yi et al. (2020) used a 3D-printed metal alloy guide, which allowed greater accuracy than measuring cutters [36]. Furthermore, Gao JH (2021) analyzed the degree of accuracy between different preparation guides for veneer restorations and highlighted the relevance of using tooth-preparing guides to achieve accurate tooth preparation (Group F was significantly higher than the rest) [37]. In addition, Johner et al. performed an in vitro study to evaluate the predictability of the expected amount of IPR using three common stripping devices on premolar teeth and concluded that for all scenarios, the amount of stripping was less than the predetermined and expected. However, the authors highlighted that traditional hand-held abrasive strip performed an unpredictable IPR in posterior teeth, and motor-driven devices reduce more enamel at the contact point, so this will be flatter and might even show a little edge around the stripped area. In this case, it will be necessary to smooth the edges and reshape the contact point with further devices such as diamond burs [38].

In recent years, numerous studies have been carried out to investigate the amount of enamel tissue removed during stripping procedures, compare the reduction in the distal versus mesial surface, and compare the amount of stripping performed with respect to the planned different digital measurement methods, including the Invisalign Clincheck software [38], the digital set up in the treatment with clear aligner devices [39], and Orthocad digital software [40]. In addition, Kalemaj and Levrini compared the programmed and implemented interproximal enamel reduction in a clinical setting and reported a statistically significant mean difference of 0.15 mm (SD \pm 0.14 mm; $p = 0.0001$). These authors measured the differences in the Orthocad digital software; however, the IPR procedures were performed by free-hand technique without computer-aided static navigation techniques [41]. These authors did not analyze the reliability of the measurement technique and quantified the mesiodistal distances of each tooth, from second premolar to second premolar. However, posterior teeth have been recommended as the enamel thickness increases in these teeth despite presenting worse accessibility [42]

The present study selected the True Definition intraoral since Guth et al. reported that True Definition showed higher trueness (21.8 μ m) than Cerec Bluecam (34.2 μ m), Cerec Omnicam (43.3 μ m), Itero (49.0 μ m), Lava C.O.S. (47.7 μ m), TRIOS (25.7 μ m), and TRIOS color (26.1 μ m) digital impression systems for dental nature arch scanning [43]. Furthermore, the present study includes some limitations since Jivanescu et al. reported that the presence of adjacent teeth can decrease the view of interproximal surfaces [44]. Additionally, the full-arch scanning may introduce higher deviations than partial-arch scanning [45], ambient temperature [46], number of teeth and location [47], scanning time [48], lighting conditions [49], and humidity [50]; therefore, further clinical studies are encouraged to increase the results of these procedures.

Meredith et al. analyzed the enamel nanotopography after interproximal enamel reduction using atomic force microscopy (AFM) and reported that the enamel surface becomes progressively smoother from burs to strips and discs to polishers. In addition, surface roughness was higher using a medium roughness strip bur (707 nm) and decreased using medium strip bands (501 nm), fine strip burs (407 nm), fine strip bands (318 nm), mesh strip discs (307 nm), curved strip discs (224 nm), and a Sof-Lex polishing device (37 nm) [45]. However, these measurement procedures did not provide information related to the accuracy of the interproximal enamel reduction procedures or the hard tissue (enamel and/or dentin) affected by tooth preparation. These measurement procedures provide 2D information on a selected area and do not provide 3D information related to the profiles and geometry of the tooth after the interproximal enamel reduction technique.

5. Conclusions

The results show that the interproximal enamel reduction technique based on computer-aided static navigation technique was more accurate than the conventional free-hand-based technique for interproximal enamel reduction.

Author Contributions: Conceptualization, M.D.C.P., P.A.B., and Á.Z.-M.; software, A.B.L.G., validation, A.A.M.; data curation, J.M.A.L.; writing—original draft preparation, J.M.A.L.; writing—review and editing, J.M.A.L. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: This study was conducted in accordance with the principles defined in the German Ethics Committee's statement for the use of organic tissues in medical research (Zentrale Ethikkommission, 2003) and was authorized by the Ethical Committee of the Faculty of Health Sciences, University Alfonso X el Sabio (Madrid, Spain), in July 2022 (Process No. 14/2022). All methods were carried out in accordance with the International Organization for Standardization number UNE-EN ISO 14801.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: Data are available upon request due to restrictions, e.g., privacy or ethical reasons.

Acknowledgments: The authors would like to thank Almudena Sánchez for her invaluable help.

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

References

1. Sheridan, J.J. Air-rotor stripping. *J. Clin. Orthod.* **1985**, *19*, 43–59.
2. Peck, H.; Peck, S. An Index for assessing tooth shape deviations as applied to the mandibular incisors. *Am. J. Orthod.* **1972**, *61*, 384–401. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(72\)90302-8](https://doi.org/10.1016/0002-9416(72)90302-8).
3. Zachrisson, B.; Nyoygaard, L.; Mobarak, K. Dental health assessed more than 10 years after interproximal enamel reduction of mandibular anterior teeth. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* **2007**, *131*, 162–169. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2006.10.001>.
4. Stroud, J.L.; English, J.; Buschang, P.H. Enamel thickness of the posterior dentition: Its implications for nonextraction treatment. *Angle Orthod.* **1998**, *68*, 141–146. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(1998\)068<0141:ETOTPD>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(1998)068<0141:ETOTPD>2.3.CO;2).
5. Chudasama, D.; Sheridan, J.J. Guidelines for contemporary air-rotor stripping. *J. Clin. Orthod.* **2007**, *41*, 315–320.
6. Zachrisson, B.U.; Nyoygaard, L.; Mobarak, K. Dental health assessed more than 10 years after interproximal enamel reduction of mandibular anterior teeth. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* **2007**, *131*, 162–169. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2006.10.001>.
7. Kailasam, V.; Rangarajan, H.; Easwaran, H.N.; Muthu, M.S. Proximal enamel thickness of the permanent teeth: A systematic review and meta-analysis. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* **2021**, *160*, 793–804.e3. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2021.05.007>.
8. Chudasama, D.; Sheridan, J.J. Guidelines for contemporary air-rotor stripping. *J. Clin. Orthod.* **2007**, *41*, 315–320.
9. Baysal, A.; Uysal, T.; Usumez, S. Temperature rise in the pulp chamber during different stripping procedures. *Angle Orthod.* **2007**, *77*, 478–482. [https://doi.org/10.2319/0003-3219\(2007\)077\[0478:TRITPC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2319/0003-3219(2007)077[0478:TRITPC]2.0.CO;2).
10. d'Ornellas Pereira, J.C., Jr.; Weissheimer, A.; de Menezes, L.M.; de Lima, E.M.; Mezomo, M. Change in the pulp chamber temperature with different stripping techniques. *Prog. Orthod.* **2014**, *15*, 55. <https://doi.org/10.1186/s40510-014-0055-8>.
11. Sehgal, M.; Sharma, P.; Juneja, A.; Kumar, P.; Verma, A.; Chauhan, V. Effect of different stripping techniques on pulpal temperature: In vitro study. *Dent. Press J. Orthod.* **2019**, *24*, 39–43. <https://doi.org/10.1590/2177-6709.24.1.039-043.oar>.
12. Gazzani, F.; Bellisario, D.; Fazi, L.; Balboni, A.; Licoccia, S.; Pavoni, C.; Cozza, P.; Lione, R. Effects of IPR by mechanical oscillating strips system on biological structures: A quantitative and qualitative evaluation. *Prog. Orthod.* **2023**, *24*, 9. <https://doi.org/10.1186/s-40510-023-00460-9>.
13. Kaaouara, Y.; Mohind, H.B.; Azaroual, M.F.; Zaoui, F.; Bahije, L.; Benyahia, H. In vivo enamel stripping: A macroscopic and microscopic analytical study. *Int. Orthod.* **2019**, *17*, 235–242. <https://doi.org/10.1016/j.ortho.2019.03.005>.
14. Sarment, D.P.; Sukovic, P.; Clinthorne, N. Accuracy of implant placement with a stereolithographic surgical guide. *Int. J. Oral Maxillofac. Implant.* **2003**, *18*, 571–577.
15. De Kok, I.J.; Thalji, G.; Bryington, M.; Cooper, L.F. Radiographic stents: Integrating treatment planning and implant placement. *Dent. Clin. N. Am.* **2014**, *58*, 181–192. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2013.09.008>.
16. Gao, J.; He, J.; Fan, L.; Lu, J.; Xie, C.; Yu, H. Accuracy of reduction Depths of Tooth Preparation for Porcelain Laminate Veneers Assisted by Different Tooth Preparation Guides: An in vitro study. *J. Prosthodont.* **2022**, *31*, 593–600.
17. Arroyave Franco, M. *Revista Universidad*; EAFIT: Medellín, Colombia, 2011; Volume 44, pp. 68–83.
18. Suga, M.; Asahina, S.; Sakuda, Y.; Kazumori, H.; Nishiyama, H.; Nokuo, T.; Alfredsson, V.; Kjellman, T.; Stevens, S.M.; Cho, H.S.; et al. Recent progress in scanning electron microscopy for the characterization of fine structural details of nano materials. *Prog. Solid State Chem.* **2014**, *42*, 1–21.

19. Eghiaian, F.; Rico, F.; Colom, A.; Casuso, I.; Scheuring, S. High-speed atomic force microscopy: Imaging and force spectroscopy. *FEBS Lett.* **2014**, *588*, 3631–3638. <https://doi.org/10.1016/j.febslet.2014.06.028>.
20. Arango, C.; Paz Quintero, C. Technique for computerized measurement of occlusal areas and perimeters on standardized photographic images. Measurement technique and design of the photostandardizer. *CES Dent.* **1993**, *6*, 117–119.
21. Richert, R.; Goujat, A.; Venet, L.; Viguie, G.; Viennot, S.; Robinson, P.; Farges, J.C.; Fages, M.; Ducret, M. Intraoral Scanner Technologies: A Review to Make a Successful Impression. *J. Healthc. Eng.* **2017**, *2017*, 8427595. <https://doi.org/10.1155/2017/8427595>.
22. Conry JP, Beyer JP, Pintado MR. Technical note: an initial comparison of odontometric methods: caliper versus computer guided profilometry. *Am J Phys Anthropol.* 1992 Feb;87(2):231-3. doi: 10.1002/ajpa.1330870210.
23. Sugsompian, K.; Tansalarak, R.; Piyapattamin, T. Comparison of the Enamel Surface Roughness from Different Polishing Methods: Scanning Electron Microscopy and Atomic Force Microscopy Investigation. *Eur. J. Dent.* **2020**, *14*, 299–305. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1709945>.
24. ISO 14801:2016; Dentistry. Implants. Dynamic Loading Test for Endosseous Dental Implants. ISO: Geneva, Switzerland, 2016.
25. Comuzzi, L.; Tumedei, M.; Pontes, A.E.; Piattelli, A.; Iezzi, G. Primary Stability of Dental Implants in Low-Density (10 and 20 pcf) Polyurethane Foam Blocks: Conical vs. Cylindrical Implants. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2020**, *17*, 2617. <https://doi.org/10.3390/ijerph17082617>.
26. Chudasama, D.; Sheridan, J.J. Guidelines for contemporary air-rotor stripping. *J. Clin. Orthod.* **2007**, *41*, 315–320.
27. Renne, W.; Ludlow, M.; Fryml, J.; Schurch, Z.; Mennito, A.; Kessler, R.; Lauer, A. Evaluation of the accuracy of 7 digital scanners: An in vitro analysis based on 3-dimensional comparisons. *J. Prosthet. Dent.* **2017**, *118*, 36–42. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2016.09.024>.
28. Medina-Sotomayor, P.; Pascual-Moscardo, A.; Camps, A.I. Accuracy of 4 digital scanning systems on prepared teeth digitally isolated from a complete dental arch. *J. Prosthet. Dent.* **2019**, *121*, 811–820. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.08.020>.
29. Triduo, M.; Zubizarreta-Macho, Á.; Pérez-Barquero, J.A.; Guinot Barona, C.; Alvarado Lorenzo, A.; Vicente-Galindo, P.; Albaladejo Martínez, A. A Novel Digital Technique to Quantify the Area and Volume of Enamel Removal after Interproximal Enamel Reduction. *Appl. Sci.* **2020**, *9*, 1098.
30. Sittikornpaiboon, P.; Arunjaroenasuk, S.; Kaboosaya, B.; Subbalekha, K.; Mattheos, N.; Pimkhaokham, A. Comparison of the accuracy of implant placement using different drilling systems for static computer-assisted implant surgery: A simulation-based experimental study. *Clin. Implant. Dent. Relat. Res.* **2021**, *23*, 635–643. <https://doi.org/10.1111/cid.13032>.
31. Bencharit, S.; Staffen, A.; Yeung, M.; Whitley, D., 3rd; Laskin, D.M.; Deeb, G.R. In Vivo Tooth-Supported Implant Surgical Guides Fabricated with Desktop Stereolithographic Printers: Fully Guided Surgery Is More Accurate Than Partially Guided Surgery. *J. Oral Maxillofac. Surg.* **2018**, *76*, 1431–1439. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2018.02.010>.
32. Sun, Y.; Ding, Q.; Yuan, F.; Zhang, L.; Sun, Y.; Xie, Q. Accuracy of a chairside, fused deposition modeling three-dimensional-printed, single tooth surgical guide for implant placement: A randomized controlled clinical trial. *Clin. Oral Implants Res.* **2022**, *33*, 1000–1009. <https://doi.org/10.1111/clr.13981>.
33. Derksen, W.; Wismeijer, D.; Flügge, T.; Hassan, B.; Tahmaseb, A. The accuracy of computer-guided implant surgery with tooth-supported, digitally designed drill guides based on CBCT and intraoral scanning. A prospective cohort study. *Clin. Oral Implants Res.* **2019**, *30*, 1005–1015. <https://doi.org/10.1111/clr.13514>.
34. Pessoa, R.; Siqueira, R.; Li, J.; Saleh, I.; Meneghetti, P.; Bezerra, F.; Wang, H.L.; Mendonça, G. The Impact of Surgical Guide Fixation and Implant Location on Accuracy of Static Computer-Assisted Implant Surgery. *J. Prosthodont.* **2022**, *31*, 155–164. <https://doi.org/10.1111/jopr.13371>.
35. Ngamprasertkit, C.; Aunmeungthong, W.; Khongkhunthian, P. The implant position accuracy between using only surgical drill guide and surgical drill guide with implant guide in fully digital workflow: A randomized clinical trial. *Oral Maxillofac. Surg.* **2022**, *26*, 229–237. <https://doi.org/10.1007/s10006-021-00975-7>.
36. Li, Z.Y.; Bai, H.F.; Zhao, Y.J.; Wang, Y.; Ye, H.Q.; Sun, Y.C. 3D Evaluation of Accuracy of Tooth Preparation for Laminate Veneers Assisted by Rigid Constraint Guides Printed by Selective Laser Melting. *Chin. J. Dent. Res.* **2020**, *23*, 183–189. <https://doi.org/10.3290/j.cjdr.a45222>.
37. Jurado, C.A.; AlResayes, S.; Sayed, M.E.; Villalobos-Tinoco, J.; Llanes-Urias, N.; Tsujimoto, A. A customized metal guide for controllable modification of anterior teeth contour prior to minimally invasive preparation. *Saudi Dent. J.* **2021**, *33*, 518–523. <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2020.09.004>.
38. Li, Z.Y.; Bai, H.F.; Zhao, Y.J.; Wang, Y.; Ye, H.Q.; Sun, Y.C. 3D Evaluation of Accuracy of Tooth Preparation for Laminate Veneers Assisted by Rigid Constraint Guides Printed by Selective Laser Melting. *Chin. J. Dent. Res.* **2020**, *23*, 183–189. <https://doi.org/10.3290/j.cjdr.a45222>.

39. Gao, J.; He, J.; Fan, L.; Lu, J.; Xie, C.; Yu, H. Accuracy of Reduction Depths of Tooth Preparation for Porcelain Laminate Veneers Assisted by Different Tooth Preparation Guides: An In Vitro Study. *J. Prosthodont.* **2022**, *31*, 593–600. <https://doi.org/10.1111/jopr.13456>.
40. Johner, A.M.; Pandis, N.; Dudic, A.; Kiliaridis, S. Quantitative comparison of 3 enamel-stripping devices in vitro: How precisely can we strip teeth? *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* **2013**, *143* (Suppl. S4), S168–S172. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2012.10.001>.
41. Kalemaj, Z.; Levrini, L. Quantitative evaluation of implemented interproximal enamel reduction during aligner therapy. *Angle Orthod.* **2021**, *91*, 61–66. <https://doi.org/10.2319/040920-272.1>.
42. De Felice, M.E.; Nucci, L.; Fiori, A.; Flores-Mir, C.; Perillo, L.; Grassia, V. Accuracy of interproximal enamel reduction during clear aligner treatment. *Prog. Orthod.* **2020**, *21*, 28. <https://doi.org/10.1186/s40510-020-00329-1>.
43. Laganà, G.; Malara, A.; Lione, R.; Danesi, C.; Meuli, S.; Cozza, P. Enamel interproximal reduction during treatment with clear aligners: Digital planning versus OrthoCAD analysis. *BMC Oral Health* **2021**, *21*, 199. <https://doi.org/10.1186/s12903-021-01487-2>.
44. Kalemaj, Z.; Levrini, L. Quantitative evaluation of implemented interproximal enamel reduction during aligner therapy. *Angle Orthod.* **2021**, *91*, 61–66. <https://doi.org/10.2319/040920-272.1>.
45. Sarig, R.; Vardimon, A.D.; Sussan, C.; Benny, L.; Sarne, O.; HersHKovitz, I.; Shpack, N. Pattern of maxillary and mandibular proximal enamel thickness at the contact area of the permanent dentition from first molar to first molar. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* **2015**, *147*, 435–444. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2014.11.026>.
46. Güth, J.F.; Runkel, C.; Beuer, F.; Stimmelmayer, M.; Edelhoff, D.; Keul, C. Accuracy of five intraoral scanners compared to indirect digitalization. *Clin. Oral Investig.* **2017**, *21*, 1445–1455. <https://doi.org/10.1007/s00784-016-1902-4>.
47. Jivanescu, A.; Rotar, P.; Hategan, S.; Pricop, C.; Rus, R.; Goguta, L. Clinical Factors Influence the Trueness of Intra-oral Scanning. *Eur. J. Prosthodont. Restor. Dent.* **2019**, *27*, 51–55. https://doi.org/10.1922/EJPRD_01861Jivanescu05.
48. Abduo, J.; Elseyoufi, M. Accuracy of Intraoral Scanners: A Systematic Review of Influencing Factors. *Eur. J. Prosthodont. Restor. Dent.* **2018**, *26*, 101–121. https://doi.org/10.1922/EJPRD_01752Abduo21.
49. Revilla-León, M.; Gohil, A.; Barmak, A.B.; Gómez-Polo, M.; Pérez-Barquero, J.A.; Att, W.; Kois, J.C. Influence of ambient temperature changes on intraoral scanning accuracy. *J. Prosthet. Dent.* **2023**, *130*, 755–760. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2022.01.012>.
50. Revilla-León, M.; Alonso Pérez-Barquero, J.; Zubizarreta-Macho, Á.; Barmak, A.B.; Att, W.; Kois, J.C. Influence of the Number of Teeth and Location of the Virtual Occlusal Record on the Accuracy of the Maxillo-Mandibular Relationship Obtained by Using An Intraoral Scanner. *J. Prosthodont.* **2023**, *32*, 253–258. <https://doi.org/10.1111/jopr.13526>.
51. Gómez-Polo, M.; Cascos, R.; Ortega, R.; Barmak, A.B.; Kois, J.C.; Revilla-León, M. Influence of arch location and scanning pattern on the scanning accuracy, scanning time, and number of photograms of complete-arch intraoral digital implant scans. *Clin. Oral Implants Res.* **2023**, *34*, 591–601. <https://doi.org/10.1111/clr.14069>.
52. Piedra-Cascón, W.; Adhikari, R.R.; Özcan, M.; Krishnamurthy, V.R.; Revilla-León, M.; Gallas-Torreira, M. Accuracy assessment (trueness and precision) of a confocal based intraoral scanner under twelve different ambient lighting conditions. *J. Dent.* **2023**, *134*, 104530. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2023.104530>.
53. Agustín-Panadero, R.; Estada, M.I.C.; Alonso Pérez-Barquero, J.; Zubizarreta-Macho, Á.; Revilla-León, M.; Gómez-Polo, M. Effect of relative humidity on the accuracy, scanning time, and number of photograms of dentate complete arch intraoral digital scans. *J. Prosthet. Dent.* **2023**. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2023.04.002>.
54. Mei, L. Atomic force microscopy analysis of enamel nanotopography after interproximal reduction. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* **2017**, *151*, 750–757.

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.



BIBLIOGRAFÍA

-
-
- 1 Peck H, Peck S. An Index for assessing tooth shape deviations as applied to the mandibular incisors. *Am J Orthod.*1972;61(4):384-401.
 - 2 Stroud JL, English J.. Enamel thickness of the posterior dentition: its implications for non extraction treatment. *The Angle Orthodontist.*1998;68(2):141-146.
 - 3 Zachrison B, Nyoygaard L, Mobarak K. Dental health assessed more than 10 years after interproximal enamel reduction of mandibular anterior teeth. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.*2007;131:162-9.
 - 4 Black GV. *Descriptive Anatomy of the human teeth* (Internet). Philadelphia:S.S. White Dental Manufacturing Co.;1902.p.XVII, 169 p. Available from:file://catalog.hathitrust.org/Record/003827524.
 - 5 Ballard M. Asymmetry in tooth size a factor in the etiology, diagnosis and treatment of malocclusion. *Angle Orthod.* 1944;14:67-71.
 - 6 Steadman S.R. Predetermining the Overbite and Overjet. *Angle Orthodontist.*1949.19:101-105.
 - 7Bolton W.A.Thesis for Master´s Degree.University of Washington.1952.
 - 8 Bolton W.A. Disharmony in Tooth size and its relation to the analysis and treatment of malocclusion. *Angle Orthodontist.*1958. 28:113-130.
 - 9 Bolton W.A. The clinical application of a tooth-size analysis. *American Journal of Orthodontics.* 1962. Vol.48.Number 7:504-529. [https://www.ajodo.org/article/0002-9416\(62\)90129-X/pdf](https://www.ajodo.org/article/0002-9416(62)90129-X/pdf).
 - 10 Ludström A. Variation of tooth size in the etiology of malocclusion. *International Journal of Orthodontia and Dentistry for Children.*1955;41(11):872-876.[https://www.ajodo.org/article/0002-9416\(55\)90190-1/pdf](https://www.ajodo.org/article/0002-9416(55)90190-1/pdf).
 - 11 Lacruz RS,Habelitz S, Wright JT, Paine ML. Dental enamel formation and implications for oral health and disease. *Physiol Rev.*2017;97(3):939-93.

-
-
- 12 Trowbridge H. Review of dental pain histology and physiology. *J Endod* 1985; 12:445-52.
- 13 Beniash E et al. The hidden structure of human enamel. *Nat Commun.* 2019;10(1):1-13.
- 14 Albertí Vázquez L et al. Histogénesis del esmalte dentario. Consideraciones generales. *Rev Arch Médico Camagüey(Internet).*2007(cited 2021 Mar 14);11(3).Available from:<http://scielo.sld.cu/scielo.phd>.
- 15 Martin L B,Olejniczak AJ,Maas MC. Enamel thickness and microstructure in pitheciin primates,with comments on dietary adaptations of the middle Miocene hominoid Kenyapithecus. *J Hum Evol.*2003;45(5):351-67.
- 16 Macho G A, Berner ME. Enamel thickness of human maxillary molars reconsidered. *Am J Phys Anthr.*1993;92(2):189-200.
- 17 Kailasam V et al. Proximal enamel thickness of the permanent teeth: A systematic review and meta-analysis. *Am J Dentofacial Orthop.* 2021:1-12.
- 18 Mahoney P. Two dimensional patterns of human enamel thickness on deciduous(dm1,dm2)and permanent first(M1) mandibular molars. *Archives of Oral Biology.*2010;Vol.55(2):115-126.Available from:<https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2009.11.014>.
- 19 Kaaouara Y et al. In vivo enamel stripping: A macroscopy and microscopic analytical study. *International Orthodontics(internet).*2019;17(2):235-242. Available from :<https://doi.org/10.1016/j.ortho.2019.03.005>.
- 20 Germeç D., Taner T U. Effects of extraction and non extraction therapy with air rotor stripping on facial esthetics in postadolescent borderline patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.*2008;133:539-49
- 21 Sheridan JJ et al. On Air Rotor Stripping. *J Clin Orthod.*2008;42:381-388.
- 22 Plataforma de formación invisalign. [http://2-preview .prosites.com](http://2-preview.prosites.com).

-
-
- 23 Kalemog Z, Levrini L. Quantitative evaluation of implemented interproximal enamel reduction during aligner therapy: A prospective observational study. *Angle Orthodontist* .2021;91(1):61-66.doi:10.2319/040920-272.1.
- 24 Baumgartner S, Iliadi A, Eliades T, Eliades G. An in vitro study on the effect of an oscillating stripping method on enamel roughness. *Prog Orthod*.2021;16(1):1-6.
- 25 Johner AM et al. Quantitative comparison of 3 enamel-stripping devices in vitro: How precisely can we strip teeth?. *AJODO*.2013;143(4):168-172.
- 26 Jarjoura K, Gagnon G, Nieberg L. Caries risk after interproximal enamel reduction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*.2006;130:26-30. . doi: 10.1016/j.ajodo.2004.08.024.
- 27 Chudasama D, Sheridan JJ. Guidelines for contemporary Air-Rotor Stripping. *JCO*.2007;XLI(6):315-20.
- 28 González-Sotelo A. et al. Enamel demineralization model in primary teeth: Micro-CI and SEM assessments of artificial incipient. *Microsc Res Tech*. 2021;84(7):1577-1585.
- 29 Jung M. A comparison of second premolar extraction and mini-implant total arch distalization with interproximal stripping. *Angle Orthod*.2013;83(4):680-5.
- 30 Betteridge MA.The effects of interdental stripping on the labial segments evaluated one year out of retention.*Br J Orthod*.1981;8(4):193-7.
- 31 Tarnow D P, Magner A W, Fletcher P. The effect of the distance from the contact point to the crest of bone on the presence or absence of the interproximal dental papilla. *J Periodontal*. 1992;63:995-6.
- 32 Yang G. et al. Measurements of the gingival papillae architecture using cone-beam computed tomography in young Chinese adults. *Peer J*. 2020 sep 23;8:e10006.doi:10.7717/peerj.10006.ecollection 2020.

-
-
- 33 Jost-Brinkmann PG, Otani H, Nakata M. Surface condition of primary teeth after approximal grinding and polishing. *J Clin Pediatr Dent.* 1991;16:41-45. (PubMed)(Google Scholar).
- 34 Al-Erman S. Simple orthodontic tooth aligner. *Saudi Dent J.* 2007;19(1):15-20.
- 35 Van Der Linden FP. Aspects théoriques et pratiques de l'encombrement de la denture humaine. *Revue Orthod Dento Faciale.* 1975;9:329-52.
- 36 Rosa M. Sequential slicing of deciduous teeth. *Journal of clinical orthodontics.* 2001;35(11):696-701.
- 37 Radlanski RJ et al. Plaque accumulations caused by interdental stripping. *Am Journal Dentofacial Orthop.* 1988; 94:416-420. doi:10.1016/0889-5406(88)90131-X. (PubMed)(CrossRef)(Google Scholar).
- 38 Rossouw PE, Tortorella A. Enamel reduction procedures in orthodontic treatment. *J Cant Dent Assoc.* 2003;69:378-83.
- 39 Lapenaite E et al. Interproximal enamel as a part of orthodontic treatment. *Stomatologija, Baltic Dental and Maxillofacial Journal.* 2014;6(1):19-24.
- 40 Baysal A, Uysal T, Usumez S. Temperature rise in the pulp chamber during different stripping procedures. *Angle Orthod.* 2007;77:478-482.
doi:10.2319/00033219(2007)077(0478:TRITPC)2.0.CO;2. (PubMed)(CrossRef)(Google Scholar).
- 41 Tuverston DL. Anterior interocclusal relations. Part I. *Am J Orthod.* 1980;78:361-370.
- 42 Zachrisson B, Nyoygaard L, Mobarak K. Dental Health assessed more than 10 years after interproximal enamel reduction of mandibular anterior teeth. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007;131:162-9.
- 43 Zhong M et al. Clinical Evaluation of a new technique for interdental enamel reduction. *J Orofac Orthop.* 2000;61:432-439.

44Banga K et al. Evaluation of temperature rise in the pulp during various IPR techniques-an in vivo study. Prog Orthod.2020;21:40.

45 Gazanni F et al. Comparision of the abrasive properties of two different systems for interproximal enamel reduction: oscillating versus manual strips. BMC Oral Health.2009;19(1):247.doi:10.1186/s12903-091-0934-y.(PMC free article)(PubMed)(CrossRef)(Google Scholar).

46 Silvestrini B et al. Evaluation of enamel surfaces after different techniques of interproximal enamel reduction. Journal of Functional Biomaterials. 2023;14:110.<https://doi.org/10.3390/jfb14020110>.

47 Henao J et al. Elaboración de un nuevo tipo de guías quirúrgicas para implantes dentales mediante impresión 3 D. Informador Técnico. Centro Nacional de Asistencia Técnica a la Industria-ASTIN. Colombia.2018.;82(1):78-89.

48 De Kok IJ, Thalji G, Bryington M, Cooper LF. Radiographic stents: integrating treatment planning and implant placement. Dent Clin North Am. 2014 Jan;58(1):181-92. doi: 10.1016/j.cden.2013.09.008.

49 Stumpel LJ. Cast-based guided implant placement: A novel technique. Journal of Prosthetic Dentistry. 2008;100(1):61-69.doi:[https://doi.org/10.1016S0022-3913\(08\)60140-7](https://doi.org/10.1016S0022-3913(08)60140-7).

50 Shotwell JL et al. Implant Surgical guide fabrication for partially edentulous patients. Journal of Prosthetic Dentistry.2005;93(3):294-297.doi:<https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2004.12.013>.

51 Schwartzman A. Labial Veneers: A multidisciplinary Approach. Journal of the California Dental Association. 2015;43(4):183-184.

52 Ellakany P,Aly N, Al-Harbi F. Accuracy of 3 D printed and digital cast produced from intraoral and extraoral scanners with different scanning technologies: in vitro study. Journal of Prosthodontics.2021.

53 Magne P, Douglas WH. Additive contour of porcelain veneers: A key element in enamel preservation, adhesion and esthetic for aging dentition. *J Adhes Dent.*1999;1:81-92.

54 Cho SH,Nagy WW: Customized occlusal reduction guide made from a thermoplastic sheet. *J Prosthet Dent.*2015;114:307-308.

55 Gao et al. A stereolithographic template for computer assisted teeth preparation in dental esthetic ceramic veneer treatment. *J Esthet Restor Dent.*2020.

56 Li ZY et al. 3D Evaluation of accuracy of tooth preparation for laminate veneers assisted by rigid constraint guides printed by selective laser melting. *Chin J Dent Res.*2020;23:183-189.

57 Jurado CA et al. A customized metal guide for controllable modification of anterior teeth contour prior to minimally invasive preparation. *Saudi Dent J.* 2021;33(7):518-523. doi:10.10167/j.sdentj.2020.09.004.

58 Gao JH. Accuracy of reduction Depths of Tooth Preparation for Porcelain Laminate Veneers Assisted by Different Tooth Preparation Guides: An in vitro study. *Journal of Prosthodontics.*2021; Available from: <https://doi-org.ezproxi.usal.es/10.1111/jopr.13456>.

59 Hudson A L. A study of the effects of mesiodistal reduction of mandibular anterior teeth.*Am J Orthod.* 1956;42(8):615-24.[https://www.ajodo.org/article//0002-9416\(56\)90103-8/pdf](https://www.ajodo.org/article//0002-9416(56)90103-8/pdf).

60 Sheridan J J.Air-Rotor Stripping. *J Clin Orthod.*1985;19:43-59.

61Paskow H. Self alignment following interproximal stripping. *Am J Orthod.*1970;58:240-9.

62 Piacentini C,Sfondrini G. A scanning electron microscopy comparison of enamel polishing methods after Air Rotor Stripping. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.*1996;109(1):57-63.

63 Radlanski RJ,Jager A,Zimmer B. Morphology of interdentially stripped enamel one year after treatment.*Am J Orthod.*1989;23:748-750 (Pudmed)(Google Scholar).

64 Hellak AF et al. Enamel demineralization after different methods of interproximal polishing. Clin Oral Investig.2015;19(8):1965-72.

65 Hamdan AM et al.Preventing and treating white-spot lesions associated with orthodontic treatment:a survey of general dentist and orthodontist.J Am Dent Assoc.2012 Jul;143(7):777-83.

66 Choudhary A et al.Interproximal enamel reduction in orthodontic treatment: A review.J Appl Dent Med Scien.2015;1(3)123,125.

67 Ben Mohimd H et al. Enamel protection after stripping procedures:An in vivo study.In Orthod(Internet).2019;17(2):243-8.Available from:<https://doi.org/10.1016/j.orthod.2019.03007>.

68 Rai B,Jain R,Kharb S,Anand SC. Evaluation of antimicrobial and demineralization inhibitory effects of fluoritop-SR and bifluorid-12-An in vitro study.J Conserv Dent.2006;9(4):131-33.

69 Zhang Q et al. Remineralization effects of casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate creme on artificial early enamel lesions of primary teeth. Int JPaediatr Dent.2011 Sep;21(5):374-81.

70 Giulio AB et al. In vitro evaluation of casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate.(CPP-ACP)effect on stripped enamel surfaces. A SEM investigation.J Dent.2009;37(3):228-32.

71 Patel P M et al. Comparition of the effect of fluoride Varnish,Clorhexidine Varnish and Casein Phosphopeptide-Amorphous Calcium Phosphate(CPP-ACP)Varnish on Salivari Streptococcus mutans Level:A six Month Clinical Study. Journal of Clinical and Diagnosis Research.2017 Aug;Vol-11(8):ZC53-ZC59.

72 Russell AD. Clorhexidine: antibacterial action and bacterial resistance. J infection.1986;14(5):212-15.

73 Schüpbach P et al. Incorporation of caseinoglycomacropeptide and caseinophosphopeptide into the salivary pellicle inhibits adherence of mutans streptococci. J Dent Res.1996;75(10):1779-88.

74 Duraisamy V et al. An in vitro evaluation of the demineralization inhibitory effect of F-varnish and casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate on enamel in young permanent teeth. *J Pharm Bioallied Sci.*2015;7(2):s513-15.

75 Wang Y,Hua F,Jiang H. CPP-ACP may effective but not significantly greater than using flurides alone,in preventing and treating white spot lesions around orthodontic brackets.Do products containing casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate (CPP-ACP)have preventive and therapeutic effects on white spot lesions occurring during fixed orthodontic treatment? *.J Evid Base Dent Pract.* 2020;Vol 20,Number 1. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jebdp.2020.101416>.

76 Banga A et al. Evaluation of temperature rise in the pulp during various IPR techniques – an in vivo study. *Prog Orthod.*2020;21:40.

77 Zach L,Cohen G. Pulp response to externally applied heat. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.*1965;19:510-530. doi:10.1016/0030-4220(65)900-15-0.

78 Zach L.Ultrasonic cavity preparation effect on the immature dentition.*J Prosthet Dent.*1958;8:139-146. doi:10.1016/0022-3913(58)90025-8.(CrossRef)(Google Scholar).

79 Daubert D et al. Human enamel thikness and ENAM polymorphism. *Int J Oral Sci.*2016;8:93-97. doi:10.1038/ijos.2016.1.(PMC free article)(Pub Med)(Cross Ref)(Google Scholar)

80 Pereira JC et al. Change in the pulp chamber temperatura with different stripping techniques. *Prog Orthod.*2004;15:55. doi:10.1186/s40510-014-0055-8.(PMC free article)(PubMed)(CrossRef)(Google Scholar).

81 Shegal M et al. Effect of different stripping techniques on pulpal temperature:in vitro study. *Dental PressJournal of Orthodontics.*2019 Jan-Feb;24(1):39-43.

82 Arroyave Franco M. *Revista Universidad.EAFIT*.2011;44(151):68-83.

83 Knoll M, Ruska E. Subjective light Pattern Spectroscopy in the Electroencephalic Range. *Nature(London)*.1959;184:1823-24.

84 Renau-Piqueras J, Faura M. Principios básicos del Microscopio Electrónico de Barrido. *Cent.Investig Hosp. "La Fe". ruc.udc.es*. 1994:73-92.

85 Kildare M. et al. Threedimensional reconstruction by electron microscopy in the life sciences: An introduction for cell and tissue biologist. *Mol Reprod Dev*.2015;82:530-547.

86 Mitsuo S. et al. Recent progress in scanning electron microscopy for the characterization of fine structural details of nano materials. *Progress in Solid State Chemistry*.2014;42:1-21.

87 Risnes S.,Saeed M.,Sehic A. Scanning Electron Microscopy(SEM).*Methods for Dental Enamel. Odontogenesis*.2019;293-308.

88 Richert R, Goujat A, Venet L, Viguie G, Viennot S, Robinson P, Farges JC, Fages M, Ducret M. Intraoral Scanner Technologies: A Review to Make a Successful Impression. *J Healthc Eng*. 2017;2017:8427595. doi: 10.1155/2017/8427595.

89 De Felice M E et al. Accuracy of interproximal enamel reduction during clear aligner treatment. *Prog Orthod*. 2020;21(1):28. Available from:<https://doi:10.1186/540510-020-00329-1>.

90 Laganà G et al. Enamel interproximal reduction during treatment with Clear Aligners: digital planning versus orthocad analysis. *BMC Oral Health*.2021;21(1):199.Avaliable from:<https://doi:10.1186/512903-021-01487-2>.

91 López Jiménez L. Aplicaciones de la microscopia de fuerza atómica en la investigación odontológica. TDX (Tesis doctoral en Xarxa). Universitat de Barcelona;2014. (cited 2020 Dec 29). Available from:<http://www.tdx.cat/handle/10803/290987>.

92 Eghiaian F. et al. High-speed atomic force microscopy: imaging and force spectroscopy. *Febs Lett.*2014;588(19):3631-3638.

93 Arango C, Paz Quintero C. Técnica para la medición computerizada de áreas y perímetros oclusales sobre imágenes fotográficas estandarizadas. Técnica de medición y diseño del fotoestandarizador. *CES Odontología.* 1993;6(2):117-119.

94 Beràstegui E et al. La perfilometría como técnica de investigación en odontoestomatología. *Arch Odontoestomatol.* 1992;8(3):134-8.

95 Sugsompian K, Tansalarak R, Piyapattamin T. Comparison of the Enamel Surface Roughness from Different Polishing Methods: Scanning Electron Microscopy and Atomic Force Microscopy investigation. *Eur J Dent.* 2020;14(2):299-305. Available from: doi:10.1055/s-0040-1709945.

96 Triduo M, Zubizarreta, Pérez -Barquero J A, Guinot Barona C, Alvarado Lorenzo A, Vivente Galindo P, Albaladejo Martínez A. A novel digital technique to quantify the area and volume of enamel removal after interproximal enamel reduction. *Appl. Sci.* 2021, 11, x. <https://doi.org/10.3390>.

97 Sittikornpaiboon P, Arunjaroensuk S, Kaboosaya B, Subbalekha K, Mattheos N, Pimkhaokham A. Comparison of accuracy of implant placement using different drilling systems for static computer-assisted implant surgery: A simulation -based experimental study. *Clin Implant Dent Relat Res.*2021;23:635-643. [CrossRef]{Pubmed}.

98 Bencharit S, Staffen A, Yeung M, Whitley D, 3rd, Laskin D M, Deeb G R. In vivo tooth-supported implant surgical guides fabricated with desktop stereolithographic printers: fully guided is more accurate than partially guided surgery. *J Oral Maxillofac Surg.* 2018;76:1431-1439.

99 Sun Y, Ding Q, Yuan F, Zhang L, Sun Y, Xie Q. Accuracy of a chairside, fused deposition modeling three-dimensional printed, single tooth surgical guide for implant placement: A randomized controlled clinical trial. *Clin Oral Implants Res.* 2009;33:1000-1009. [CrossRef].

100 Derksen W, Wismeijer D, Flüge T, Hassan B, Tahmaseb A. The accuracy of computer-guided implant surgery with tooth-supported, digitally designed drill guides based in CBCT and intraoral scanning. A prospective cohort study. *Clin Oral Implants Res.* 2019;30:1005-1015. [CrossRef] [PubMed].

101 Pessoa R, Siqueira R, Li J, Saleh I, Meneghetti P, Bezerra F, Wang H L, Mendonça G. The impact of surgical guide fixation and implant location on accuracy of static computer-assisted implant surgery. *J Prostodont.* 2022;31:155-164. [CrossRef].

102 Ngamprasertkit C, Aunmeunthong W, Khongkhunthian P. The implant position accuracy between using only surgical drill guide and surgical drill guide with implant guide in full digital workflow: A randomized clinical trial. *Oral maxillofac Surg.* 2022;26:229-237.

103 Sarig, R.; Vardimon, A.D.; Sussan, C.; Benny, L.; Sarne, O.; Hershkovitz, I.; Shpack, N. Patrón de espesor del esmalte proximal maxilar y mandibular en el área de contacto de la dentición permanente desde el primer molar hasta el primer molar. *Am. J. Orthod. Dentofac. Ortografía.* **2015**, *147*, 435–444.

104 Güth J F, Runkel C, Beuer F, Stimmelmavr M, Edelhoff D, Keul C. Precisión de cinco escáneres intraorales en comparación con la digitalización indirecta. *Clin Investig Oral.* 2017;21:1445-1455.

105 Jivanescu A, Rotar P, Hategan S, Pripcop C, Rus R, Goguta L. Los factores clínicos influyen en la veracidad de la exploración ontraoral. Eur J Prosthodont Restaurador abolladura.2019;27:51-55.

106 Abduo J, Elseyoufi M. Preciosión de los escáneres intraorales: una revisión sistemática de los factores que influyen. Eur J Prosthodont Restaurador Abolladura.2018;26:101-121. [Pubmed en inglés]

107 Revilla-León M, Gohil A, Barmak A B, Gómez Polo M, Pérez Barquero J A, Att V, Kois J C. Influencia de los cambios de temperatura ambiente en la precisión del escaneo intraoral. J Prótesis Abolladura. 2023;130:755-760. [Pubmed en inglés]

108 Revilla-Leon M, Alonso-Pérez Barquero J, Zubizarreta-Macho A, Barmak A B, Att V, Kois J C. Influencia del número de dientes y localización del registro oclusal virtual en la precisión de la relación maxilo-mandibular obtenida mediante el uso del escáner intraoral. J Prostodont. 2023;32:253-258.[Pubmed en inglés]

109 Sarver D.Principles of cosmetic dentistry in orthodontics: Part 1. Shape and proporcionality of anterior teeth. Am Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 2004;162(6):749-753.

110 Virajslip V et al. Comparision of proximal caries detection in primary teeth between laser fluorescence and bitewing radiography. Pediatr Dent. 2005;27(6):493-9.

111 Muthu Ms, Kirthiga M, Lee J C, Kayalvizhi G, Mathur V P, Kandaswamy D, Jayakumar N. Oxis contacts as a risk factor for approximal caries: A retrospective cohort study. Pediatr Dent. 2021;43(4):296-300.

112 Walia T et al. Interproximal contact areas of primary molars based on OXIS classification – a two centre cross sectional study. Wellcome Open Research. 2021;5:285.

113 Cortes et al. Approximal morphology as predictor of approximal caries in primary molar teeth. Clin Oral Invest. 2018;22(2);951-9.

114 Kirthiga M et al. Prevalence and correlation of OXIS contacts using cone-beam computed tomography images (CBCT) and photographs. *Int J Paediatric Dent.* 2012;31(4)520-7.

115 Ozaibi M et al. Dental anatomy: contact points and contour. *Ozident.* 2013. <https://www.Dental-Anatomy-contact-points-contour>.,n.d.