



**UNIVERSIDAD DE SALAMANCA
FACULTAD DE MEDICINA**

PROGRAMA DE DOCTORADO EN ODONTOLOGÍA

TESIS DOCTORAL

**DESCRIPCIÓN DE UNA TÉCNICA DIGITAL PARA CUANTIFICAR EL
ÁREA Y VOLUMEN DE ESMALTE REMOVIDO TRAS LA REDUCCIÓN
DE ESMALTE INTERPROXIMAL**

Autora

Dr. D^a. Martina Triduo

Directores

Dr. D. Alberto Francisco Albaladejo Martínez

Dr. D. Álvaro Zubizarreta Macho

AGRADECIMIENTOS

Al Profesor Alberto Francisco Albaladejo Martínez por la supervisión y apoyo recibido durante la realización de esta Tesis doctoral.

Al Profesor Álvaro Zubizarreta Macho por su dedicación y por la ayuda proporcionada para avanzar en la investigación, guiándome y aportando sus preciados conocimientos a lo largo de todo este proyecto.

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

A mi familia, por su apoyo incondicional. En especial a mis padres por haberme apoyado durante todos mis estudios académicos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	1
JUSTIFICACIÓN	29
OBJETIVOS	33
<i>PRINCIPAL</i>	
<i>SECUNDARIO</i>	35
MATERIAL Y MÉTODOS	37
<i>DISEÑO DEL ESTUDIO</i>	39
SELECCIÓN DE LA MUESTRA	39
CRITERIOS DE INCLUSIÓN	39
CRITERIOS DE EXCLUSIÓN	40
TAMAÑO MUESTRAL	40
PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS	40
ANÁLISIS ESTADÍSTICO	46
RESULTADOS	47
<i>ESTADÍSTICA descriptiva</i>	49
<i>Análisis Gage R&R</i>	52
DISCUSIÓN	57
CONCLUSIONES	71
BIBLIOGRAFÍA	75
ANEXOS	91

1. ANTECEDENTES

La reducción de esmalte interproximal (IPR) o stripping es una técnica irreversible que se emplea para eliminar cantidades controladas de esmalte en diferentes localizaciones del arco dentario para conseguir una reducción del diámetro mesiodistal de las superficies dentales con el fin de lograr espacio en la arcada dentaria (1–3). Actualmente, se considera una alternativa terapéutica de elección en el tratamiento de ortodoncia al ser una técnica de las más conservadoras para conseguir espacio (4). En 1092, Black(5) habló por primera vez de la reducción proximal fisiológica producida por la abrasión interproximal natural de los dientes a lo largo de la vida de un individuo. La técnica de IER fue introducida por primera vez en 1944 por Ballard (6), que la empleó para reducir las áreas interproximales anteroinferiores. Posteriormente, se desarrollaron diferentes técnicas y se ampliaron las aplicaciones clínicas del stripping. En 1956, Hudson (7) introdujo tanto el uso de las tiras metálicas manuales de grano fino y medio como la aplicación de flúor tópico tras el stripping para reducir las irregularidades que presentaba la superficie del esmalte tras el procedimiento. En el año 1970, Paskow (8) sugiere realizar la IPR con precaución para reducir las complicaciones y sugiere que la reducción de esmalte debe estar comprendida entre 0,23 mm y 0,37 mm y además, sugiere la aplicación de flúor tópico. Posteriormente, en 1972, Peck y Peck (1) describieron el stripping como un procedimiento clínico que permite corregir las alteraciones dentales de forma y desarrollaron un índice clínico basado en el tamaño mediodistal y bucolingual de los incisivos inferiores para guiar el diagnóstico ortodóncico y el plan de tratamiento adecuado. En 1985, Sheridan (9) introdujo el *air-rotor stripping*, presentado la técnica como una alternativa para las extracciones dentales o como procedimiento para resolver casos con apiñamiento leve o moderado.

Otro antecedente histórico importante fue marcado por Zachrisson (10) en 1986, que empleó la técnica de reducción interproximal de esmalte para eliminar los triángulos negros gingivales mejorando el pronóstico periodontal.

2. CARACTERÍSTICAS DEL ESMALTE

La durabilidad de un diente depende de la estructura y de las propiedades individuales de los tejidos que lo componen (11), siendo el esmalte dental el tejido más mineralizado y duro del cuerpo humano. Una vez mineralizado, el esmalte no se remodela ni se repara al ser un tejido acelular (12,13). La composición del esmalte se caracteriza por tejido duro mineral, carbonato de hidroxapatita (HAP) en alta densidad (95wt% en esmalte maduro), un 1% de matriz orgánica y 2-4% de agua (13–18). Debido a su composición, el esmalte presenta entre sus propiedades mecánicas una extrema dureza combinada a una gran resiliencia que permiten hacer frente a las fuerzas masticatorias hasta 770N y al ambiente hostil de la cavidad oral que proporciona cambios extremos tanto en pH como en temperatura (4,12), siendo una barrera protectora frente a los cambios físicos, térmicos y químicos que podrían resultar dañinos para la pulpa dental (13).

2.1 AMELOGÉNESIS

El proceso de formación del esmalte ha sido estudiado histológicamente y morfológicamente durante siglos. El proceso de formación del esmalte se denomina amelogénesis. Los ameloblastos son los principales responsables de la formación y mineralización del esmalte, dando origen a la matriz del esmalte y a la formación de

hidroxiapatita (13). Las etapas principales de la formación del esmalte incluyen el desarrollo de la lámina dura durante la sexta semana intrauterina. Esta, se pliega rápidamente y penetra en el mesénquima para formar la placa dental (19). Posteriormente siguen las etapas de yema, capuchón y campana que dan forma a la corona para finalmente empezar con el desarrollo de las raíces (13). Durante la etapa de yema se consigue diferenciar la lámina dental de cada diente como un abultamiento en forma de disco (yemas epiteliales) (19). El contacto producido entre el mesénquima y la yema dará origen a la papila dental (20). En la etapa de capuchón empieza la histodiferenciación del órgano dental al estar ya diferenciadas el órgano dental epitelial, la papila y el saco dental (19). Finalmente, en la etapa de campana se establecen los patrones coronarios y se produce la diferenciación de ameloblastos y odontoblastos. La papila dental formará la dentina y la pulpa, por otro lado, el saco dental dará origen al cemento, ligamento periodontal y hueso alveolar propio (19).

2.2 ESPESOR DEL ESMALTE

Muchos estudios antropológicos se han centrado en el espesor del esmalte para estudiar la evolución humana debido a la información taxonómica y filogenética que aporta (21–23).

No obstante, el número de investigaciones referentes al espesor del esmalte haya aumentado recientemente existe poca evidencia científica relacionada con el género y los grupos poblacionales (22,24). Grine estudió los molares en humanos en diferentes grupos poblacionales y encontró bajos niveles de variación en la muestra

de población mixta (25). Actualmente, la muestra de molares de poblaciones geográficamente diferentes no se ha comparado a gran escala, incluyendo los análisis de variación dentro de la fila de molares (26).

La medición del espesor del esmalte se realizaba usando medidas lineales del esmalte expuesto o de dientes fracturados (22,27). Sin embargo, actualmente, gracias a las diferentes formas de microtomografía computerizada de alta resolución es posible medir de forma precisa el espesor de los tejidos dentales (28).

Existen muchos factores que determinan el espesor del esmalte, entre ellos la posición del diente y la forma de la unión amelodentinaria. Debido a las diferencias estadísticamente significativas encontradas entre el espesor del esmalte entre los molares superiores e inferiores y los molares de la misma fila, se pudo determinar que los molares superiores son más grandes en dimensiones bucolinguales respecto a los molares mandibulares (26).

Macho y Berner (24) explican como el patrón de distribución el esmalte es consecuencia del transcurso de la evolución, ya que se ha tenido que adaptar a cambios en la carga masticatoria y al aumento en las magnitudes de la fuerza de mordida en dientes posteriores. Por otra parte, también consideran clara la relación entre la morfología orofacial y la adaptación funcional. A pesar de que el grosor del esmalte puede ser indicativo de adaptaciones dietéticas, el gradiente de distribución puede estar relacionado con las limitaciones biomecánicas del aparato masticatorio.

3. DESCRIPCIÓN DEL STRIPPING

3.1 CONSIDERACIONES PREVIAS

Antes de realizar cualquier técnica de stripping hay que tener en cuenta que existe un riguroso protocolo e instrumental específico, además, no es necesario el uso de anestesia local ya que es un procedimiento totalmente indoloro(29,30). Si el protocolo de reducción se realiza adecuadamente, este beneficiará tanto el paciente como al clínico (31). Antes de empezar con cualquier técnica de stripping, se recomienda nivelar y alinear los dientes para que permite valorar al clínico si a través del stripping podrá alcanzar los objetivos de tratamiento planificados(32).

3.1.1 PLANIFICACIÓN DEL STRIPPING

3.1.1.1 ESPESOR DEL ESMALTE

No existe relación entre el tamaño dental y el espesor del esmalte, por lo tanto, no se debe reducir más los dientes macrodónticos comparados con los microdónticos, aunque queden mejor estéticamente. El espesor del esmalte es ligeramente mayor en el punto de contacto y disminuye al aproximarse a la unión amelocementaria. El esmalte es ligeramente más fino en distal que en mesial, salvo en los incisivos laterales superiores que presentan mayor esmalte en distal que en mesial (33). Se ha determinado un espesor de esmalte de los incisivos centrales inferiores de $0,77\pm0,11\text{mm}$ en las superficies distales y de

0,77±0,10mm en las mesiales. Respecto al incisivo lateral inferior el espesor del esmalte es de 0,96±0,14mm en distal y 0,80±0,11mm en mesial. En los premolares, el espesor del esmalte suele ser alrededor en 1mm(7,34,35). Siempre hay que tener en cuenta el espesor mínimo, ya que no es posible saber exactamente la cantidad de esmalte que presentar cada diente (33). No se ha encontrado relación entre la forma del diente (triangular, rectangular o cuadrada) y el espesor del esmalte (36), aunque, se gana mayor espacio en aquellos dientes que presentan una forma anatómica triangular (33). Debido a la variación individual que existe entre la forma del diente y el espesor del esmalte, se requiere la realización de aletas de mordida o radiografías periapicales para obtener mayor información respecto a la cantidad de esmalte de cada diente que se va a someter a IPR (37,38). A través del stripping, se reduce la capa externa del esmalte entre 0,3-0,5mm (incluyendo el pulido) per superficie dental (2,33,39). Se recomienda no reducir más de la mitad del espesor del esmalte (40). Además, la reducción no debe de exceder de 0,3mm en los incisivos maxilares, 0,6mm en premolares y molares maxilares y mandibulares y de 0,2mm en incisivos inferiores (41). El arco dentario, excluyendo terceros molares, contiene 14 dientes, al eliminar 0,3mm por cada diente, se ganan 0,6mm en 13 contactos interproximales, con un total de ganancia de 7,8mm. Si se necesita más espacio hay que valorar otras técnicas como la proinclinación anterior, distalización y expansión del arco (33).

3.1.1.2 PUNTO DE CONTACTO

Al realizar la IPR hay que dejar el punto de contacto entre 4,5-5mm por encima de la cresta alveolar, para asegurar la ausencia de “triángulos negros” (33). El hueso alveolar se determina a través del sondaje y de la exploración radiográfica. Hay que prestar especial atención a los dientes con forma triangular porque suelen tener ausencia de papila (33). Es importante avisar al paciente de la potencial aparición de “triángulos negros” que pueden no ser visibles al principio del tratamiento debido a apiñamiento o rotaciones, por tal razón, se recomienda desrotar y alinear todos los dientes antes de realizar un procedimiento de stripping (42). Con respecto a la presencia de papila, se ha demostrado que, si la distancia entre el punto de contacto y la cresta ósea interdental es de 5mm o menos, la papila estará presente en el 100% de los casos, si la distancia es de 6mm la papila está presente en el 56% de los casos y si la distancia es mayor de 7mm, la papila estará presente en el 27% de los casos o menos (43).

3.1.1.3 ACCESO Y VISIBILIDAD

La visibilidad es un factor imprescindible para obtener superficies lisas y con morfología natural. Por lo tanto, se recomienda el uso de separadores o muelles helicoidales, aunque puedan causar molestias al paciente sobretodo en la zona anteroinferior (33,44). Se necesita posponer la cita para realizar el stripping al menos 5 días para que actúen los separadores (33,42).

3.2 CONSIDERACIONES FINALES

La mineralización del esmalte protege las capas subyacentes del diente. La IPR puede desequilibrar esta resistencia (45). Cualquier técnica de stripping empleada afecta la superficie dental, dejando el esmalte irregular con surcos y rasguños (39,46–49). Por dichas razones, es imprescindible devolver al dientes su forma natural y restaurar su suavidad superficial (42).

3.2.1 PULIDO

El pulido final es fundamental para reducir el número de abrasiones causadas por el stripping y para obtener una superficie parecida a una superficie de esmalte no tratada (50). Un adecuado pulido del diente es esencial para una buena prognosis a largo plazo (41). A lo largo de los años, se han analizado los efectos del pulido respecto a la rugosidad superficial y a la desmineralización el esmalte. Zingler *et al.* (51) investigaron *in vitro* la rugosidad superficial del esmalte antes y después del pulido tras realizar la técnica de stripping. Los autores estimaron que pulir durante 15-30 segundos permite obtener una rugosidad superficial similar a la del esmalte sin tratar. El tiempo de pulido depende de la técnica empleada ya que, el uso de sistemas de grano grueso, dejan grandes surcos y por consecuencia necesitan mayor tiempo de pulido y el uso previo de un sistema de grano más fino. Por otra parte, Grippaudo *et al.* (30) recomiendan el uso de selladores tras realizar el stripping con fresas, al ser esta técnica más agresiva. El uso de sellador permite obtener superficies más suaves que serían imposibles de obtener a pesar de emplear una técnica de pulido

satisfactoria debido a la profundidad de los surcos realizados durante la IPR. La investigación realizada por Piacentini *et al.* (52) demuestra que los mejores resultados en el pulido se obtienen realizando el stripping con una fresa de carburo de tungsteno de 8 hojas en cuanto deja unos surcos muy suaves y posteriormente pulir con discos Sof-Lex y terminar el pulido con los discos Sof-Lex ultrafinos.

La desmineralización del esmalte es una de las complicaciones que puede derivar del stripping. Hellak *et al.* (53) analizaron diferentes métodos de pulido para valorar su relación con la desmineralización. Tras analizar químicamente la concentración de iones de calcio en superficies pulidas y no pulidas, no encontraron relación estadísticamente significativa entre los grupos estudiados, determinando que la desmineralización del esmalte no se reduce a pesar de emplear una técnica de pulido adecuada.

3.2.2 FLUORIZACIÓN

La IPR altera la tanto la superficie dental como su composición mineral. El uso de barniz de flúor reduce la rugosidad superficial y ayuda a la recuperación de los elementos minerales perdidos durante el procedimiento (54). La interacción del flúor y la hidroxiapatita conlleva a la formación de fluorhidroxiapatita que hace que la superficie dental sea más resistente a futuras desmineralizaciones, pero al mismo tiempo, evita la penetración de iones calcio y fosfato en las zonas más profundas de la lesión (55). El uso de fluoruros tanto en dentífrico, gel, barnices y cementos es el abordaje terapéutico más estudiado y más utilizado para reducir la incidencia de

desmineralización y es el *gold estándar* en la prevención de lesiones de esmalte tempranas (56–58). La aplicación de flúor tras el stripping hace que la superficie del esmalte sea más dura y menos susceptible a la caries dental. Los dentífricos con nanocristales de carbonato-hidroxiapatita (CHA) y iones de zinc añadidos (carbonato de zinc hidroxiapatita Zn-CHA) parecen ser una manera eficiente para proteger la superficie del esmalte a la desmineralización tras el stripping (59). Además, 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 ha sido recomendado para hacer frente a algunas de las complicaciones consecuencias de la IPR(32). Recientemente, se ha sugerido el uso de caseína fosfopeptida amorfa calcio fosfato (CPP-ACP) para reducir la incidencia de desmineralización con un mecanismo de acción parecido a el del flúor, manteniendo la saturación de calcio fosfato en los fluidos de la placa, promoviendo la remineralización (60,61). Por tal razón, el complejo CPP-ACP ha sido recomendado tras al stripping (62).

4. OBJETIVOS STRIPPING

4.1 INDICACIONES

4.1.1 ALTERNATIVA A LAS EXTRACCIONES DENTALES

Entre las decisiones terapéuticas en ortodoncia se incluye la de extraer o no extraer dientes para conseguir un correcto alineamiento y labioversión de los incisivos (50). La IPR se puede considerar una alternativa válida en los casos que requieren mayor espacio interarcada (33,52).

4.1.2 DISCREPANCIA ÓSEO-DENTARIA NEGATIVA

La discrepancia óseo-dentaria (DOD) es la relación que existe entre el tamaño del arco dentario (espacio disponible) y el tamaño del diente (espacio requerido) (38). Si la DOD es negativa, existirá apiñamiento dental. La técnica del stripping se considera una alternativa válida para solucionar casos con apiñamiento leve o moderado entre 4-8mm (38,42,63).

4.1.3 ESTÉTICA

La estética se considera una de las principales indicaciones del stripping (38,64). Es importante tenerla en cuenta en pacientes con perfiles de riesgo que presentan una nariz prominente, birretroquelia o progenia o inclinación hacia atrás del labio superior acompañada por protrusión bimaxilar (38). La IPR está indicada también para la eliminación de triángulos negros que se han formado como consecuencia de una pérdida ósea o por los puntos de contacto establecidos hacia oclusal y que está acompañado por raíces divergentes (38).

4.1.4 DISCREPANCIA DE BOLTON

Los parámetros normales de Bolton son $91,3\% \pm 1,91\%$ cuando se determina la relación entre maxilar superior e inferior de molar a molar y de $77,2\% \pm 1,65\%$ cuando se determina la relación cúspide-cúspide (de canino a canino) (33,38).

4.1.5 DENTICIÓN TEMPORAL

La falta de espacio durante la erupción de la dentición permanente se debe a la discrepancia que existe entre el tamaño del diente y el tamaño de la arcada dental, la pérdida prematura de un diente temporal o la aparición de caries en dientes deciduos (65,66). La pérdida de espacio suele manifestarse en etapas tempranas durante la erupción de los incisivos centrales y laterales, exponiendo los primeros signos de apiñamiento (67). Al-Erman (67), para solucionar la falta de espacio temprana, sugiere realizar una reducción de 1,5mm por cada canino temporal (3mm en total) para corregir el apiñamiento temprano en edades entre 6 y 7 años. Nakhjavani *et al.* (68) recomienda el stripping mesial de los caninos temporales mandibulares, ya que en su investigación obtuvieron la completa corrección del apiñamiento en la mayoría de los casos, siempre y cuando el apiñamiento sea menor o igual a 3 mm. Además, la IPR está indicada en dentición temporal para facilitar la erupción de un diente parcialmente bloqueado por espacio insuficiente (38).

4.2 CONTRAINDICACIONES

Las contraindicaciones para llevar a cabo la técnica de IPR son (33,39,69,70): dientes pequeños, hipoplasias, rotaciones severas (que no permiten un acceso adecuado al área de contacto. En estos casos se recomienda usar separadores o solucionar previamente el apiñamiento de la zona a tratar), falta de aceptación del consentimiento informado (en el caso en que los pacientes rechazan el stripping como opción terapéutica), alto riesgo de caries, higiene oral deficiente

y restauraciones múltiples (al existir un riesgo de desequilibrar una situación oral de por si inestable siendo la eficacia y las posibles complicaciones del tratamiento poco predecibles), en pacientes jóvenes debido a las amplias cámaras pulpaes y en dientes rectangulares (por la dificultad de crear un punto de contacto adecuado).

A pesar de las contraindicaciones, si la técnica se emplea de manera adecuada, no existe evidencia de que sea dañina para los tejidos duros y blandos (39,70).

5. TÉCNICAS DE STRIPPING

Existen diferentes técnicas, tanto manuales como motorizadas, para realizar la IPR (39,46,48,71).

5.1 TIRAS MANUALES

Las tiras manuales de acero inoxidable, de una o doble cara y de grano fino medio y grueso son útiles en dientes rotados ya que los discos no alcanzan el punto de contacto. Una vez pasada la tira, se puede pasar el disco de stripping (33,38). Se ha demostrado que, el uso de las tiras metálicas dejan la superficie dental con menor uniformidad en comparación con las superficies tratadas con fresas y discos de diamante (4). Las tiras diamantadas producen superficies más rugosas en comparación con el esmalte tanto en dientes temporales como en dientes permanentes (48). Las tiras manuales están indicadas en casos de

apiñamiento moderado cuando haya que remover solo una pequeña cantidad de esmalte y en zonas de difícil acceso. Las tiras de grano fino reducen entre 0,140-0,160mm de esmalte y se pueden emplear para separar el punto de contacto o para pulir al finalizar el procedimiento. Las tiras de gran medio, son capaces de reducir entre 0,270-0,330mm de esmalte y están indicadas para reducir y contornear la superficie. Finalmente, las tiras de grano grueso pueden reducir entre 0,370-0,560mm de esmalte. Éstas, están indicadas para remover la gran mayoría de esmalte durante el procedimiento o para remover materiales dentales tal como resinas o amalgamas(72).

5.2 DISCOS DIAMANTADOS (SEGMENTOS OSCILANTES)

Existen de varios grosores y diferente tipología de grano. El disco más fino (0,17mm) permite 0,2mm de reducción. Existen discos de una cara y de doble cara. Los discos con una cara activa permiten romper el punto de contacto inicial y trabajar la cara interproximal de un solo diente (33,38). Algunos estudios demuestran que los discos diamantados que presentan granos inferiores a 30µm minimizan el riesgo de provocar defectos en el esmalte (73,74). Una desventaja de los discos diamantados es que pueden dañar la mucosa yugal, la lengua y la encía durante su uso, por lo tanto, se recomienda proteger la zonas expuestas a pesar de que se reduce el campo visual (32,72).

5.3 AIR ROTOR STRIPPING (TIRAS DE ROTOR DE AIRE)

Es una técnica que dificulta ser conservadores por el difícil control. Se puede realizar a alta velocidad hasta 200,000rpm o a baja velocidad entre 20,000y 5000rpm. Con esta técnica se pueden emplear fresas o discos. Respecto a las fresas, estas trabajan a alta velocidad, por lo tanto, son menos conservadoras al ser su control más difícil. Por otra parte, los discos diamantados trabajan a una velocidad comprendida entre 4000 y 20,000rpm. A esta velocidad, al romper el punto de contacto, el disco rebota y puede dañar tejidos duros y blandos (33).

5.4 FRESAS DE PULIDO INTERPROXIMAL

Las fresas de pulido interproximal presentan un área no cortante para prevenir la formación de muescas en las paredes proximales y proteger los tejidos blandos subyacentes. Está técnica requiere un acabado posterior con discos giratorios finos o tiras manuales. Usar la refrigeración con aires o con agua es imperativo para no provocar irritación pulpar (75). Se recomienda empezar el procedimiento con una fresa de fisura 699L para realizar el reducción inicial. Posteriormente el empleo de una fresa de 100 micras de grano medio de diamante permitirá suavizar y contornear el diente. Se recomienda seguir el procedimiento con una fresa de diamante de 30 micras de grano fino para seguir suavizando la superficie. Finalmente, con una fresa de diamante de 15 micras de grano extra-fino se realizará el pulido final de la superficie(72).

6. EFECTOS ADVERSOS

6.1 RUGOSIDAD SUPERFICIAL

Los efectos adversos sobre el esmalte han sido tema de debate a lo largo de los años, debido a la producción de surcos iatrogénicos derivados por el desgaste. Dichos surcos, varían en profundidad, diámetro y forma en función de la técnica empleada (4). El uso de tiras diamantadas ha resultado ser más agresivas para el esmalte (50). Esta rugosidad superficial, promueve la adhesión bacteriana, estando significativamente asociada con la caries dental y con los desórdenes periodontales (4,31,76–79). Se ha visto que las tiras abrasivas producen unos surcos entre 10 y 25µm y que la seda dental no es capaz de remover la placa que se acumula en estos surcos tan pequeños (80). Este efecto adverso puede solventarse con un buen pulido al final de la técnica de stripping. Se ha demostrado que el pulido deja la superficie adamantina incluso más lisa que la superficie del esmalte natural (45,51,81).

6.2 SENSIBILIDAD DENTAL

La IPR puede llevar a sensibilidad dental (82). La temperatura media crítica que produce cambios en la cámara pulpar es de 5,5°C cuando el stripping se realiza con fresas de carburo de tungsteno a alta velocidad. El uso de tiras metálicas en molares y premolares parece ser el procedimiento más seguro. Para evitar la elevación de la temperatura pulpar se recomienda el enfriamiento con aire, ya que el spray de agua puede reducir la visibilidad (44).

7. TÉCNICAS DE MEDICIÓN

Desde la introducción del diseño y la fabricación asistida por ordenador en los años 80s, se han desarrollado nuevas técnicas y materiales en el campo de la odontología (83–85).

7.1 MICROSCOPÍA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM)

Un microscopio es un instrumento diseñado con el objetivo de poder visualizar objetos que el ojo humano por si solo no es capaz de distinguir. La técnica de microscopía electrónica de scanning o de barrido (SEM) se introdujo en 1965, permitiendo poder visualizar imágenes íntegras en 3 dimensiones. El escrito de Renau-Piqueras y Faura(86) explica detalladamente el funcionamiento del microscopio electrónico de barrido. Para el estudio de la muestra, se emiten los electrones a través de un cátodo de tungsteno y posteriormente pasan por una columna al vacío. El haz inicial, pasa por unas lentes electromagnéticas cuyo diámetro pasa de unos 25000-50000nm hasta unos 10nm aproximadamente, haciéndose este haz casi puntual. Al mismo tiempo, la corriente se reduce, disminuyendo la cantidad de electrones primarios. Finalmente, el haz electrónico se desplaza por encima de la muestra con unos movimientos de vaivén (barrido). La interacción entre el haz electrónico y la superficie es captada por un detector y posteriormente origina varios fotones que, a través de un cañón de luz, alcanzan un fotomultiplicador que, a su vez, crea fotoelectrones que dan origen a una gran cascada de electrones secundarios, produciendo una ampliación de la información de la muestra. Finalmente, los electrones secundarios pasan por un videoamplificador

proyectando la imagen en una pantalla. La técnica SEM tiene aplicaciones en el estudio de superficies, en biología y en el estudio de materiales, en cuanto permite realizar un análisis detallado cuantitativo de los componentes de la muestra(86).

7.2 ESCÁNERES

El cambio más emblemático en el campo de la odontología en los últimos años es, sin duda, el desarrollo de la odontología digital (87,88). Actualmente, es posible obtener un modelo numérico directamente a través de un escaneado sin tener que recurrir a materiales físicos y químicos (89). Su objetivo principal es registrar de forma precisa la geometría tridimensional de un objeto, aunque no existe una técnica de escaneo, escáner o tecnología que actualmente pueda considerarse unánimemente más precisa debido a la falta de procedimientos estandarizados y estudios en vivo comparables (90). En la práctica clínica, el uso de escáneres intraorales suponer muchas ventajas, entre las cuales una menor incomodidad y dolor del paciente durante la toma de impresiones, reducción de los errores del operador, reducción del riesgo de contaminación cruzada a no usar las cubetas, visualización en tiempo real de las imágenes escaneadas, escaneado selectivo, gestión y archivado de las imágenes escaneadas, análisis de los dientes y restauraciones en 3D, seguimiento virtual de los casos clínicos, color diente y de los tejidos blandos, comunicación visual con los pacientes/protésicos. No obstante, los escáneres intraorales presentan algunas limitaciones entre las cuales, su alto coste de inversión, entrenamiento del operador, requerimiento de campo seco ya que los fluidos orales pueden producir errores ópticos de refracción(91).

7.2.1 FUNCIONAMIENTO DE LOS ESCÁNERES

El funcionamiento de un escáner intraoral es sencillo (92). Los escaneados pueden ser directos o indirectos. Los primeros se realizan intraoralmente, mientras que los indirectos comprenden el uso de un escaneo láser o CT de las impresiones de alginato o de modelos (93). Todos los escáneres necesitan una cámara que emite una proyección luminosa que posteriormente será grabada como imagen o como video y será enviada al *software* tras el reconocimiento de los puntos de interés. Dos coordenadas (x y y) de cada punto son evaluadas en la imagen y posteriormente, una tercera coordenada (z) es calculada dependiendo de la distancia del objeto y de la tecnología de cada cámara (90). Respecto a la tecnología de la cámara, esta varía en función de la adquisición de la imagen, ya que existen diferentes sistemas de captura de la imagen (94):

- Triangulación: utiliza un rayo láser para escanear la superficie a grabar, un receptor y una cámara digital. Se producen líneas en las tres dimensiones del espacio que forman cientos de triángulos que finalmente forman una imagen tridimensional (3D) (94). A través de un detector se puede capturar la imagen en dos diferentes puntos en el tiempo (90).
- Proyección de franjas de luz (API): el escáner está equipado con filtros que proyectan un patrón de luz en franjas emitidas por un láser. Dichas franjas se deforman en la superficie del diente y de los tejidos blandos y escanean según variaciones en altura, tamaño y forma (94).

-Imagen por paralelismo confocal: su mecanismo se basa en la proyección de un rayo láser a través de un agujero de alfiler. El haz reflejado pasa por un cristal birrefractivo que se dirige hacia un sensor, eliminando la luz reflejada fuera del plano focal, registrando así solo los puntos que pertenecen al plano focal, formando corte tomográficos del objeto, que a su vez se corta en miles de puntos y forma una imagen 3D (94). Las áreas de nitidez se relacionan con la distancia focal de la lente (90). El área de nitidez está directamente relacionada con la destreza del operador que puede generar desenfoques de movimiento (95). Contrariamente a las técnicas anteriores, permite medir ángulos hasta 85° y escanear cavidades profundas (94).

-Video estereofotogramétrico: se basa en el principio de la visión binocular y requiere una fuente de luz blanca y un láser. Se utilizan además dos cámaras videos separadas para capturar la superficie escaneada (94). A través de los estereofotogramas se estiman todas las coordenadas (x,y,z) a través de un análisis algorítmico de las imágenes (96).

Independientemente del método de escaneado, las mediciones llevan a una captura 3D compuesta por una nube de puntos o patrón puntiforme que representan el objeto y su referencia en el espacio. Posteriormente, dicho objeto es digitalizado y reconstruido en una pantalla video (89). Una vez devuelto el haz luminoso, la cámara registra la imagen con un sensor fotográfico CCD o CMOS(97). El registro depende de la calidad intrínseca del sensor (nivel de sensibilidad determinado por el umbral después

de que la corriente eléctrica generada alcanza el haz luminoso) y el *software* de la cámara valida o invalida los puntos registrados (94). La mayor dificultad durante el escaneado es la cantidad de diferentes materiales que influyen la reflectividad. Este problema puede solventarse pulverizando las superficies con dióxido de titanio, teniendo cuidado en no pulverizar demasiado porque puede distorsionar el registro 3D (94).

7.2.2. ARCHIVOS DIGITALES

La introducción de las técnicas digitales presenta numerosas ventajas y entre ellas la posibilidad de visualizar los archivos 3D en cualquier momento, permitiendo realizar múltiples modificaciones y la simulación en diferentes situaciones (98). El formato digital más empleado es el STL (*Standard Tessellation Language*). Este formato, describe una sucesión de superficies trianguladas donde cada triángulo está definido por tres puntos en una superficie (90). También existen otros formatos digitales desarrollados para registrar los colores, transparencias o textura de los tejidos dentales, como los archivos PLY (*Polygon File Format*) (90). El *software* puede generar archivos de diferentes densidades de malla. Sin embargo, un alta densidad de malla para todo el diente no es relevante debido al alto tiempo de computación involucrado. Algunos archivos incorporan una malla de rutina en las zonas planas y una malla más densa para las superficies curvas (90). Los datos adquiridos por el escáner intraorales, CT, CBCT y superficies extraorales pueden ser fusionadas (99–101).

7.2.2 VERACIDAD, PRECISIÓN Y EXACTITUD

La norma ISO 5725 (1994) referente a la exactitud de los resultados y de los métodos de medición define el término precisión como la cercanía entre los resultados de la prueba y la veracidad como la cercanía del acuerdo entre la media aritmética de un gran número de resultados de la prueba y el valor de referencia verdadero o aceptado (102). En resumen, la veracidad indica la desviación de la medición al objeto real, mientras que la precisión describe la cercanía de medición entre mediciones repetidas (99,103). El grado más alto de precisión es representado por la mayor similitud entre diferentes medidas (104). Comparando con la precisión, la veracidad es más difícil de conseguir porque requiere las dimensiones reales del objeto y una geometría sencilla (98).

Para valorar la exactitud de los escáneres intraorales existen dos métodos: la medición de la distancia lineal (2D) y la alineación mejor ajustada (3D) (83). El método de medición de la distancia lineal es la forma más sencilla para valorar la exactitud, pero este método es útil solo para determinadas formas geométricas, ya que a veces no existen puntos claros de referencia y, por lo tanto, las mediciones no son repetibles (105). Para remediar a estos errores, se pasó a analizar la exactitud 3D. Se utilizan programas que permiten un algoritmo de ajuste que superpone y compara las discrepancias que existen entre los datos tridimensionales (106,107). Los factores que influyen en la exactitud de escaneado son la técnica, los errores relacionados con la técnica, el movimiento de la mano durante el proceso de escaneado, los dientes, la saliva, las estructuras adyacentes, la presencia de sangre, el reflejo de luz, el tiempo transcurrido entre mediciones, el ambiente intraoral, el tipo de material empleado

durante el escaneado, las sombras y las limitaciones espaciales (90,108). Los métodos de escaneado y de medición también varía en función del fabricante que recomiendan estar muy cerca del diente o a una determinada distancia. Se ha demostrado que la distancia entre el objeto escaneado y el escáner es determinante para una correcta exactitud (83).

Las cámaras intraorales están en constante evolución, eso implica una evaluación de su precisión y comportamiento frente a diferentes materiales y a la nueva tecnología, presentado cada sistema de escaneado diferentes niveles de veracidad y precisión. Muchos estudios han investigado la exactitud entre varios tipos de escáneres- Se han comparado los parámetros entre las impresiones convencionales y digitales (106,107,109) y también los parámetros entre los escáneres intra y extraorales (108,110). Los escáneres intraorales presentan menores desviaciones comparados con los escáneres extraorales (111). La precisión del escáner intraoral depende de la distancia y de la angulación respecto al objeto escaneado, la precisión disminuye al aumentar la distancia. Por otra parte, la precisión de los escáneres extraorales de laboratorio es independiente de la distancia con el objeto escaneado (99). A pesar de que existen diferencias en exactitud y veracidad entre los escáneres intra y extraorales, estas diferencias siguen siendo aceptables para su uso clínico (93,111,112).

7.3 MICROSCOPIA DE FUERZAS ATÓMICAS

Desde los años 80's la microscopia de fuerzas atómicas (AFM) proporciona imágenes 3D en alta resolución en tiempo real determinando las propiedades físicas de los materiales tal como, viscoelasticidad, fuerza eléctrica y fuerza magnética (113). La

AFM permite estudiar las superficies de materiales biológicos a escala nanométrica y permite obtener imágenes de elevada resolución de la topografía de la muestra (114). En la tecnología actual, la AFM es el sistema más económico para conocer la resolución atómica de los materiales y además requiere una mínima preparación de la muestra. Sin embargo, la elección para los parámetros de medida para la muestra es esencial, en cuanto tiene relación con la calidad de resolución espacial atómica de la imagen obtenida (115). La AFM emplea una punta radio de curvatura entre 20 y 60nm que se localiza al final de un cantiléver. Para monitorear la muestra, se produce una deflexión del cantiléver debido a las fuerzas (Van der Waals) producidas entre la punta y la superficie de la muestra (113).

Ha habido dudas sobre la precisión de la AFM en la medición de la rugosidad de la superficie del esmalte, cuando el cono de la banda es más ancho que los canales de esmalte (116).

7.4 PROFILOMETRÍA Y RUGOSIMETRÍA

El perfilómetro o rugosímetro es el equipo más utilizado en la industria para medir la rugosidad. Se compone por una punta fina que realiza un barrido controlado en línea recta en contacto con la superficie registrando las variaciones de altura. Normalmente, el perfilómetro permite estudiar longitudes de muestras de algunos cm con una resolución micrométrica (117). Los parámetros que la rugosimetría nos permite estudiar son: RT (profundidad de rugosidad máxima), RZ (profundidad media de la rugosidad), RM (rugosidad de máxima profundidad en la determinación de RZ) y RA (valor de la media aritmética de la rugosidad eliminando las sinuosidades) (118).

La rugosimetría, tal como la profilometría y la AFM proporcionan unos datos numéricos 3D de la rugosidad superficial para su consecuente evaluación. Por el contrario, la técnica SEM proporciona información en 2D y requiere el uso de índices para su análisis estadístico (119).

JUSTIFICACIÓN

La reducción de esmalte interproximal es una técnica clínica frecuentemente empleada en ortodoncia para ganar espacio en la arcada con el fin de evitar extracciones terapéuticas y poder conseguir una correcta alineación dental en casos de apiñamiento leve o moderado.

Las complicaciones clínicas del stripping y su efecto en el esmalte dental han sido objeto numerosos estudios a lo largo de los años. La cantidad de esmalte removido es un factor a tener en cuenta para conseguir el éxito del tratamiento, ya que una remoción excesiva puede causar daños irreversibles al esmalte dental.

Técnicas de laboratorio tales como AFM, SEM, profilometría y rugosimetría han permitido el estudio del esmalte tras la reducción de esmalte interproximal *in vitro*. El empleo de escáneres intraorales a la práctica clínica han sido un gran avance en la odontología moderna en cuanto nos permite obtener un archivo digital exacto de las medidas del paciente. Con este estudio se pretende desarrollar un nuevo método de medición para cuantificar el área y el volumen de esmalte removido tras la reducción de esmalte interproximal *in vitro* a través del empleo de un escáner intraoral. En un futuro esta técnica de medición podría emplearse en la práctica clínica para poder predecir tanto las consecuencias de la reducción interproximal realizada como el éxito del tratamiento.

OBJETIVOS

PRINCIPAL

El objetivo principal de este estudio es desarrollar una nueva técnica de medición para medir el esmalte removido tras la reducción de esmalte interproximal.

SECUNDARIO

Los objetivos secundarios de este estudio son:

1. Medir el área de esmalte removido tras la reducción de esmalte interproximal
2. Medir el volumen de esmalte removido tras la reducción de esmalte interproximal
3. Valorar la precisión y la reproducibilidad de esta nueva técnica

MATERIAL Y MÉTODOS

DISEÑO DEL ESTUDIO

Esta investigación se describe como un estudio experimental y comparativo en *in vitro*. El estudio se realizó en la Clínica Odontológica de la Facultad de Medicina de la Universidad de Salamanca (Salamanca, España) y el Clínica Odontológica de Innovación y Especialidades Avanzadas de la Universidad Alfonso X El Sabio (Madrid, España) entre enero y marzo de 2021. Este estudio se llevó a cabo de acuerdo con los principios definidos en la declaración del Comité de Ética Alemán para el uso de tejidos orgánicos en la investigación médica (Zentrale Ethikkommission, 2003) y fue autorizado por el Comité de Ética de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Alfonso X el Sabio en diciembre de 2020 (Nº. 27/2020). Los pacientes dieron su consentimiento para proporcionar los dientes necesarios para el estudio.

SELECCIÓN DE LA MUESTRA

Antes de comenzar el estudio se establecieron los criterios que definieron la selección de la muestra.

CRITERIOS DE INCLUSIÓN

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

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

TAMAÑO MUESTRAL

Se seleccionaron 14 dientes inferiores representativos de todos los grupos dentarios.

PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS

Se desarrolla una nueva técnica para cuantificar el área y el volumen de esmalte removido tras realizar la reducción de esmalte interproximal. Por ello, se empleó un modelo de resina epóxica (Ref.:20-8130-128 Epoxicure®, Buehler, IL, USA) en el cual se colocaron 14 dientes inferiores, extraídos por motivos ortodónticos o periodontales, para representar todos los sectores dentales. Posteriormente, el modelo fue escaneado por un escáner intraoral (True Definition, 3M ESPE™, Saint Paul, MN, USA),

obteniendo el primer archivo digital (STL-1) (Figura 1a). A continuación, se realizó la reducción de esmalte interproximal de 0,2mm (Ref.: 060B, Orthostrips System, Intensiv Dental, Montagnola, Switzerland), seguido por el recontorneado y pulido de la superficie (Softflex System, 3M ESPE™, Saint Paul, MN, USA) y Komet ASR-Set (Komet Medical, Lemgo, Germany). Tras el stripping, se procedió con el segundo escaneado (STL-2) (Figura 1b).

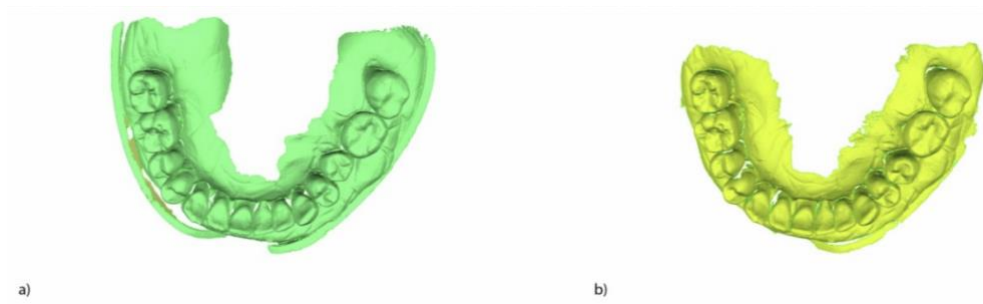


Figura 1 a) Vista oclusal del archivo STL del modelo experimental antes y b) después de la reducción interproximal de esmalte e 0,2mm.

Los escaneados preoperatorios (Figura 2a) y postoperatorios (Figura 2b) fueron secuencialmente segmentados, alineados y comparados por un programa morfométrico (3D Geomagic Capture Wrap, 3D System©, Rock Hill, SC, USA).

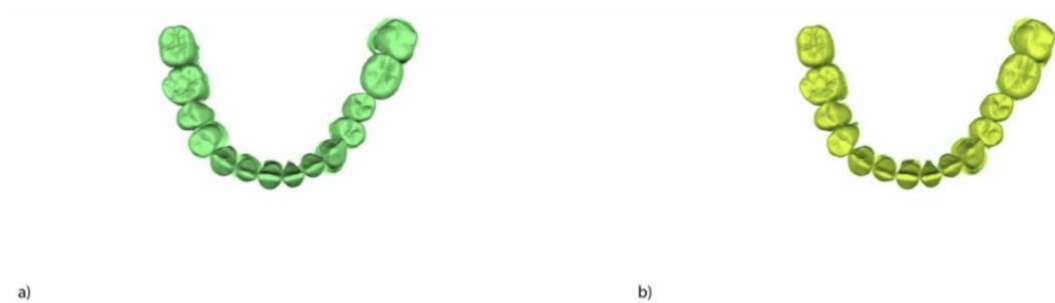


Figura 2 a) Vista oclusal preoperatoria de los dientes del modelo experimental segmentados y b) postoperatoria.

A continuación, se superpusieron los dientes segmentados pre y postoperatorios usando como referencia la superficie vestibular, oclusal y lingual que no se han alterado durante el proceso (Figura 3a y b).

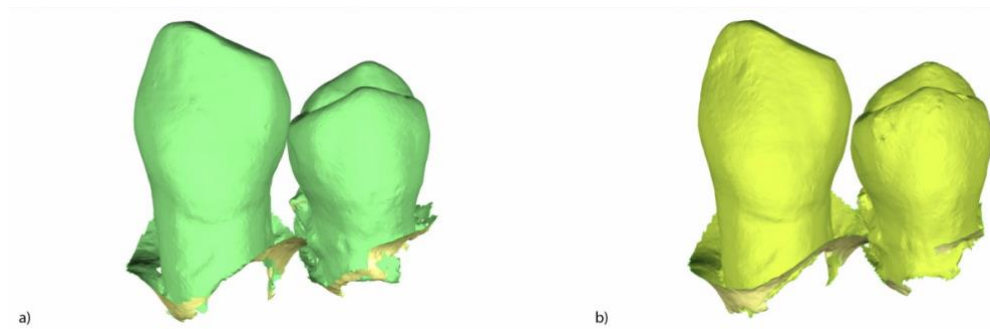


Figura 3 a) Vista vestibular preoperatoria de los dientes 33 y 34 individualmente segmentados y b) postoperatoria.

Para llevar a cabo el proceso de medición, se midió el área de esmalte de la superficie interproximal donde se llevó a cabo el IPR, excluyendo las superficies distales de los dientes 37 y 47, comparando los límites preoperatorios (Figura 4a y b) y postoperatorios (Figura 4c y d).

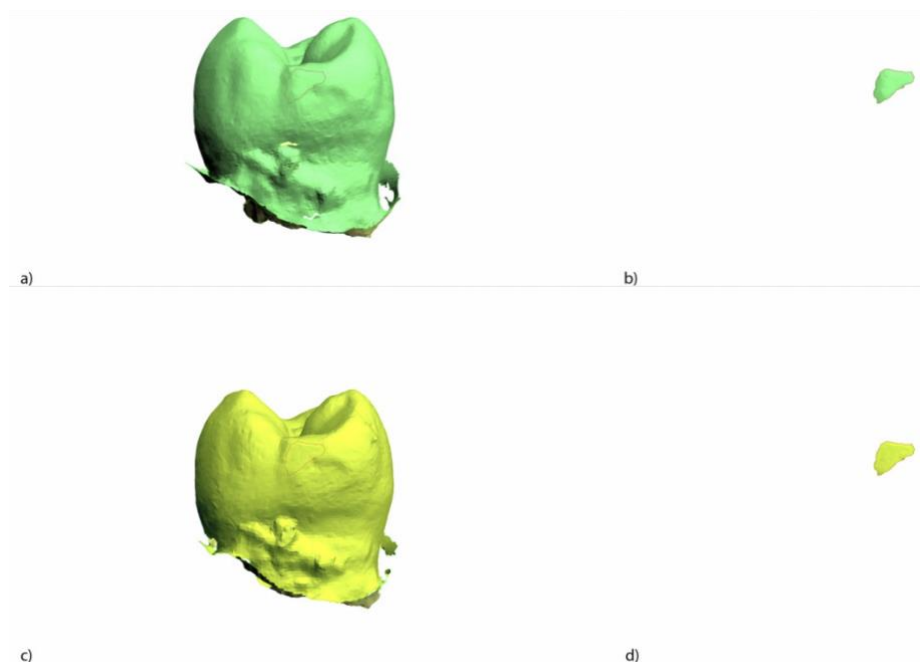


Figura 4 a) Vista preoperatoria del diente 34 individualmente segmentado b) Área aislada del esmalte interproximal sometido a reducción c) Vista postoperatoria del diente 34 individualmente segmentado d) Área aislada del esmalte interproximal sometido a reducción.

El volumen del esmalte removido fue medido aislando los archivos STL preoperatorio (Figura 5a) y postoperatorio (Figura 5b) del esmalte eliminado. La red de tesela del área seleccionada del esmalte removido en el preoperatorio se volteó para obtener un polígono cerrado que permitió obtener el volumen del esmalte eliminado durante el proceso de reducción.

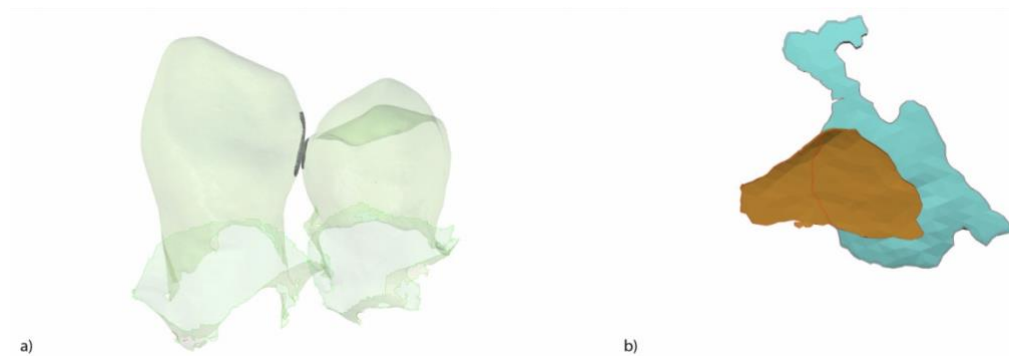


Figura 5 a) Vista interproximal preoperatoria y postoperatoria de los dientes 33 y 34 segmentados y alineados b) malla digital del esmalte removido en la superficie distal interproximal del diente 33 (azul) y de la superficie mesial del diente 34 (marrón).

Posteriormente, la malla de esmalte removido de las superficies mesial y distal (Figura 6a) se alinearon perpendicularmente al eje “X” (Figura 6b).

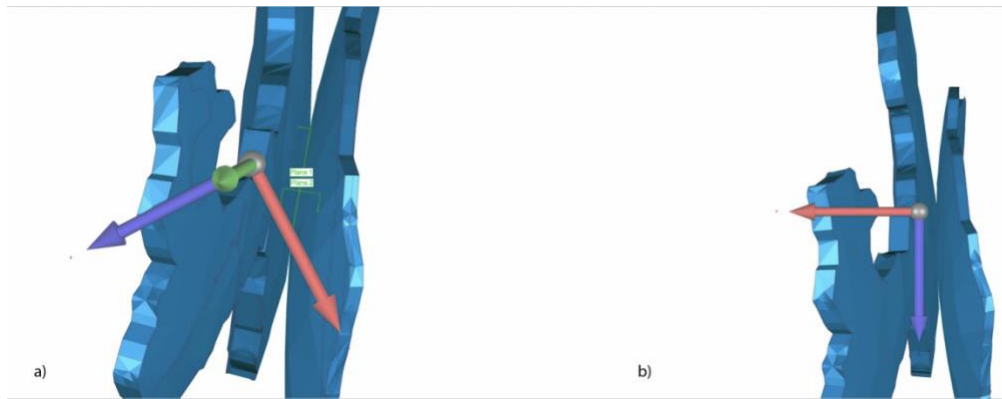


Figura 6 a) Punto de contacto entre la superficie interproximal mesial y distal antes y b) después de ser alineado perpendicularmente al eje “X”.

Finalmente, se colocaron 10 puntos en la malla de la superficie donde se realizó el IPR del diente anterior (Figura 7a) y se trazaron 10 líneas paralelas al eje “X” que fueron proyectadas (Figura 7b) a la malla de reducción interproximal del diente posterior (Figura 7c). Estos 10 nuevos puntos se crearon en la intersección de las líneas y la malla de superficie interproximal reducida del diente posterior, creando a su vez 10 pares de puntos para obtener el valor de reducción interproximal entre los dientes adyacentes.

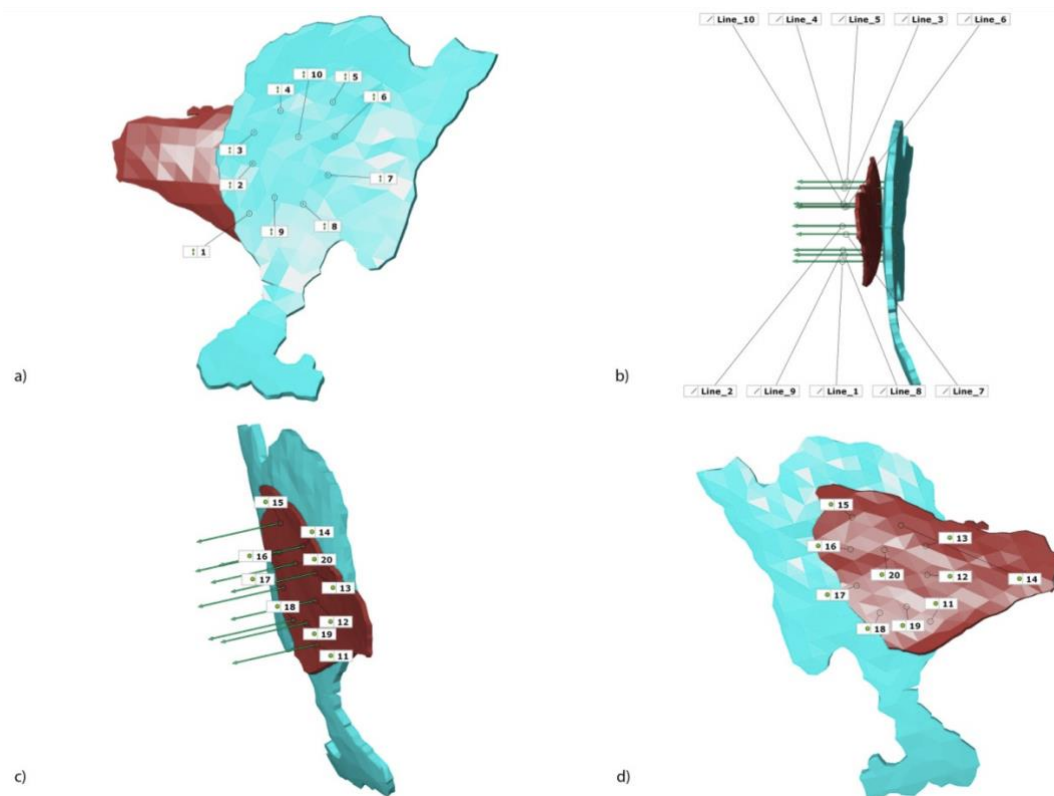


Figura 7 a) Puntos distribuidos al azar en la malla de la superficie interproximal del diente anterior b) líneas proyectadas al diente posterior c) puntos proyectados en la superficie interproximal reducida del diente posterior d) puntos en la superficie distal interproximal reducida de la malla del diente posterior.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico de las variables de medición se realizó mediante SAS 9.4 (SAS Institute Inc., Cary; NC, EE. UU.). Las estadísticas descriptivas se expresaron como valores de media y desviación estándar para las variables cuantitativas. El análisis comparativo se realizó comparando los valores de desviación media entre los archivos digitales STL en área y volumen utilizando la prueba t de Student, ya que las variables tenían una distribución normal. La significancia estadística se estableció en $p < 0.05$. Además, se realizó el análisis estadístico Gage R&R con el fin de analizar la repetibilidad y reproducibilidad de esta técnica de medición.

RESULTADOS

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

Los resultados de la desviación estándar (DS= obtenidos respecto al área removida en la superficie mesial y distal de la muestra se reflejan en la Tabla 1.

Superficie	<i>n</i>	Media	Mediana	DS	Min.	Máx.
Mesial	14	2,97	3,05	1,78	1,17	6,86
Distal	12	3,53	3,08	2,25	1,47	9,55

Tabla 1. Análisis descriptivo del área en mm² del esmalte removido tras el stripping en las superficies mesiales y distales de los archivos STL.

Al analizar los valores, se observa como en las superficies distales se ha producido una mayor área de desgaste de esmalte interproximal ($3,55 \pm 3,08 \text{ mm}^2$) respecto a las superficies mesiales ($2,97 \pm 3,05 \text{ mm}^2$). El *test-t* no ha demostrado diferencias estadísticamente significativas en relación al área de esmalte removido en las superficies mesial y distal ($p=0,529$).

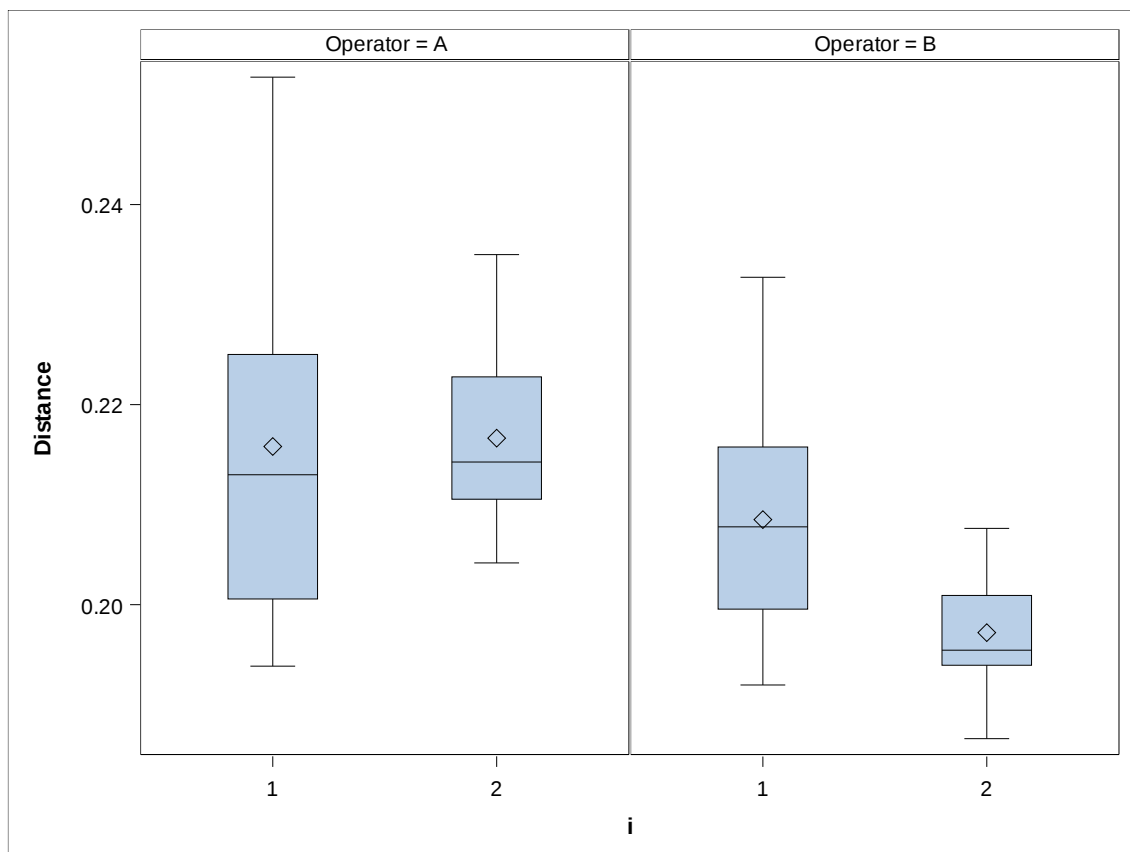
Los resultados de la DS obtenidos en relación al volumen de esmalte removido en las superficies mesial y distal de los archivos STL se reflejan en la Tabla 2.

Superficie	<i>n</i>	Media	Mediana	DS	Min.	Máx.
Mesial	14	0,22	0,16	0,22	0,02	0,85
Distal	12	0,32	0,22	0,31	0,04	1,16

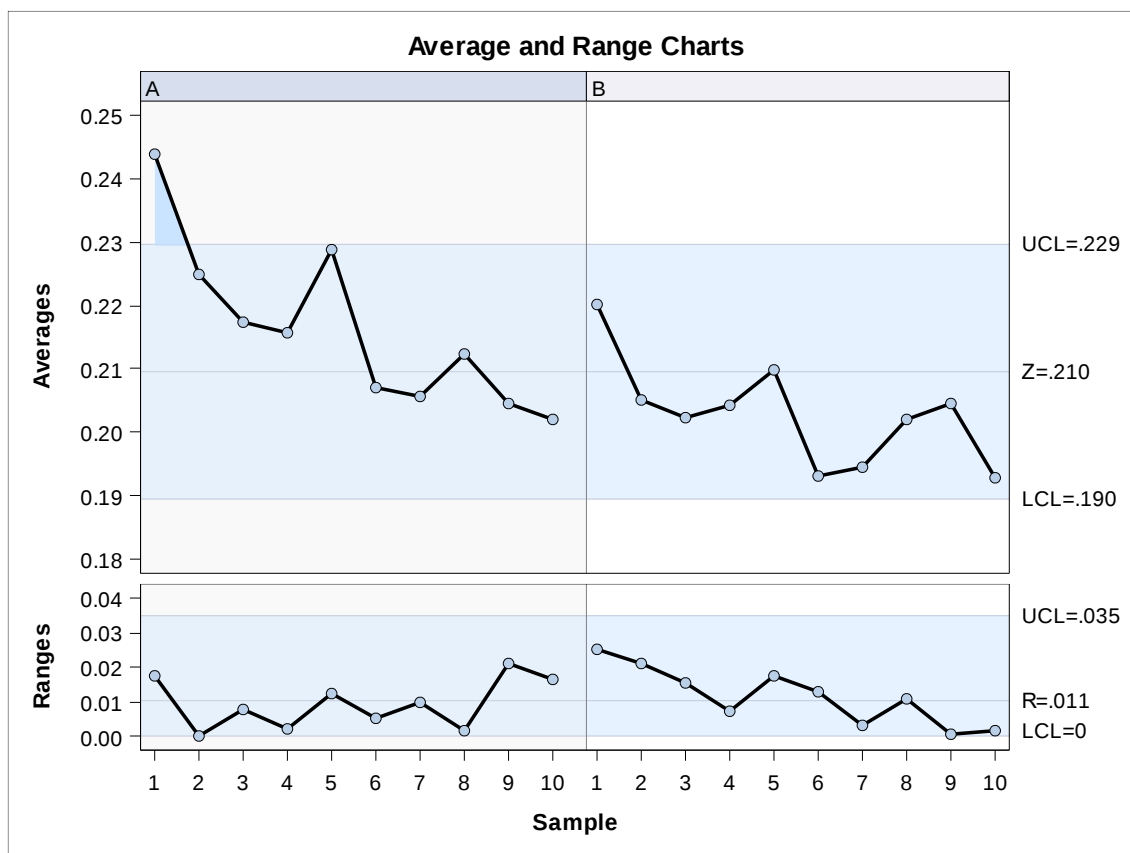
Tabla 2. Análisis descriptivo del volumen en mm³ del esmalte removido tras el stripping en las superficies mesiales y distales de los archivos STL.

El volumen removido tras el desgaste interproximal es mayor en la superficies distales ($0,32 \pm 0,22 \text{ mm}^3$) que las superficies mesiales ($0,22 \pm 0,16 \text{ mm}^3$). El *test-t* no ha demostrado diferencias estadísticamente significativas en relación al volumen de esmalte removido en las superficies mesial y distal ($p=0,430$).

Analysis Variable : Trial Distance						
			Std		Minimu	Maximu
Operator	i	N	Mean	Dev	m	m
A	1	10	0.216	0.019	0.194	0.253
	2	10	0.217	0.009	0.204	0.235
B	1	10	0.209	0.012	0.192	0.233
	2	10	0.197	0.006	0.187	0.208



ANÁLISIS GAGE R&R



En el primer gráfico (Averages) podemos observar que las mediciones del operador A son más elevadas que las del operador B, y que la variabilidad entre las mediciones de los dos operadores es similar.

En el segundo gráfico podemos observar que todos los valores están dentro de los límites de confianza.

Comparación de medias:

Source	DF	Type III SS	Mean	F	P-Value	
			Square	Value		
Operator	1	0.00179	0.001789	11.46	0.002	*
Réplica	1	0.00027	0.00027	1.75	0.194	

Se observan diferencias estadísticamente significativas entre operadores.

Comparación de variabilidad:

Source	DF	Type III SS	Mean	F	P-Value
			Square	Value	
Operator	1	6.061E-8	6.061E-8	0.87	0.3571
Error	38	2.65E-6	6.974E-8		

La variabilidad es homogénea entre operadores.

RR Analysis Table		
Upper-Range Limit Check		Not Exceeded
Number of Samples		10
Number of Observers		2
Number of Replications		2
Estimated PE Variance		0.000088
Estimated O Variance		0.000085
Estimated E Variance		0.000173
Estimated P Variance		0.000122
Estimated X Variance		0.000295
Repeatability	Proportion	of 0.29971
Variation		

RR Analysis Table			
Reproducibility	Proportion	of	0.28815
Variation			
Combined	RR	Proportion	of 0.58786
Variation			
Probable Error			0.006348
Intraclass Correlation			0.4121
System Classification			Third Class
Measurement Increment			1E-6
Measurement Increment Action			May add a digit

DISCUSIÓN

Existen diferentes técnicas, tanto manuales como motorizadas, para realizar la IPR (39,46,48,71). A lo largo de los años muchos estudios han valorado los distintos cambios en el esmalte como consecuencia del IPR(30,50,52,120).

Johner *et al.*(120) investigaron la predictibilidad de la cantidad esperada de stripping usando tres diferentes técnicas . Por ello, se emplearon 180 dientes repartidos aleatoriamente en 3 grupos y se realizó una reducción de 0,1mm, 0,2mm, 0,3mm y 0,4mm. Para las mediciones los dientes fueron escaneados antes y después del stripping. Los autores observaron que la diferencia entre la cantidad de stripping intencional y la cantidad de esmalte realmente reducido. Esta fue menor (0,07mm) en las tiras manuales al intentar reducir 0,1mm y 0,4mm. Respecto a los discos oscilantes se obtuvo menor cantidad de stripping a 0,2mm, 0,3mm y 0,4mm, siendo la reducción real realizada de 0,13mm, 0,27mm y 0,30mm respectivamente. El uso de tiras abrasivas mecanizadas también fue inferior (0,38mm) respecto a la cantidad de stripping planificado a 0,4mm. Los autores concluyeron que la técnica de reducción interproximal de esmalte empleada no es un factor predictor de la cantidad reducida realmente por el IPR.

Grippaudo *et al.*(30) valoraron los cambios morfológicos y las irregularidades superficiales derivadas de diferentes métodos de stripping tanto mecánico como químico comparados con el grupo control definido por superficie de esmalte en condiciones normales casi lisas. A través del análisis por SEM tras la reducción interproximal por tiras de pulir se visualizó la superficie del esmalte notablemente modificada por surcos profundos, esta profundidad se vio aumentada realizando el stripping con fresas de diamante. Tras pulir las superficies disminuyó el número de

ranuras y la profundidad de los surcos, dejando la superficie más plana y redondeada. Al aplicar el ácido ortofosfórico al 37% para realizar el stripping químico y posteriormente pasando las tiras se observó en las imágenes del SEM que el ácido produce un mayor aplanamiento de la ranura, pero deja la superficie porosa e irregular, por otra parte, el uso de fresa tras la aplicación del ácido ortofosfórico al 37% se nota un cambio drástico en la superficie del esmalte a pesar de que disminuyan las ranuras. Al pulir la superficie tras el stripping químico se observó una mejor en las superficies tratadas con tiras, no obstante, esta permanecía irregular. Por otra parte, el pulido químico tras el uso de la fresa de stripping y seguida por el pulido no permitió observar cambios en la superficie ya que la acción combinada de la fresa y del ácido es totalmente destructiva para el esmalte.

Kaaoura *et al.*(50) analizaron *in vivo* macro y microscópicamente los efectos derivados de la reducción de esmalte interproximal. El análisis macroscópico fue llevado a cabo con lentes amplificadoras y se demostró como el stripping realizado por tiras abrasivas de diamante estándar y con el sistema mecánico Intensive Ortho Strips fue perfectamente centrado a la superficie que se quería reducir, sin embargo, la reducción realizada por fresas abrasivas de diferentes granos y por discos de diamante montados en micromotor fueron ligeramente desplazados, respectando en menor medida la anatomía del diente. Por otra parte, el análisis microscópico llevado a cabo por la técnica de SEM demuestra la abrasividad de las tiras, en cuantos dejan ranuras anchas y profundas en la superficie de aproximadamente 15µm. El número de ranuras disminuyó en aquellas superficies donde el stripping fue realizado con fresas abrasivas de diferentes granos, dejando una profundidad de aproximadamente 10µm, aunque las ranuras no tenían la misma dirección.

Mikulewicz *et al.*(121) realizaron una investigación *in vitro* aplicando la técnica de SEM y de profilometría para valorar la superficie del esmalte tras el air-rotor stripping. La rugosidad superficial aumentó en todos los parámetros estudiados, siendo Sa $1,06\mu m \pm 0,119\mu m$ antes del IPR y $1,24\mu m \pm 0,91\mu m$ tras el IPR, el valor Sq fue $1,37\mu m \pm 0,35\mu m$ antes del IPR y de $1,70\mu m \pm 1,09\mu m$ después del IPR. Finalmente, el valor St fue $11,27\mu m \pm 7,55\mu m$ antes del IPR y $13,67\mu m \pm 7,20\mu m$ después del IPR.

A lo largo de los años, se han analizado los efectos del pulido respecto a la rugosidad superficial y a la desmineralización el esmalte. Ya en 1996, Piacentini *et al.*(52) compararon diferentes métodos de pulido tras la realización de la técnica de stripping de rotor de aire. A través de la técnica SEM estudiaron diferentes técnicas de pulido. Los autores observaron que el uso de las fresas de tungsteno de 16 hojas seguidas por un pulido realizado con fresas de diamante de grano fino y ultrafino dejaban ranuras irregulares uniformemente distribuidas por la superficie, por otra parte, empleando fresas de diamante para realizar el stripping, las ranuras tras el pulido fueron profundas, irregulares y cruzadas uniformemente a lo largo de la superficie tratada. Otro de los métodos de pulido estudiado fue el pulido realizado por discos de pulir de grano medio, fino y ultrafino. La combinación de este tipo de pulido combinado con el uso de discos oscilantes para realizar la reducción interproximal dejó la superficie adamantina suave, aunque se seguía notando el rastro de las rugosidades dejadas por los discos diamantados. Por otra parte, el empleo de fresa de carburo de tungsteno o de diamante dejaron rugosidades de diferentes profundidades a lo largo de toda la superficie que se seguían apreciando a pesar del pulido. La combinación de pulido con discos de grano fino y ultrafino tras el stripping con fresa de carburo de tungsteno dejó la superficie del

esmalte sutilmente rugosa y no se podían apreciar las rugosidades y las ranuras, aunque la superficie del esmalte presentaba pequeños surcos alternados a zonas totalmente pulidas. Finalmente, el último grupo estudiado fue el combinar fresa de carburo de tungsteno con ácido ortofosfórico al 37%. Se observó como las rugosidades desaparecieron casi por completo y fue posible apreciar los prismas de esmalte.

Un estudio más reciente publicado en 2017 por Bhambri *et al.*(122) se ocupó de comparar con la técnica SEM diferentes técnicas de stripping y de pulido. Por ellos, se repartieron 98 dientes libres de caries en 7 grupos de 14 dientes cada uno, siendo el grupo A el grupo control, el grupo B en el cual se realizó IPR con fresa de carburo de tungsteno de 16 hojas y se pulió con discos Soft-Lex, en el grupo C se realizó el stripping con la misma fresa que el grupo B pero se el pulido se realizó con una fresa de diamante de grano fino, en el grupo D se redujo la superficie interproximal con fresas de diamante y se pulió con discos Soft-Lex, para el grupo E el stripping se realizó con discos diamantados y la superficie se pulió posteriormente con fresas de diamante de grano fino, en el grupo F se emplearon tiras de metal diamantadas para reducir la superficie y posteriormente discos Soft-Lex. Finalmente, en el grupo G se usaron también tiras metálicas diamantadas pero el pulido se realizó con fresas de diamante de grano fino. En todos los grupos el stripping se realizó con refrigeración con agua y se eliminaron 0,3mm de superficie interproximal que posteriormente fue seguido por 20 segundos de pulido. El análisis superficial del esmalte tras el stripping y el pulido evidenció cambios en la rugosidad de la superficie, siendo la rugosidad superficial del grupo A de $2,39 \pm 0,728 \mu\text{m}$ caracterizada por una superficie no totalmente lisas con pequeños surcos e irregularidades a lo largo de toda la superficie, en el grupo B fue de $3,33 \pm 0,586 \mu\text{m}$ teniendo la superficie pequeños surcos intercalados con área más

rugosas. El grupo C obtuvo una rugosidad superficial de $3,86 \pm 0,504 \mu\text{m}$ con surcos profundos irregulares a lo largo de toda la superficie, intercalados con áreas especialmente rugosas. El grupo D evidenció una rugosidad superficial de $2,56 \pm 0,710 \mu\text{m}$ siendo su superficie ligeramente rugosa. El grupo E con una rugosidad superficial de $3,42 \pm 0,500 \mu\text{m}$ presentó una superficie rugosa con surcos de diferentes profundidades. El grupo F cuya rugosidad superficial fue de $1,58 \pm 0,500 \mu\text{m}$ presentó una superficie razonablemente lisa con pequeños surcos intercalados con áreas muy bien pulidas. Finalmente, el grupo G, evidenció una rugosidad superficial de $2,69 \pm 0,504 \mu\text{m}$ siendo la superficie caracterizada por finos surcos distribuidos a lo largo de toda la superficie, intercalada con áreas suaves.

En términos de rugosidad, se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre el grupo los grupos B y C comparados con los grupo A,D,F y G, demostrando como los discos Soft-Lex dejan la superficie mejor pulida respecto a las fresas de diamante de grano fino. El grupo D comparado con los grupos B,C,E dejó la superficie más lisa, pero si comparado con el grupo F se pudo observar una superficie más rugosa en el grupo D. El grupo F, comparado con todos los grupos dejó la superficie más lisa y regular, incluso más que el grupo control. Todos estos resultados fueron estadísticamente significativos. Los autores concluyeron que las superficies más suaves tras el stripping y el pulido se obtuvieron empleando tiras metálicas seguidas por discos Soft-Lex, siendo los discos más eficiente que las fresas de diamante de grano fino para las superficies sometidas a stripping.

El uso de barniz de flúor o adhesivo puede proteger la superficie sometida a stripping del acumulación de placa y puede reducir el riesgo de caries tal como demostraron Agrawal *et al.*(123) en su estudio. Los investigadores analizaron, con

imágenes obtenidas a través de la técnica SEM, la rugosidad superficial interproximal tras aplicar a la superficie barniz de flúor o adhesivo. Por ello, emplearon 30 dientes repartidos en 6 grupos. En el grupo I se emplearon tiras metálicas para realizar el stripping mientras que en el grupo II se utilizó una fresa de carburo de tungsteno. Al grupo III (tiras metálicas) y IV (fresa de carburo de tungsteno) se añadió a la superficie adhesivo sin grabado previo encima de la superficie sobre la cual se hizo el stripping. Finalmente, en el grupo V (tiras metálicas) y VI (fresa de carburo de tungsteno) se aplicó barniz de flúor a la superficie. Al analizar las imágenes obtenidas por SEM, los autores visualizaron en el grupo I una superficie con surcos uniformes, en el grupo II la superficie se caracterizó por pequeños surcos intercalados con áreas rugosas, en el grupo III. Y IV la superficie presentó una pequeña capa de adhesivo sobre la superficie trabajada. Finalmente, en los grupo V y VI, la superficie rugosa estaba totalmente cubierta por una capa uniforme de barniz de flúor. Los autores concluyeron que el empleo de barniz de flúor es esencial para proteger la superficie sometida al stripping.

La aplicación de barniz de flúor y de selladores ha sido recomendada durante mucho tiempo para hacer frente a las complicaciones clínicas derivadas del stripping. Giulio *et al.*(62) quisieron estudiar el efecto del fosfopéptido de caseína fosfato de calcio amorfo (CPP-ACP) sobre esmalte sano y esmalte sometido a IPR y posteriormente expuestos a una solución ácida. Por ello, los investigadores emplearon 15 incisivos inferiores permanentes. 7 incisivos fueron sometidos a stripping tanto en la superficie mesial como en la superficies distal, mientras que los 8 dientes restantes fueron sometidos al IPR solo en la superficie mesial, siendo la superficie distal la superficie control. Tras realizar la reducción interproximal, los incisivos fueron divididos en dos a lo largo del eje mayor de diente, obteniendo así 30 porciones de

dientes (22 con IPR y 8 control). Posteriormente, las porciones dentales obtenidas se dividieron en diferentes grupo de estudio. El grupo A se utilizó como grupo control, siendo el grupo A1 compuesto por dos superficies de esmalte intacto y el grupo A2 compuesto por dos superficies dentales con IPR. Por otra parte, el grupo B se caracterizó por la aplicación de CPP-ACP a las porciones de dientes, siendo el grupo B1 compuesto por 6 superficies control y el grupo B2 por 20 porciones de diente con reducción interproximal. Todas las muestras fueron sometidas a una solución desmineralizante. A través de las imágenes SEM, los autores pudieron observar como en el grupo A1 existía un patrón de desmineralización y disolución tisular, aunque los primas de esmalte aún presentaban márgenes bien definidos. En el grupo A2, los prismas de esmalte se vieron severamente afectados, observando grandes patrones de desmineralización. Por otra parte, el grupo B1 mostró como las áreas interprismáticas permanecieron prácticamente intactas y se observó una ligera pérdida tisular y los primas de esmalte no estaban claramente definidos. Finalmente, el grupo B2 evidenció una ligera disolución de la parte axial de los prismas y se observó un menor patrón de desmineralización. Los autores concluyeron que el esmalte sometido a IPR es más susceptible al proceso de desmineralización y que la aplicación tópica de CPP-ACP puede ser beneficiosa para promover la remineralización del esmalte.

La IPR puede llevar a sensibilidad dental (82), por tal razón, diferentes investigaciones se han centrado en el aumento de la temperatura pulpar tras la reducción de esmalte interproximal.

Baysal *et al.*(44) estudiaron el aumento de la temperatura pulpar en diferentes dientes y con diferentes técnicas des stripping. Se observó un aumento de la temperatura

pulpar en todos los grupo estudiados. Las tiras metálicas de pulir produjeron un aumento de temperatura pulpar de $1,21 \pm 1,48^{\circ}\text{C}$ en incisivos, $1,03 \pm 1,30^{\circ}\text{C}$ en caninos y $-0,18 \pm 0,97^{\circ}\text{C}$ en premolares. Por otra parte, el aumento de la temperatura pulpar obtenido por los discos perforados oscilantes fue de $2,37 \pm 1,31^{\circ}\text{C}$ en incisivos, $2,51 \pm 1,25^{\circ}\text{C}$ en caninos y de $3,84 \pm 2,21^{\circ}\text{C}$ en premolares. Finalmente, le uso de fresa de carburo de tungsteno en incisivos produjo un aumento de temperatura de $5,63 \pm 1,73^{\circ}\text{C}$, de $3,22 \pm 1,70^{\circ}\text{C}$ en caninos y de $3,65 \pm 1,67^{\circ}\text{C}$ en premolares. Los autores concluyeron que la temperatura supera el nivel crítico de $5,5^{\circ}\text{C}$ en incisivos reducidos interproximalmente con fresas de carburo de tungsteno y que el uso de tiras metálicas en premolares es el método más seguro.

Pereira *et al.*(124) valoraron el aumento de la temperatura pulpar empelando discos oscilantes y tiras de pulir. El uso de los discos oscilantes produjo un aumento de temperatura de $2,58^{\circ}\text{C}$ en incisivos, de $2,64^{\circ}\text{C}$ en premolares y de $2,48^{\circ}\text{C}$ en molares. Por otra parte, las tiras manuales desencadenaron un aumento de la temperatura pulpar de $1,24^{\circ}\text{C}$ en incisivos, de $0,96^{\circ}\text{C}$ en premolares y de $0,92^{\circ}\text{C}$ en molares.

Sehgal *et al.*(125) investigaron fresas de diamante en distintas condiciones y las tiras diamantadas manuales y su relación con el aumento de la temperatura pulpar. Los autores observaron un aumento de la temperatura de $1,90 \pm 1,07^{\circ}\text{C}$ al utilizar fresas de diamante montadas en turbina usando refrigeración con espray de agua y aire. La temperatura aumento drásticamente cuando la reducción de esmalte interproximal fue realizada por fresas de diamante montadas en micromotor y sin refrigeración, siendo este aumento de $3,50 \pm 0,95^{\circ}\text{C}$. El uso de fresas de diamantes en micromotor con refrigeración produjo un aumento de la temperatura pulpar de $1,65 \pm 0,81^{\circ}\text{C}$.

Finalmente, se observó un aumento de temperatura de $2,80 \pm 0,41^{\circ}\text{C}$ empleando tiras manuales. Los autores concluyeron que todos los métodos de stripping implican un aumento de la temperatura pulpar, siendo el más significativo el aumento producido por fresas de diamante sin refrigeración.

El nuevo protocolo de medición morfométrico desarrollado demuestra ser preciso y reproducible en el análisis de la cantidad y volumen de esmalte removido tras la reducción de esmalte interproximal. Hasta ahora, las técnicas empleadas para la medición de la rugosidad del esmalte han sido la profilometría, rugosimetría, SEM y AFM.

La precisión y la veracidad de los diferentes escáneres intraorales disponibles en el mercado, se han investigado en diferentes ramas de la odontología. La precisión define qué tan cerca están las mediciones repetidas entre sí, mientras que la veracidad describe la desviación de las mediciones del objeto real (108). Por otra parte, con el término exactitud se hace referencia tanto a la precisión como a la veracidad de un sistema, dispositivo o método (126).

Lee *et al.* (93) compararon los escáneres intraorales TRIOS e iTero. La diferencia media de medición fue 0,057mm en maxilar superior y 0,069mm en mandíbula, siendo las mayores desviaciones localizadas en el sector posterior. No obstante, esta diferencia no fue estadísticamente significativa.

Winkler *et al.* (127) investigaron *in vivo* la veracidad y la precisión de los escáneres intraorales en la arcada maxilar. Con respecto a la veracidad no encontraron

diferencias estadísticamente significativas entre los escáneres TRIOS 3 y CS3600. Sin embargo, otros estudios encontraron mayor veracidad en los escáneres intraorales TRIOS 3 y True Definition en comparación con Omnicam (128,129). Respecto a la precisión, Winkler *et al.* (127) encontraron resultados variables en función del área de superposición de los archivos. Se encontró una variación comprendida entre 20-180µm cuando la superposición se realizó por la cara vestibular de los dientes anteriores. Sin embargo, al realizar la superposición por toda la arcada, la precisión varió entre 20-70µm siendo significativamente mayor en TRIOS 3 que en True Definition. Aún así, las diferencia entre los escáneres fue muy pequeña (aproximadamente 10µm).

Park *et al.*(105) compararon diferentes escáneres intraorales simulando dos ambientes intraorales, empleando los factores de temperatura (°C), humedad relativa (%) e iluminación (Lux). Se escanearon dos modelos con 5 dientes y pilares de implantes. El primer grupo (G1) se escaneó a 22°C/ 40% RH/ 262-272 Lux, mientras que el segundo grupo (G2) se escaneó con una condiciones de 29-31°C/ 100% RH/ 173-197 Lux. La distancia (mm) entre caninos fue 25,61±0,11 con TRIOS y 25,38±0,15 con CS3500 en el G1, mientras que en el G2 la distancia fue 25,56±0,10 con TRIOS y 25,27±0,15 con CS3500. Respecto a la distancia (mm) entre primer y segundo molar se obtuvo en el G1 una distancia e 36,83±0,08 con TRIOS y 37,18±0,33 con CS3500, mientras que en el G2 la distancia fue de 36,82±0,07 con TRIOS y 37,09±0,18 con CS3500. Finalmente, la distancia (mm) entre canino derecho y segundo molar fue en el G1 de 31,83±0,07 con TRIOS y 31,83±0,07 con CS3500 y en el G2 fue de 31,78±0,05 con TRIOS y 31,87±0,09 con CS3500. Los autores concluyeron que los escáneres tuvieron una precisión y reproducibilidad similares, aunque hubo una sutil diferencia

respecto a la veracidad. No se mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los entornos intraorales simulados.

Para poder determinar la precisión de las técnicas de escaneo en si mismas, se debe utilizar un abordaje extraoral (99). Sason *et al.* (111) compararon *in vivo* la precisión de los escáneres intra y extraorales. Concluyeron que los escáneres intraorales presentan menos desviaciones y mayor precisión comparadas con los escáneres extraorales, aunque ambos son aceptables para su uso clínico.

Moon *et al.* (130) investigaron la precisión con un enfoque distinto. En su estudio, compararon el escaneado de arco completo con el escaneado por cuadrante. En la investigación hallaron errores mayores en los escaneados de arco completo (0,09~0,10mm) en comparación a los escaneados por cuadrante (0,05~0,06mm). Los errores fueron mayores en maxilar superior que en mandíbula y en dientes posteriores que en dientes anteriores, siendo las desviaciones mayores en los dientes posteriores del lado derecho.

Los errores y las desviaciones resultantes durante el estudio de la precisión de los escáneres intraorales se deben a diferentes factores tales como la sensibilidad del escáner, el algoritmo del *software* que procesa la imagen, el protocolo de escaneado y la habilidad del operador (127).

Los resultados demuestran como la nueva técnica de medición permite medir de forma precisa y reproducible el área y el volumen del esmalte removido tras la remoción de esmalte interproximal. No obstante, se requieren ulteriores investigaciones

para valorar la precisión de esta técnica *in vivo* y conocer las complicaciones que pueden derivar de la cantidad de área y volumen removido tras el stripping.

CONCLUSIONES

1. La nueva técnica de medición desarrollada permite medir el esmalte removido tras la reducción de esmalte interproximal.
2. La nueva técnica de medición permite medir el área de esmalte removido tras la reducción de esmalte interproximal.
3. La nueva técnica de medición permite medir el volumen de esmalte removido tras la reducción de esmalte interproximal.
4. La nueva técnica de medición es precisa y reproducible.

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. Jarjoura K, Gagnon G, Nieberg L. Caries risk after interproximal enamel reduction. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2006;130(1):26–30.
3. Aasen TO, Espeland L. An approach to maintain orthodontic alignment of lower incisors without the use of retainers. *Eur J Orthod.* 2005;27(3):209–14.
4. García Vargas MC, Montoya Toro FA, Salamanca Mojica IP, Figueroa Valbuena E, Castro Figueroa ME, Delgado Perdomo LP, et al. Efectos sobre el esmalte dental con la utilización de tres diferentes métodos de reducción interproximal. *Rev Nac Odontol.* 2011;7(12):9–17.
5. Black G V. 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>
6. Ballard M. Asymmetry in tooth size a factor in the etiology , diagnosis , and treatment of malocclusion. *Angle Orthod.* 1944;14:67–71.
7. Hudson AL. A study of the effects of mesiodistal reduction of mandibular anterior teeth. *Am J Orthod.* 1956;42(8):615–24.
8. Paskow H. Self alignment following interproximal stripping. *Am J Orthod.* 1970;58:240–9.
9. Sheridan JJ. Air-rotor stripping. *J Clin Orthod.* 1985;19:43–59.
10. Zachrisson BU. Excellence in finishing. *J Clin Orthod.* 1986;(20):536–56.
11. Arola D, Gao S, Zhang H, Masri R. The tooth: its structure and properties. *Dent Clin North Am.* 2017;61(4):651–68.
12. Beniash E, Stifler CA, Sun CY, Jung GS, Qin Z, Buehler MJ, et al. The hidden

- structure of human enamel. *Nat Commun.* 2019;10(1):1–13.
13. 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.
 14. Fincham AG, Moradian-Oldak J, Simmer JP. The structural biology of the developing dental enamel matrix. *J Struct Biol.* 1999;126(3):270–99.
 15. Robinson C, Weatherell JA, Hallsworth AS. Variation in composition of dental enamel within thin ground tooth sections. *Caries Res.* 1971;5(1):44–57.
 16. Schmitz JE, Teepe JD, Hu Y, Smith CE, Fajardo RJ, Chun YHP. Estimating mineral changes in enamel formation by ashing/BSE and microCT. *J Dent Res.* 2014;93(3):256–62.
 17. Simmer JP, Fincham AG. Molecular mechanisms of dental enamel formation. *Clin Rev Oral Biol Med.* 1995;6(2):84–108.
 18. Smith CE, Nanci A. Protein dynamics of amelogenesis. *Anat Rec.* 1996;245(2):186–207.
 19. Albertí Vázquez L, Más Sarabia M, Martínez Padilla S, Méndez Martínez MJ. 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.php?script=sci_arttext&pid=S1025-02552007000300015&lng=es&nrm=iso&tlng=es
 20. Ham C, Dupont B, Chen J, Sun X, Quian Q. Monitoring human enamelin DND, chromosomal localization and analysis of expression during tooth development. *J Dent Res [Internet].* 2000;73(4):912–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2011.03.003><https://doi.org/10.1016/j.gr.2017.08.001><http://dx.doi.org/10.1016/j.precamres.2014.12.018><http://dx.doi.org/10.1016/j.precamres.2011.08.005><http://dx.doi.org/10.1080/0020681>

- 4.2014.902757%0Ahttp://dx.
21. Martin LB, 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.
 22. Hlusko L, Suwa G, Kono R, Mahaney M. Genetics and the evolution of primate enamel thickness: a baboon model. *Am J Phys Anthr.* 2004;124(3):223–33.
 23. Smith TM, Olejniczak AJ, Martin LB, Reid DJ. Variation in hominoid molar enamel thickness. *J Hum Evol.* 2005;48(6):575–92.
 24. Macho GA, Berner ME. Enamel thickness of human maxillary molars reconsidered. *Am J Phys Anthr.* 1993;92(2):189–200.
 25. Grine F. Enamel thickness of deciduous and permanent molars in modern *Homo sapiens*. *Am J Phys Anthr.* 2005;126:14–31.
 26. Smith TM, Olejniczak AJ, Reid DJ, Ferrell RJ, Hublin JJ. Modern human molar enamel thickness and enamel-dentine junction shape. *Arch Oral Biol.* 2006;51(11):974–95.
 27. Kay RF. The nut-crackers – a new theory of the adaptations of the *Ramapithecinae*. *Am J Phys Anthropol* 1981;55:141 — 51. *Am J Phys Anthr.* 1981;55:141–51.
 28. Olejniczak AJ, Grine FE. Assessment of the accuracy of dental enamel thickness measurements using microfocal X-ray computed tomography. *Anat Rec - Part A Discov Mol Cell Evol Biol.* 2006;288(3):263–75.
 29. Punecky PJ, Sadowsky C, BeGole EA. Tooth morphology and lower incisor alignment many years after orthodontic therapy. *Am J Orthod.* 1984;86(4):299–305.
 30. Grippaudo C, Cancellieri D, Grecolini ME, Deli R. Comparison between

- different interdental stripping methods and evaluation of abrasive strips: SEM analysis. *Prog Orthod* [Internet]. 2010;11(2):127–37. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pio.2010.08.001>
31. Barcoma E, Shroff B, Best AM, Shoff MC, Lindauer SJ. Interproximal reduction of teeth: Differences in perspective between orthodontists and dentists. *Angle Orthod*. 2015;85(5):820–5.
 32. Choudhary A, Gautman AK, Chousky A, Bhusan M. Interproximal enamel reduction in orthodontic treatment: A review. *J Appl Dent Med Scien*. 2015;1(3):123, 125.
 33. Florman M, Echarri Lobiondo P, Partovi M. Creating Space with Interproximal Reduction. *Ineedce*. :1–11.
 34. Gilling B, Buonocore M. An investigation of enamel thickness in human lower incisor teeth. *J Dent Res*. 1961;40:105–18.
 35. Shillingburg HTJ, Grace CS. Thickness of enamel and dentin. *J South Calif Dent Assoc*. 1973 Jan;41(1):33-6 passim.
 36. Bennet J, McLaughlin R. Consideraciones sobre la forma de la corona de los incisivos en el tratamiento ortodóncico. *Rev Esp Ortod*. 1997;27:359–69.
 37. Hall NE, Lindauer SJ, Tüfekçi E, Shroff B. Predictors of variation in mandibular incisor enamel thickness. *J Am Dent Assoc* [Internet]. 2007 Jun 1;138(6):809–15. Available from: <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2007.0270>
 38. Frindel C. Clear thinking about interproximal stripping. *J Dentofac Anomalies Orthod*. 2010;13(2):187–99.
 39. Zachrisson BU, Minster L, Øgaard B, Birkhed D. Dental health assessed after interproximal enamel reduction: Caries risk in posterior teeth. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2011;139(1):90–8.

40. Sheridan JJ. Air-rotor stripping update. *J Clin Orthod*. 1987 Nov;21(11):781–8.
41. 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*. 2015;16(1):1–6.
42. Chudasama D, Rcs M, Sheridan JJ. Guidelines for Contemporary Air-Rotor Stripping. 2007;XLI(6):315–20.
43. Tarnow D, Magner A, 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 Periodontol*. 1992;63(12):995–6.
44. Baysal A, Uysal T, Uşümez S. Temperature Rise in the Pulp Chamber during. *Angle Orthod*. 2007;77(3):478–82.
45. Danesh G, Hellak A, Lippold C, Ziebura T, Schafer E. Enamel surfaces following interproximal reduction with different methods. *Angle Orthod* [Internet]. 2007;77(6):1004-1010. Available from: <https://www.cochranlibrary.com/central/doi/10.1002/central/CN-00701157/full>
46. Zachrisson BU, Nyøygård 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(2):162–9.
47. Joseph VP, Rossouw PE, Basson NJ. Orthodontic microabrasive reproximation. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 1992;102(4):351–9.
48. Arman A, Cehreli SB, Ozel E, Arhun N, Cetinsahin A, Soyman M. Qualitative and quantitative evaluation of enamel after various stripping methods. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2006 Aug;130(2):131.e7-14.
49. Costa MF, Pereira PB. Rugometric and microtopographic inspection of teeth enamel. *Int Conf Opt Precis Eng Nanotechnol*. 2013;8769:87690O.

50. Kaaouara Y, Mohind H Ben, Azaroual MF, Zaoui F, Bahije L, Benyahia H. In vivo enamel stripping: A macroscopic and microscopic analytical study. *Int Orthod* [Internet]. 2019;17(2):235–42. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ortho.2019.03.005>
51. Zingler S, Sommer A, Sen S, Saure D, Langer J, Guillon O, et al. Efficiency of powered systems for interproximal enamel reduction (IER) and enamel roughness before and after polishing—an in vitro study. *Clin Oral Investig*. 2016;20(5):933–42.
52. 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.
53. Hellak AF, Riepe EM, Seubert A, Korbmacher-Steiner HM. Enamel demineralization after different methods of interproximal polishing. *Clin Oral Investig*. 2015;19(8):1965–72.
54. Ben Mohimd H, Kaaouara Y, Azaroual F, Zaoui F, Bahije L, Benyahia H. Enamel protection after stripping procedures: An in vivo study. *Int Orthod* [Internet]. 2019;17(2):243–8. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ortho.2019.03.007>
55. Ten Cate JM. In vitro studies on the effects of fluoride on de- and remineralization. *J Dent Res*. 1990 Feb;69 Spec No:614–6.
56. Rossouw PE, Tortorella A. Enamel reduction procedures in orthodontic treatment. *J Can Dent Assoc*. 2003;69(6):378–83.
57. Hamdan AM, Maxfield BJ, Tufekci E, Shroff B, Lindauer SJ. Preventing and treating white-spot lesions associated with orthodontic treatment: a survey of general dentists and orthodontists. *J Am Dent Assoc*. 2012 Jul;143(7):777–83.

58. Zanarini M, Pazzi E, Bonetti S, Ruggeri O, Alessandri Bonetti G, Prati C. In vitro evaluation of the effects of a fluoride-releasing composite on enamel demineralization around brackets. *Prog Orthod*. 2012 May;13(1):10–6.
59. Alessandri Bonetti G, Pazzi E, Zanarini M, Marchionni S, Checchi L. The effect of zinc-carbonate hydroxyapatite versus fluoride on enamel surfaces after interproximal reduction. *Scanning*. 2014;36(3):356–61.
60. Sudjalim TR, Woods MG, Manton DJ, Reynolds EC. Prevention of demineralization around orthodontic brackets in vitro. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2007 Jun;131(6):705.e1-9.
61. Zhang Q, Zou J, Yang R, Zhou X. Remineralization effects of casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate creme on artificial early enamel lesions of primary teeth. *Int J Paediatr Dent*. 2011 Sep;21(5):374–81.
62. Giulio AB, Matteo Z, Serena IP, Silvia M, Luigi C. 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.
63. Sheridan JJ. John J. Sheridan, DDS, MSD, on air-rotor stripping. Vol. 42, *Journal of clinical orthodontics : JCO*. United States; 2008. p. 381–8.
64. 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.
65. Proffit, WR.; Fields, HW Jr.; Sarver D. *Contemporary orthodontics*.
66. Dean, JA.; Avery, DR.; McDonald R. *Dentistry for the child and adolescent*.
67. Al-Emran S. Simple orthodontic tooth aligner. *Saudi Dent J*. 2007;19(1):15–20.
68. Nakhjavani YB, Nakhjavani FB, Jafari A. Mesial Stripping of Mandibular Deciduous Canines for Correction of Permanent Lateral Incisors. *Int J Clin Pediatr Dent*. 2017;10(3):229–33.

69. Sharma NS, Hazarey P V. Mastering Interproximal Stripping: With Innovations in Slenderization. *Int J Clin Pediatr Dent*. 2012;5(2):163–6.
70. Jadhav S, Vattipelli S, Pavitra M. Interproximal enamel reduction in comprehensive orthodontic treatment: a review. *Indian J Stomatol*. 2011;2:245–8.
71. Keim RG, Gottlieb EL, Nelson AH, Vogels DS 3rd. 2008 JCO study of orthodontic diagnosis and treatment procedures, part 1: results and trends. *J Clin Orthod*. 2008 Nov;42(11):625–40.
72. Georgiadis AA, Darmanin P, Topouzelis N, Ioannidou-Marathiotou I. Indication and Technical Application of Stripping. *Balk J Dent Med*. 2015;19(1):3–7.
73. Zhong M, Jost-Brinkmann PG, Radlanski RJ, Miethke RR. SEM evaluation of a new technique for interdental stripping. *J Clin Orthod*. 1999 May;33(5):286–92.
74. Zhong M, Jost-Brinkmann P-G, Zellmann M, Zellmann S, Radlanski RJ. Clinical Evaluation of a New Technique for Interdental Enamel Reduction. *J Orofac Orthop / Fortschritte der Kieferorthopädie*. 2000;61(6):432–9.
75. Pindoria J, Fleming PS, Sharma PK. Inter-proximal enamel reduction in contemporary orthodontics. *Br Dent J [Internet]*. 2016;221(12):757–63. Available from: <http://dx.doi.org/10.1038/sj.bdj.2016.945>
76. Womack WR, Ahn JH, Ammari Z, Castillo A. A new approach to correction of crowding. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2002;122(3):310–6.
77. Sheridan JJ, Hastings J. Air-rotor stripping and lower incisor extraction treatment. *J Clin Orthod*. 1992 Jan;26(1):18–22.
78. Radlanski RJ, Jäger A, Schwestka R, Bertzbach F. Plaque accumulations caused by interdental stripping. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 1988;94(5):416–20.
79. Arends J, Christoffersen J. The nature of early caries lesions in enamel. *J Dent*

- Res. 1986 Jan;65(1):2–11.
80. Sheridan J J LP. Air-rotor stripping and proximal seal- ants--an SEM evaluation. *J Clin Orthod*. 1989;23:790–4.
81. Hein C, Jost-Brinkmann PG, Schillai G. Oberflächenbeschaffenheit des Schmelzes nach approximalem Beschleifen-Rasterelektronenmikroskopische Beurteilung unterschiedlicher Polierverfahren. *Fortschr Kieferorthop*. 1990;51(6):327–35.
82. Dummer PM, Harrison KA. In vitro plaque formation on commonly used dental materials. *J Oral Rehabil*. 1982 Sep;9(5):413–7.
83. Kim MK, Kim JM, Lee YM, Lim YJ, Lee SP. The effect of scanning distance on the accuracy of intra-oral scanners used in dentistry. *Clin Anat*. 2019;32(3):430–8.
84. Duret F, Preston J. CAD/CAM imaging in dentistry. *Curr Opin Dent*. 1991;1:150–4.
85. Al Mortadi N, Eggbeer D, Lewis J, Williams RJ. CAD/CAM/AM applications in the manufacture of dental appliances. *Am J Orthod Dentofac Orthop* [Internet]. 2012;142(5):727–33. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2012.04.023>
86. Renau-piqueras J, Faura M. Principios básicos del Microscopio Electrónico de Barrido. *Cent Investig Hosp “La Fé.”* :73–92.
87. Kihara H, Hatakeyama W, Komine F, Takafuji K, Takahashi T, Yokota J, et al. Accuracy and practicality of intraoral scanner in dentistry: A literature review. *J Prosthodont Res* [Internet]. 2020;64(2):109–13. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jpor.2019.07.010>
88. Mangano F, Shibli JA, Fortin T. Digital Dentistry: New Materials and

- Techniques. *Int J Dent*. 2016;2016:2–4.
89. Duvert R, Gebeile-Chauty S. La précision des empreintes numériques intra-orales en orthodontie est-elle suffisante ? *Orthod Fr*. 2017;88(4):347–54.
90. Richert R, Goujat A, Venet L, Viguie G, Viennot S, Robinson P, et al. Intraoral Scanner Technologies: A Review to Make a Successful Impression. *J Healthc Eng*. 2017;2017.
91. Suese K. Progress in digital dentistry: The practical use of intraoral scanners. *Dent Mater J*. 2020;39(1):52–6.
92. Camardella LT, Breuning H, de Vasconcellos Vilella O. Genauigkeit und Reproduzierbarkeit von Messungen an Gipsmodellen und digitalen Modellen. *J Orofac Orthop*. 2017;78(3):211–20.
93. Lee KM. Comparison of two intraoral scanners based on three-dimensional surface analysis. *Prog Orthod*. 2018;19(1).
94. Lecocq G. Digital impression-taking: Fundamentals and benefits in orthodontics. *Int Orthod*. 2016;14(2):184–94.
95. Gimenez B, Ozcan M, Martinez-Rus F, Pradies G. Accuracy of a digital impression system based on active wavefront sampling technology for implants considering operator experience, implant angulation, and depth. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2015 Jan;17 Suppl 1:e54-64.
96. Pradies G, Ferreiroa A, Ozcan M, Gimenez B, Martinez-Rus F. Using stereophotogrammetric technology for obtaining intraoral digital impressions of implants. *J Am Dent Assoc*. 2014 Apr;145(4):338–44.
97. Rolland N. Empreinte optique intra-orale sur implant pour la réalisation d ' un pilier implantaire personnalisée. *Univ Toulouse*. 2014;2–105.
98. Pagano S, Moretti M, Marsili R, Ricci A, Barraco G, Cianetti S. Evaluation of

- the accuracy of four digital methods by linear and volumetric analysis of dental impressions. *Materials* (Basel). 2019;12(12).
99. Flügge T, Att W, Metzger M, Nelson K. Precision of Dental Implant Digitization Using Intraoral Scanners. *Int J Prosthodont*. 2016;29(3):277–83.
100. Morris RS, Hoyer LN, Elnagar MH, Atsawasuwan P, Galang-Boquiren MT, Caplin J, et al. Accuracy of Dental Monitoring 3D digital dental models using photograph and video mode. *Am J Orthod Dentofac Orthop* [Internet]. 2019;156(3):420–8. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2019.02.014>
101. Patel N. Integrating Three-Dimensional Digital Technologies for Comprehensive Implant Dentistry. *J Am Dent Assoc* [Internet]. 2010;141(June):20S–24S. Available from: <http://dx.doi.org/10.14219/jada.archive.2010.0357>
102. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:5725:-1:ed-1:v1:en>.
103. Ender A, Mehl A. Accuracy of complete-arch dental impressions : a new method of measuring trueness and precision Dental full arch impression , a new high accurate method of measuring trueness and precision A . Ender , A . Mehl Clinic of Preventive Dentistry , Periodontolo. Zurich Open Repos Arhcie. 2013;109:121–8.
104. Ziegler M. Digital impression taking with reproducibly high precision. *Int J Comput Dent* [Internet]. 2009;12(2):159—163. Available from: <http://europepmc.org/abstract/MED/19413271>
105. Park HN, Lim YJ, Yi WJ, Han JS, Lee SP. A comparison of the accuracy of intraoral scanners using an intraoral environment simulator. *J Adv Prosthodont*. 2018;10(1):58–64.
106. Ender A. Full arch scans : Conventional versus digital impressions - An in-vitro study [Ganzkieferaufnahmen : Konventionelle versus digitale Abformtechnik -

- Eine In-vitro- Untersuchung]. *Int J Comput Dent*. 2011;(February):11–21.
107. Ender A, Mehl A. In-vitro evaluation of the accuracy of conventional and digital methods of obtaining full-arch dental impressions. *Quintessence Int (Berl)*. 2015;46(1):9–17.
108. Flügge T V., Schlager S, Nelson K, Nahles S, Metzger MC. Precision of intraoral digital dental impressions with iTero and extraoral digitization with the iTero and a model scanner. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2013;144(3):471–8.
109. Lee S, Betensky RA, Gianneschi GE, Gallucci GO. Accuracy of digital vs conventional implant impressions. *Clin Oral Implant Res*. 2015;26(6):715–9.
110. Rudolph H, Salmen H, Moldan M, Kuhn K, Sichwardt V, Wöstmann B, et al. Accuracy of intraoral and extraoral digital data acquisition for dental restorations. *J Appl Oral Sci*. 2016;24(1):85–94.
111. Sason GK, Mistry G, Tabassum R, Shetty O. A comparative evaluation of intraoral and extraoral digital impressions: an in vivo study. *J Indian Prosthodont Soc*. 2018;18(2):108–16.
112. Kirschneck C, Kamuf B, Putsch C, Chhatwani S, Bizhang M, Danesh G. Conformity, reliability and validity of digital dental models created by clinical intraoral scanning and extraoral plaster model digitization workflows. *Comput Biol Med [Internet]*. 2018;100:114–22. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010482518301835>
113. Gonzáles MCR, Castellon-Urbe J. Microscopio de Fuerza Atómica. *Eninvie*. 2005;6.
114. López Jiménez L. Aplicaciones de la microscopia de fuerza atómica en la investigación odontológica [Internet]. TDX (Tesis Doctorals en Xarxa). Universitat de Barcelona; 2014 [cited 2020 Dec 29]. Available from:

- <http://www.tdx.cat/handle/10803/290987>
115. Arroyave M, Devia A. Obtención de imágenes con resolución atómica de diferentes tipos de superficies por microscopia de fuerza atómica. *Rev Colomb física*. 2002;34(1):128–33.
 116. Vitkow L, Kastner M, Kienberger F, Hinterdorfer P, Schilcher K, Grunert I, et al. Correlations between AFM and SEM imaging of acid-etched tooth enamel. *Ultrastruct Pathol*. 2008;32(1):1–4.
 117. Hinojosa Rivera M, Reyes Melo M. La rugosidad de las superficies: Topometría. *Ingenierías*. 2001;IV(11):27–33.
 118. Berástegui E, Pumarola J, Brau E, Canada C. La perfilometría como técnica de investigación en odontoestomatología. *Arch Odontoestomatol*. 1992;8(3):134–8.
 119. Sugsoompian 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.
 120. Johnner AM, 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* [Internet]. 2013;143(4 SUPPL):S168–72. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2012.10.001>
 121. Mikulewicz M, Szymkowski J, Matthews-Brzozowska T. SEM and profilometric evaluation of enamel surface after air rotor stripping - An in vitro study. *Acta Bioeng Biomech*. 2007;9(1):11–7.
 122. Bhambri E, Kalra JPS, Ahuja S, Bhambri G. Evaluation of enamel surfaces following interproximal reduction and polishing with different methods: a scanning electron microscope study. *Indian J Dent Sci*. 2017;9:153–9.

123. Agrawal N, Desai H, Patel K, Patel N, Aghera R, Dholakiya N. SEM (Scanning Electron Microscope) Evaluation of Surface Roughness after Proximal Stripping of Teeth Followed by Application of Fluoride Varnish and Bonding Agent. *Br J Med Med Res.* 2017;19(12):1–7.
124. Pereira JC d’Ornellas, Weissheimer A, de Menezes LM, de Lima EMS, Mezomo M. Change in the pulp chamber temperature with different stripping techniques. *Prog Orthod.* 2014;15(1):1–6.
125. Sehgal M, Sharma P, Juneja A, Kumar P, Verma A, Chauhan V. Effect of different stripping techniques on pulpal temperature: In vitro study. *Dental Press J Orthod.* 2019;24(1):39–43.
126. ISO I. 1994.5725-1. Accuracy (Trueness and Precision) of Measurement Methods and Results. Part 1: General Principles and Definitions. Geneva: International Organization for Standardization. 1994.
127. Winkler J, Gkantidis N. Trueness and precision of intraoral scanners in the maxillary dental arch: an in vivo analysis. *Sci Rep.* 2020;10(1):1–11.
128. Nedelcu R, Olsson P, Nyström I, Rydén J, Thor A. Accuracy and precision of 3 intraoral scanners and accuracy of conventional impressions: A novel in vivo analysis method. *J Dent [Internet].* 2018;69(May 2017):110–8. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2017.12.006>
129. Kuhr F, Schmidt A, Rehmann P, Wöstmann B. A new method for assessing the accuracy of full arch impressions in patients. *J Dent.* 2016;55:68–74.
130. Moon YG, Lee KM. Comparison of the accuracy of intraoral scans between complete-arch scan and quadrant scan. *Prog Orthod.* 2020;21(1):4–9.

ANEXOS

Article

A Novel Digital Technique to Quantify the Area and Volume of Enamel Removal after Interproximal Enamel Reduction

Martina Triduo ¹, Álvaro Zubizarreta-Macho ^{2,*}, Jorge Alonso Pérez-Barquero ³, Clara Guinot Barona ⁴, Alfonso Alvarado Lorenzo ¹, Purificación Vicente-Galindo ⁵ and Alberto Albaladejo Martínez ¹

¹ Department of Orthodontics, Faculty of Medicine and Dentistry, University of Salamanca, 37008 Salamanca, Spain; martina.triduo.f@gmail.com (M.T.), alfonsoalvaradolorenzo@gmail.com (A.A.L.); albertoalbaladejo@hotmail.com (A.A.M.)

² Department of Endodontics, Faculty of Health Sciences, Alfonso X El Sabio University, 28691 Madrid, Spain

³ Department of Stomatology, Faculty of Medicine and Dentistry, University of Valencia, 46010 Valencia, Spain; jorgealonso86@gmail.com

⁴ Department of Orthodontics, Faculty of Medicine and Health Sciences, Catholic University of Valencia, 46001 Valencia, Spain; clara.guinot@ucv.es

⁵ Department of Statistics, Faculty of Medicine and Dentistry, University of Salamanca, 37008 Salamanca, Spain; purivg@usal.es

* Correspondence: amacho@uax.es

Citation: 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.* **2021**, *11*, x. <https://doi.org/10.3390/xxxxx>

Academic Editor: Firstname
Lastname

Received: date
Accepted: date
Published: date

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2021 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: The aim of this study was to show a novel and accurate digital measurement protocol by analyzing the area and volume for interproximal tooth enamel surface reduction. In total, 14 lower teeth from all dental sectors were embedded into an epoxy resin and distributed as the lower dental arch, keeping the contact points. The experimental model was submitted to an intraoral digital impression before and after interproximal tooth enamel surface reduction using air-rotor strips and then re-contouring and polishing the interproximal enamel surfaces. These steps helped obtain standard tessellation language (STL) digital files. Furthermore, each tooth in the preoperative and postoperative full-arch STL digital files was segmented individually and aligned to analyze the area and volume of the interproximal tooth enamel surface reduction using engineering morphometry software. Descriptive analysis of the area and volume of the interproximal tooth enamel surface reduction was performed using a Student t-test. Higher enamel reduction area ($3.53 \pm 3.08 \text{ mm}^2$) and volume ($0.32 \pm 0.22 \text{ mm}^3$) values were shown on the distal surface compared with the area ($2.97 \pm 3.05 \text{ mm}^2$) and volume ($0.22 \pm 0.16 \text{ mm}^3$) of the enamel reduction on the mesial surface measured using the morphometric measurement digital protocol. The morphometric measurement protocol is an accurate digital measurement protocol for analyzing the area and volume of interproximal enamel surface reduction.

Keywords: orthodontics; morphometry; interproximal reduction; enamel removed and stripping; dentistry; digital impression

1. Introduction

Interproximal enamel reduction (IER) or stripping is considered an irreversible technique used to remove controlled amounts of interproximal enamel surfaces to achieve a reduction in the mesiodistal length of interproximal dental surfaces. The result is an increase in the available space in the dental arch [1,2]. IER is considered a more conservative orthodontic therapy than dental extractions [3] and, therefore, it is used to increase the available space without tooth extractions, allowing for teeth alignment and correct labioversion of the incisors [4] with a mild or moderate bone-dental discrepancy (BDD) between 4–8 mm [5,6]. IER is also recommended to improve the unaesthetic appearance caused by the loss of the interdental papilla, which is a consequence of bone

loss or occlusal interproximal tooth contact [7]. In addition, IER is also used in temporary dentition to facilitate the eruption of partially erupted teeth blocked by insufficient space [8]. However, IER procedures are not recommended in small teeth, hypoplasia, severe tooth rotations, high risk of caries, poor oral hygiene, and young patients with large pulp chambers [9]. In addition, mechanic and manual IER techniques have been reported [10,11] to affect the interdental tooth enamel surfaces, leaving grooves and scratches [12]. For this reason, final polishing of interproximal tooth enamel surfaces after IER procedures are mandatory to reduce the number of dental abrasions and to obtain an interproximal tooth surface similar to untreated interproximal tooth enamel surfaces [5], ensuring favorable long-term prognosis [13]. Many measurement procedures have been used to analyze interproximal tooth enamel surfaces after IER techniques; however, most studies have used microscopic measurement methods [14] and profilometry [15], which are useful for analyzing the micro-roughness on interproximal tooth enamel surfaces after interproximal tooth enamel surface removal. Nonetheless, it is impossible to apply this in clinical situations because it is necessary to extract the teeth. De Felipe et al. and Johner et al. reported a digital technique to analyze the total amount of stripping in order to calculate the maximum mesiodistal distance in teeth based on the position of the tooth's axis; however, the placement of this axis was not tested, and they measure neither the area nor the volume of the IER procedure [16,17]. However, the main novelty of the morphometric measurement technique is the possibility of using it in vivo in a clinical situation, wherein the acquisition of the digital information is done by intraoral scanners. The development of digital measurement procedures in dental research has increased the accuracy, simplicity, and versatility of acquiring information in research applications [18]. Intraoral scanners communicate easily with computer-aided design/computer-aided manufacturing (CAD/CAM) systems. This technology has also been introduced in orthodontics, thus allowing a completely digital workflow, from impression to final framework, with clinical reliability [19] and good patients' feedback [20]. Different image capture systems—i.e., triangulation, light stripe projection, confocal parallelism images, and stereophotogrammetric videos—have been used in dental research [21]. Regardless of the scanning method, the measurements led to a three-dimensional capture made up of a point cloud that represents the object and its reference in space [22]. The most widely used digital format is standard tessellation language (STL). This format describes a succession of triangulated surfaces, where each triangle is defined by three points on a surface, which allows for a high accuracy measurement [23]. This triangulation converts cloud points into the mesh in order to calculate the volume and area of different treatments carried out on the tooth surface.

The aim of this study was to show a novel and accurate digital measurement protocol in order to analyze the area and volume of interproximal tooth enamel surface reduction.

2. Materials and Methods

2.1. Study Design

In total, 14 lower teeth from all dental sectors, extracted for periodontal or orthodontic reasons, without caries, restorations, or fractures, were selected in this study at the Alfonso X El Sabio University (Madrid, Spain), Master's Degree program in Orthodontics at the University of Salamanca (Salamanca, Spain) and the Department of Stomatology at the University of Valencia (Valencia, Spain), between September and October 2020. An in vitro 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 September 2020 (Process No. 09/2020). All patients gave their informed consent to transfer the teeth.

2.2. Experimental Procedure

The teeth were embedded into an experimental model of epoxy resin (ref.: 20-8130-128. EpoxiCure®, Buehler, IL, USA), keeping the contact points. Afterward, the experimental model with the embedded teeth was submitted to a baseline intraoral scan (True Definition, 3M ESPE™, Saint Paul, MN, USA) (STL1) via a 3D in-motion video imaging technology (Figure 1a) to generate an STL digital file using a cloud of points that create a tessella network, representing 3-dimensional objects as polygons composed of equilateral triangle tessellas [24,25]. The capturing images procedure was performed following manufacture recommendations by scanning the incisal/occlusal plane and the vestibular and lingual surfaces. After that, an interproximal enamel reduction of 0.2 mm at both interproximal surfaces for each tooth was performed using air-rotor strips (Ref.: 060B, Ortho-Strip system, Intensiv Dental, Montagnola, Switzerland) according to the manufacturers' recommendations. We then re-contoured to produce an adequate interproximal shape and to polish the surfaces (Softflex system, 3M ESPE™, Saint Paul, MN, USA) and the Komet ASR-Set (Komet Medical, Lemgo, Germany). Then, the experimental model was submitted to a postoperative interproximal enamel reduction intraoral scan (True Definition, 3M ESPE™, Saint Paul, MN, USA) (STL2) (Figure 1b).

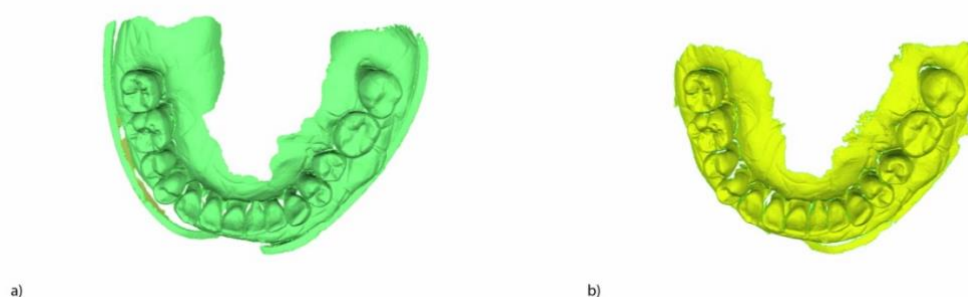


Figure 1. (a) Occlusal view of the standard tessellation language (STL) digital file of the experimental model with the embedded teeth before and (b) after the 0.2 mm interproximal enamel reduction procedure using air-rotor strips and the interproximal enamel reduction technique.

2.3. Alignment Procedure

Afterward, the teeth from 3.7 to 4.7 of the preoperative (Figure 2a) and postoperative (Figure 2b) interproximal enamel reduction STL digital files were sequentially segmented, aligned, and individually compared (3-dimensionally) after being imported into a reverse engineering morphometric software (3D Geomagic Capture Wrap v. 2017.0.0, 3D Systems®, Rock Hill, SC, USA).

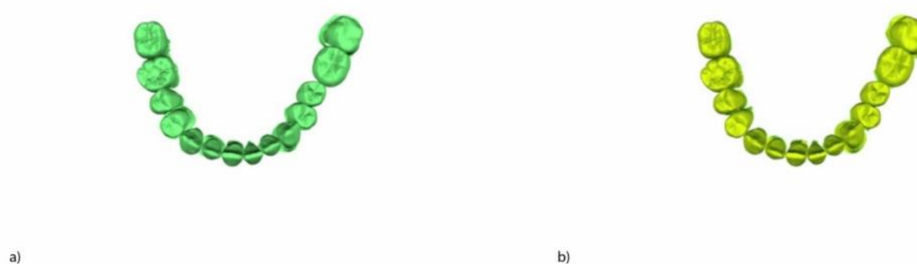


Figure 2. (a) Occlusal view of the individually segmented teeth of the preoperative and (b) postoperative interproximal enamel reduction STL digital files.

Then, the individually segmented teeth of the preoperative (Figure 3a) and postoperative (Figure 3b) interproximal enamel reduction STL digital files were superimposed by using the non-varied buccal, occlusal, and lingual surfaces of the teeth as a reference with the best-fit algorithm.

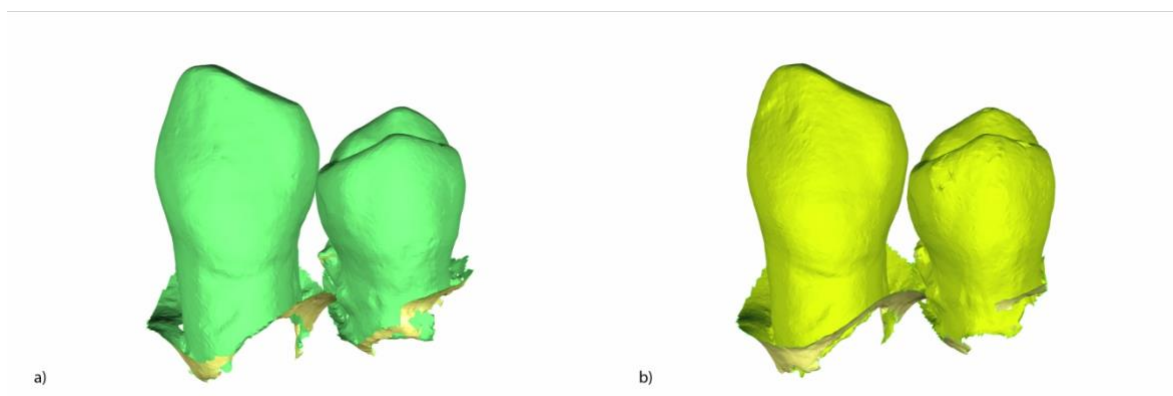


Figure 3. (a) Buccal view of the individually segmented tooth, 3.3 and 3.4 of the preoperative and (b) postoperative interproximal enamel reduction STL digital files.

2.4. Measurement Procedure

After the alignment procedure between the individually segmented teeth in the preoperative and postoperative interproximal enamel reduction STL digital files, the area of enamel removed on the interproximal surfaces was measured by comparing preoperative boundaries (Figure 4a) and postoperative interproximal enamel reduction STL digital files (Figure 4b). The distal surfaces of teeth 3.7 and 4.7 were not submitted to the interproximal enamel reduction procedure.

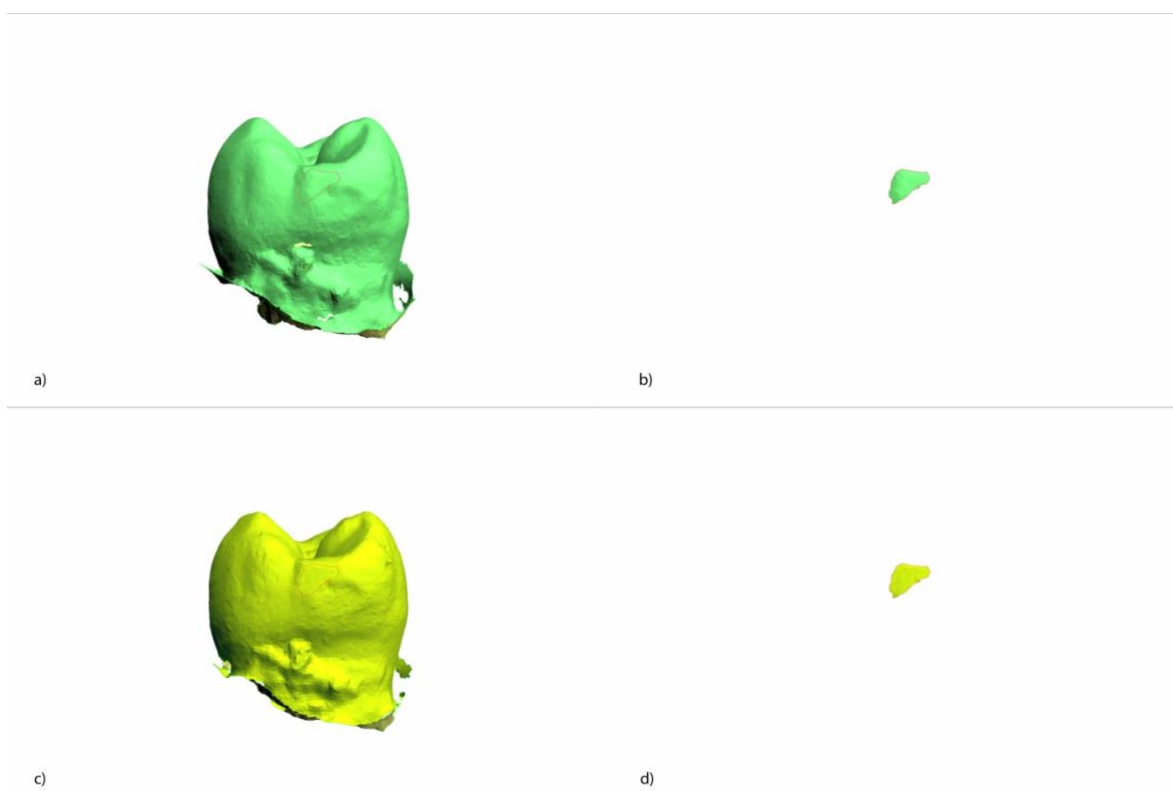


Figure 4. (a) Interproximal view of the individually segmented tooth 3.4 of the preoperative STL (b) with the isolated interproximal enamel reduction area. (c) Interproximal view of the individually segmented tooth 3.4 of the postoperative STL (d) with the isolated interproximal enamel reduction area.

In addition, the volume of enamel removed after the interproximal enamel reduction procedure was selected and isolated in both preoperative (Figure 5a) and postoperative interproximal enamel reduction STL digital files (Figure 5b) via reverse selection. The selected area's normal tessella network for the enamel removed in the preoperative (Figure 5a) and postoperative interproximal enamel reduction STL digital files (Figure 5b) were flipped to obtain a closed polygon with the selected area of the enamel removed to obtain the volume of the enamel removed after the interproximal enamel reduction procedures.

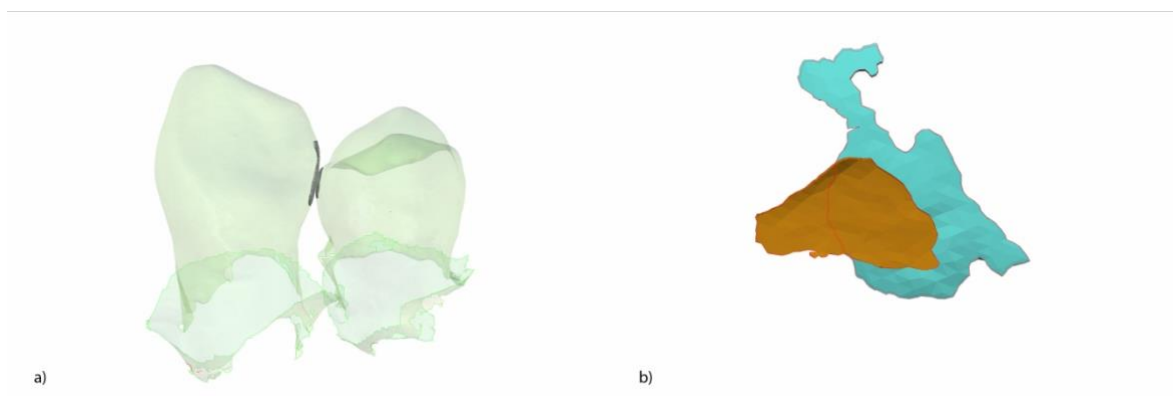


Figure 5. (a) Interproximal view of the individually segmented and aligned preoperative and postoperative interproximal enamel reduction STL digital files (teeth 3.3 and 3.4) and the (b) digital mesh of the enamel removed in the distal interproximal surface of tooth 3.3 (blue) and digital mesh of the enamel removed in the mesial interproximal surface of tooth 3.4 (brown).

Afterward, the point of contact between the mesial and distal interproximal enamel reduction meshes (Figure 6a) were aligned perpendicular to the “X” axis (Figure 6b).

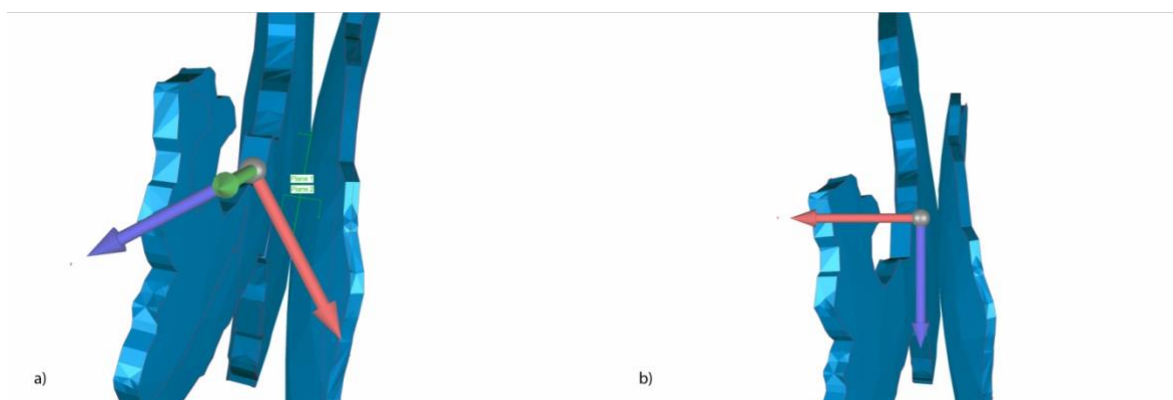


Figure 6. (a) Point of contact between the mesial and distal interproximal enamel reduction meshes before and (b) after being aligned perpendicular to the “X” axis.

Finally, 10 points were positioned at the inner surface of the interproximal enamel reduction mesh of the anterior tooth (Figure 7a). Then, 10 lines parallel to the “X” axis were projected (Figure 7b) from the previous points to the inner surface of the interproximal enamel reduction mesh of the posterior tooth (Figure 7c). Then, 10 new points were created at the intersection of the lines and the inner surface of the interproximal enamel reduction mesh of the posterior tooth, creating 10 pairs of points (Figure 7d). The distance of each pair of points was measured. These distances were used in order to obtain a mean value of the interproximal enamel reduction between adjacent teeth.

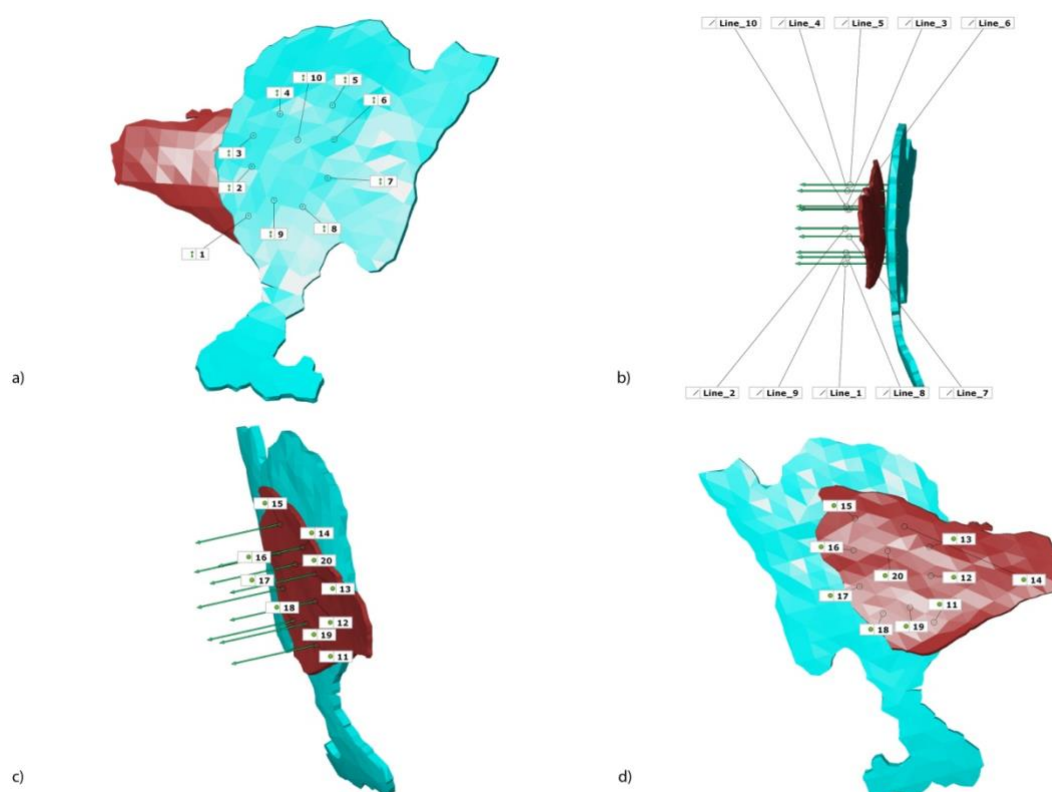


Figure 7. (a) Points randomly distributed at the inner surface of the interproximal enamel reduction mesh of the anterior tooth; (b) lines parallel projected to the tooth to the inner surface of the interproximal enamel reduction mesh of the posterior tooth; (c) points where the projected lines crossed the inner surface of the distal interproximal enamel reduction mesh of the posterior tooth; and (d) points at the inner surface of the distal interproximal enamel reduction mesh of the posterior tooth.

2.5. Statistical Analysis

Statistical analysis of the measurement variables was carried out using SAS 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Descriptive statistics of the area and volume of the enamel removed after the interproximal enamel reduction procedure at the mesial and distal interproximal enamel surfaces of each tooth were expressed as the mean and standard deviation (SD). Additionally, also the minimum, median, and maximum values were calculated for each variable. A comparative analysis was performed by comparing the area and volume of the enamel removed after the interproximal enamel reduction procedure at the mesial and distal interproximal enamel surfaces of the STL digital files using the Student's *t*-test; the variables had a normal distribution. The normality of the variables was analyzed using the Shapiro-Wilk normality test. The statistical significance was set at $p < 0.05$.

3. Results

The means and SD values for the area of the enamel removed after the interproximal enamel reduction procedure at the mesial and distal interproximal enamel surfaces of the STL digital files are displayed in Table 1 and Figure 8.

Table 1. Descriptive analysis of the area (mm²) of the enamel removed after the interproximal enamel reduction procedure at the mesial and distal interproximal enamel surfaces of the STL digital files.

Surface	n	Mean	Median	SD	Minimum	Maximum
Mesial	14	2.97	3.05	1.78	1.17	6.86
Distal	12	3.53	3.08	2.25	1.47	9.55

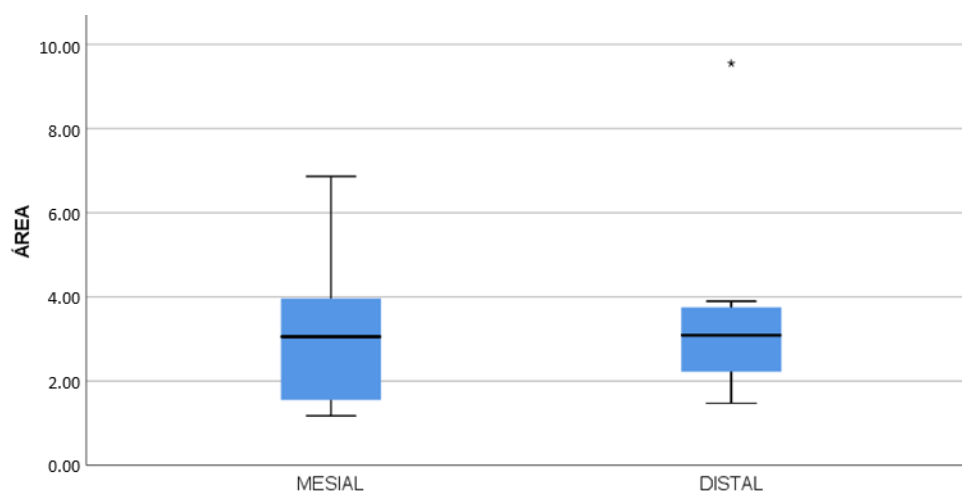


Figure 8 Box plot of the area of the enamel removed after the interproximal enamel reduction procedure at the mesial and distal interproximal enamel surfaces of the STL digital files. “*” represent an outlier.

The distal surface of the teeth, which underwent the interproximal enamel reduction procedure, showed a high enamel reduction area (3.53 ± 3.08 mm²) compared to the enamel reduction area of the mesial surface of the teeth (2.97 ± 3.05 mm²). The paired *t*-test did not show statistically significant differences between the mesial and distal areas of the removed enamel ($p = 0.529$).

The mean and SD values for the volume of the enamel removed after the interproximal enamel reduction procedure at the mesial and distal interproximal enamel surfaces of the STL digital files are displayed in Table 2 and Figure 9.

Table 2. Descriptive analysis of the volume (mm³) of the enamel removed after the interproximal enamel reduction procedure at the mesial and distal interproximal enamel surfaces of the STL digital files.

Surface	n	Mean	Median	SD	Minimum	Maximum
Mesial	14	0.22	0.16	0.22	0.02	0.85
Distal	12	0.32	0.22	0.31	0.04	1.16

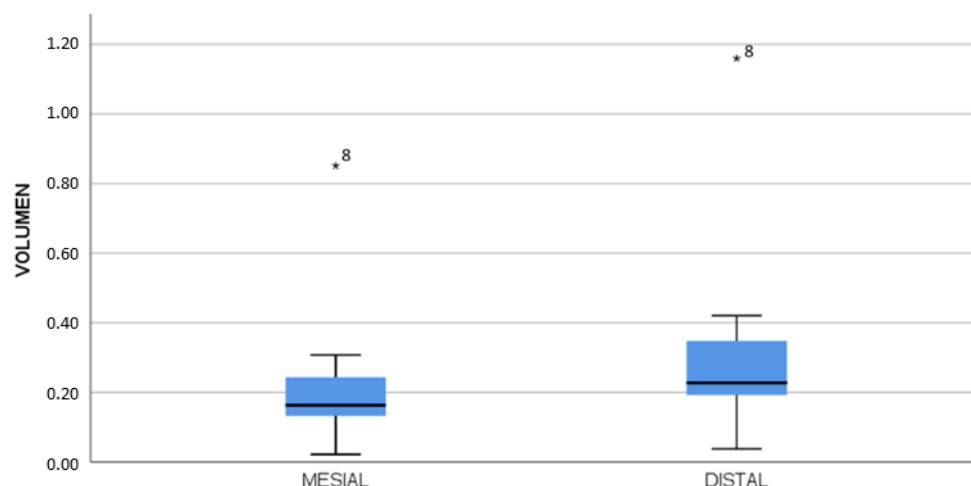


Figure 9. Box plot of the volume of the enamel removed after the interproximal enamel reduction procedure at the mesial and distal interproximal enamel surfaces of the STL digital files. “*” represent outliers in line 8.

The distal surface of the teeth submitted to the interproximal enamel reduction procedure showed a high enamel reduction volume ($0.32 \pm 0.22 \text{ mm}^3$) compared to the enamel reduction volume of the teeth submitted to the mesial surface in the interproximal enamel reduction procedure ($0.22 \pm 0.16 \text{ mm}^3$). The paired *t*-test did not show statistically significant differences between the mesial and distal volumes of the removed enamel ($p = 0.430$).

4. Discussion

The results obtained in the present study showed that the morphometric measurement protocol allowed for an accurate measurement technique to analyze the area and volume of the enamel removed after the interproximal enamel reduction procedure at the mesial and distal interproximal enamel surfaces.

Profilometry, rugosimetry, scanning electron microscopy (SEM), and atomic force microscopy (AFM) measurement techniques have been used in order to assess the enamel surface roughness [17,18]. The SEM measurement technique provides two-dimensional (2D) analysis about the qualitative and morphological changes of the enamel surface [26]; however, profilometry and AFM measurement techniques report a three-dimensional (3D) analysis of the enamel surface roughness for subsequent evaluation [23]. In addition, profilometry and rugosimetry provide a micro-scale 3D image [27,28], whereas AFM provides a nanoscale 3D image with vertical and lateral resolution [29]. García Vargas et al. analyzed the surface roughness of different interproximal enamel reduction procedures using rugosimetry and obtained a higher roughness (Ra) value using strip bur ($0.54 \mu\text{m}$), as well as strip bands ($0.41 \mu\text{m}$) and strip discs ($0.34 \mu\text{m}$). In addition, interproximal enamel reduction performed with strip burs revealed the highest Vickers (vH) microhardness values (365 vH), followed by strip discs (327 vH) and strips bands (317 vH) [30]. Kilinc et al. reported that the surface roughness performed with metal strip bands and the air-rotor stripping procedure showed statistically significant differences via SEM evaluation. However, 70% less surface roughness was observed in teeth submitted to air-rotor stripping and 30% in the teeth submitted to strip bands after the first month [31]. Kaaouara et al. analyzed the interproximal tooth enamel surface using SEM and reported that single-side diamond strip bands showed a mean enamel roughness of $15 \mu\text{m}$ and ContactEZ diamond files, which also showed a mean enamel roughness of $10 \mu\text{m}$ [4]. 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) [32]. Nevertheless, the previously described measurement techniques do not have the capability to accurately measure the area and volume of the interproximal enamel reduction because these measurement techniques perform a qualitative observational analysis. The morphometric measurement technique allows for an accurate, repeatable, and reproducible analysis that looks at the amount of cement remaining after a fixed multibracket appliance removal, the amount of orthodontic cement necessary to fix multibracket appliances, and the amount of enamel removed after fixed multibracket appliance removal, even in a clinical setting that prevents teeth extraction [33].

In accordance with this study, it is possible to accurately measure the area and volume of interproximal enamel surfaces (i.e., mesial and distal), independent of the width of each tooth, which is in contrast with previously published studies [19,20]. However, some factors have been highlighted to affect the accuracy of the digital scanner and hence on the quality of the STL digital files increasing the inaccuracy of the alignment procedure. Moreover, the selection of the digital scanner is highly relevant to provide a specific number of equilateral triangles of the tesella network, which can influence the accuracy of the measurement procedure.

The accuracy of the STL digital files through intraoral and extraoral scan devices depends on multiple factors related to the scanning process, such as the presence of saliva, adjacent structures, teeth, light reflection, presence of blood, type of material used during scanning, and the time of the scanning process [22,34], even though intraoral scan devices have reported smaller deviation values compared to extraoral scan devices [35]. Flügge et al. reported the influence of angle and distance of intraoral scan devices on the accuracy of the obtained STL digital files [36]; however, the accuracy of the obtained STL digital files has not been related to the distance of the extraoral scan device to the scanned object. Sason et al. reported that intraoral scan devices provide more accuracy compared to extraoral scanners [34]. Moreover, Ender and Mehl analyzed the accuracy of full-arch digital impressions using different intraoral scan devices and reported that the CEREC Bluecam scan showed a mean deviation of 80 μm in the posterior areas of the dental arch, whereas iTero showed a mean deviation of 120 μm and CEREC Omnicam showed a mean deviation of 130 μm . Nevertheless, no statistically significant differences were observed between the intraoral scan devices ($p > 0.05$) [37]. In addition, Ender et al. reported no statistically significant differences ($p > 0.05$) between the accuracy of CEREC Bluecam, CEREC Omnicam, iTero, Lava COS, Lava True Definition, TRIOS, and TRIOS color digital for full-arch digital impressions [38]. However, Kuhr et al. analyzed the trueness of full-arch digital impressions between three digital scanners and reported statistically significant differences ($p < 0.05$) between the trueness values of the Lava True Definition and CEREC Omnicam; however, no statistically significant differences ($p > 0.05$) were shown between the Lava True Definition and TRIOS. The standard deviation about the distance measurement was 23 μm for 3M True Definition, 37 μm for Heraeus Cara TRIOS, and 214 μm for CEREC Omnicam. In addition, the angle measurement was for 0.06°, 0.13°, and 0.28° for True Definition, Heraerus Cara TRIOS, and CEREC Omnicam, respectively [39]. Moreover, Guth et al. reported higher mean trueness of True Definition (21.8 μm) than CEREC Bluecam (34.2 μm), CEREC Omnicam (43.4 μm), iTero (49.0 μm), Lava COS (47.7 μm), TRIOS (25.7 μm), and TRIOS color (26.1 μm) for partial lower arch scanning [40]. Moreover, power-dependent digital impression systems provide more accurate STL digital files than no-powder dependent digital impression systems because light refraction and scattering is prevented by the use of powder, which also allows for an accurate determination of object depth [41,42]. Currently, there is no acquisition data system through digital scan devices that can be considered more accurate than others

due to the lack of standardized protocols and randomized clinical trials [22]; however, Kulczyk et al. demonstrated that 3D models derived from optical scanners are 10 times more detailed in the number of tessellations in the network describing the tooth surface and 4–5 times more accurate in terms of standard deviation compared with experimental models obtained with CBCT with a standard resolution [43].

5. Conclusions

In conclusion, the morphometric measurement protocol is an accurate digital measurement protocol for analyzing the area and volume of interproximal enamel surface reduction. However, clinical trials are necessary to ensure the potential accuracy of this novel measurement procedure.

Author Contributions: Conceptualization, M.T.; methodology, A.Z.-M.; validation, J.A.P.-B.; formal analysis, C.G.B.; investigation, A.A.L. P.V.-G. and A.A.M. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: Data available on request due to restrictions eg privacy or ethical.

Acknowledgments: The authors would like to thank Santiago López Martínez his invaluable assistance in this study.

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

References

- Jarjoura, K.; Gagnon, G.; Nieberg, L. Caries risk after interproximal enamel reduction. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* **2006**, *130*, 26–30.
- Aasen, T.O.; Espeland, L. An approach to maintain orthodontic alignment of lower incisors without the use of retainers. *Eur. J. Orthod.* **2005**, *27*, 209–214.
- Lapenaite, E.; Lopatiene, K. Interproximal enamel reduction as a part of orthodontic treatment. *Stomatologija* **2014**, *16*, 19–24.
- Kaaouara, Y.; Mohind HBen 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.
- Rossouw, P.E.; Tortorella, A. Enamel reduction procedures in orthodontic treatment. *J. Can. Dent. Assoc.* **2003**, *69*, 378–383.
- Chudasama, D.; Sheridan, J.J. Guidelines for contemporary air-rotor stripping. *J. Clin. Orthod.* **2007**, *41*, 315–320.
- Zachrisson, B.U. Interdental papilla reconstruction in adult orthodontics. *World J. Orthod.* **2004**, *5*, 67–73.
- Zachrisson, B.U.; Minster, L.; Øgaard, B.; Birkhed, D. Dental health assessed after interproximal enamel reduction: Caries risk in posterior teeth. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* **2011**, *139*, 90–98.
- Arman, A.; Cehreli, S.B.; Ozel, E.; Arhun, N.; Cetinsahin, A.; Soyman, M. Qualitative and quantitative evaluation of enamel after various stripping methods. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* **2006**, *130*, e7–e14.
- Keim, R.G.; Gottlieb, E.L.; Nelson, A.H.; Vogels, D.S., 3rd. 2008 JCO study of orthodontic diagnosis and treatment procedures, part 1: Results and trends. *J. Clin. Orthod.* **2008**, *42*, 625–640.
- Zachrisson, B.U.; Nyøygard, 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.
- Grippaudo, C.; Cancellieri, D.; Grecolini, M.E.; Deli, R. Comparison between different interdental stripping methods and evaluation of abrasive strips: SEM analysis. *Prog. Orthod.* **2010**, *11*, 127–137.
- 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.* **2015**, *16*, 1–6.
- Lombardo, L.; Guarneri, M.P.; D’Amico, P.; Molinari, C.; Meddis, V.; Carlucci, A.; Siciliani, G. Orthofile(R): A new approach for mechanical interproximal reduction: A scanning electron microscopic enamel evaluation. *J. Orofac. Orthop.* **2014**, *75*, 203–212.
- Danesh, G.; Podstawa, P.K.K.; Schwartz, C.E.; Kirschneck, C.; Bizhang, M.; Arnold, W.H. Depth of acid penetration and enamel surface roughness associated with different methods of interproximal enamel reduction. *PLoS ONE* **2020**, *15*, 1–12.
- 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*, 468–472.
- De Felipe, 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*, 1–7.
- Abduo, J.; Elseyoufi, M. Accuracy of Intraoral Scanners: A Systematic Review of Influencing Factors. *Eur. J. Prosthodont. Restor. Dent.* **2018**, *26*, 101–121.
- Lee, K.C.; Park, S.-J. Digital Intraoral Scanners and Alginate Impressions in Reproducing Full Dental Arches: A Comparative 3D Assessment. *Appl. Sci.* **2020**, *10*, 7637.
- Sfondrini, M.F.; Gandini, P.; Malfatto, M.; Di Corato, F.; Trovati, F.; Scribante, A. Computerized Casts for Orthodontic Purpose Using Powder-Free Intraoral Scanners: Accuracy, Execution Time, and Patient Feedback. *Biomed. Res. Int.* **2018**, *23*, 4103232.

21. Lecocq, G. Digital impression-taking: Fundamentals and benefits in orthodontics. *Int. Orthod.* **2016**, *14*, 184–194.
22. Duvert, R.; Gebeile-Chauty, S. La précision des empreintes numériques intra-orales en orthodontie est-elle suffisante? *Orthod. Fr.* **2017**, *88*, 347–354.
23. 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.
24. 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.
25. 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.
26. 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.
27. Mhatre, A.C.; Tandur, A.P.; Reddy, S.S.; Karunakara, B.C.; Baswaraj, H. Enamel Surface Evaluation after Removal of Orthodontic Composite Remnants by Intraoral Sandblasting Technique and Carbide Bur Technique: A Three-Dimensional Surface Profilometry and Scanning Electron Microscopic Study. *J. Int. Oral Health* **2015**, *7*, 34–39.
28. Ahrari, F.; Akbari, M.; Akbari, J.; Dabiri, G. Enamel surface roughness after debonding of orthodontic brackets and various clean-up techniques. *J. Dent.* **2013**, *10*, 82–93.
29. Kubínek, R.; Zapletalová, Z.; Vůjtek, M.; Novotný, R.; Kolářová, H.; Chmelíčková, H.; Peřina, J., Jr. Sealing of open dentinal tubules by laser irradiation: AFM and SEM observations of dentine surfaces. *J. Mol. Recognit.* **2007**, *20*, 476–482.
30. García Vargas, M.C.; Montoya Toro, F.A.; Salamanca Mojica, I.P.; Figueroa Valbuena, E.; Castro Figueroa, M.E.; Delgado Perdomo, L.P.; Quintero, L.C. Efectos sobre el esmalte dental con la utilización de tres diferentes métodos de reducción interproximal. *Rev. Nac. Odontol.* **2011**, *7*, 9–17.
31. Kilinc, D.D.; Hamamci, O. Enamel surfaces with sem after the application of different in vivo stripping methods. *J. Int. Dent. Med. Res.* **2009**, *2*, 71–76.
32. Meredith, L.; Farella, M.; Lowrey, S.; Cannon, R.D.; Mei, L. Atomic force microscopy analysis of enamel nanotopography after interproximal reduction. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* **2017**, *151*, 750–757.
33. Zubizarreta-Macho, Á.; Triduo, M.; Alonso Pérez-Barquero, J.; Guinot Barona, C.; Albaladejo Martínez, A. Novel Digital Technique to Quantify the Area and Volume of Cement Remaining and Enamel Removed after Fixed Multibracket Appliance Therapy Debonding: An In Vitro Study. *J. Clin. Med.* **2020**, *9*, 1098.
34. Flüge, T.V.; Schlager, S.; Nelson, K.; Nahles, S.; Metzger, M.C. Precision of intraoral digital dental impressions with iTero and extraoral digitization with the iTero and a model scanner. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* **2013**, *144*, 471–478.
35. Sason, G.K.; Mistry, G.; Tabassum, R.; Shetty, O. A comparative evaluation of intraoral and extraoral digital impressions: An in vivo study. *J. Indian Prosthodont. Soc.* **2018**, *18*, 108–116.
36. Flüge, T.; Att, W.; Metzger, M.; Nelson, K. Precision of Dental Implant Digitization Using Intraoral Scanners. *Int. J. Prosthodont.* **2016**, *29*, 277–283.
37. Ender, A.; Mehl, A. Full arch scans: Conventional versus digital impressions--an in-vitro study. *Int. J. Comput. Dent.* **2011**, *14*, 11–21.
38. Ender, A.; Attin, T.; Mehl, A. In vivo precision of conventional and digital methods of obtaining complete-arch dental impressions. *J. Prosthet. Dent.* **2016**, *115*, 313–320.
39. Kuhr, F.; Schmidt, A.; Rehmann, P.; Wöstmann, B. A new method for assessing the accuracy of full arch impressions in patients. *J. Dent.* **2016**, *55*, 68–74.
40. Guth, J.; 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.
41. Nedelcu, R.G.; Persson, A.S. Scanning accuracy and precision in 4 intraoral scanners: An in vitro comparison based on 3-dimensional analysis. *Prosthet. Dent.* **2014**, *112*, 1461–1471.
42. Akyalcin, S.; Cozad, B.; English, J.; Colville, C.; Laman, S. Diagnostic accuracy of impression-free digital models. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* **2013**, *144*, 916–922.
43. Kulczyk, T.; Rychlik, M.; Lorkiewicz-Muszyńska, D.; Abreu-Głowacka, M.; Czajka-Jakubowska, A.; Przysańska, A. Computed tomography versus optical scanning: A comparison of different methods of 3d data acquisition for tooth replication. *Biomed. Res. Int.* **2019**, *2019*, 1–7.



© 2020 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Article

Novel Digital Technique to Quantify the Area and Volume of Cement Remaining and Enamel Removed after Fixed Multibracket Appliance Therapy Debonding: An In Vitro Study

Álvaro Zubizarreta-Macho ¹, Martina Triduo ², Jorge Alonso Pérez-Barquero ^{3,*}, Clara Guinot Barona⁴ and Alberto Albaladejo Martínez ²

¹ Department of Endodontics, Faculty of Health Sciences, Alfonso X El Sabio University, Madrid, 28691, Spain; J.V.L.); amacho@uax.es (A.Z.-M.)

² Department of Orthodontics, Faculty of Medicine and Dentistry, University of Salamanca, 37008 Salamanca, Spain; martina.triduo.f@gmail.com (M.T.), and albertoalbaladejo@hotmail.com (A.A.M.)

³ Department of Stomatology, Faculty of Medicine and Dentistry, University of Valencia, 46010 Valencia, Spain; jorgealonso86@gmail.com (J.A.P.-B.)

⁴ Department of Dentistry, Faculty of Health Sciences, University Cardenal Herrera-CEU, CEU Universities, 46115 Valencia, Spain; claraguinot@gmail.com (C. G. B.)

* Correspondence: jorgealonso86@gmail.com; Tel.: +34-963864175

Received: 17 March 2020; Accepted: 9 April 2020; Published: date

Abstract: The aim of this study was to construct a novel, repeatable, reproducible, and accurate measurement protocol for the area and volume of the remaining cement after removal of fixed multibracket appliances, the area and volume of remaining cement after cement removal, the area and volume of enamel removed after cement removal, and the volume of cement used to adhere fixed multibracket appliances. A total of 30 brackets were cemented and removed with over 30 extracted teeth embedded into three experimental models of epoxy resin. The models were scanned before and after bracket placement, bracket debonding, and polishing the remaining cement. The brackets were submitted to micro-computed tomography. The standard tessellation language digital files were aligned, segmented, and re-aligned using geomorphometric software. The digital measurement technique accuracy, repeatability, and reproducibility were analyzed using Gage R&R statistical analysis. The variability attributable to the area and volume measurement techniques of the total variability of the samples was 0.70% and 0.11% for repeatability, respectively, and 0.79% and 0.01% for reproducibility, respectively. The re-alignment procedure is a repeatable, reproducible, and accurate technique that can be used to measure the area and volume of the remaining cement after removal of fixed multibracket appliances, the area and volume of remaining cement after cement removal, the area and volume of enamel removed after cement removal, and the volume of cement used to adhere the fixed multibracket appliance.

Keywords: orthodontics; digital impression; geomorphometry; alignment; cement remaining; enamel removed

1. Introduction

Fixed multibracket appliance therapy has been widely used in orthodontic treatments to improve adhesion in terms of materials and techniques [1]. The treatment prognosis and time of orthodontic treatment are directly related to the adhesion strength of the multibracket appliance fixed to the dental surface [2]. The adhesion technique used for fixed multibracket appliance therapy includes the use of 37% orthophosphoric acid to allow the dissolution of the enamel surface, obtaining a micro-porosity of around 5–50 µm that improves the bonding-agent penetration through these micro-porosities

inside the enamel surface and enhances the micro-retention effect of the resin cement into the conditioned enamel [3–5]. This is why, Bertacci et al. recommended a single application of a stannous fluoride-containing toothpaste on eroded enamel to prevent acid-induced permeability on the enamel surface after acid agent application [6]. However, resin cement removal after fixed multibracket appliance therapy debonding can lead to cracks or tear-outs, compromising tooth health and integrity [7], dental plaque formation due to the micro-roughness increase, dental hypersensitivity due to accidental enamel removed during the resin cement removal [8], and dental stains caused by the staining of the remaining cement after inadequate resin cement removal [9]. The upper central incisors are the most commonly affected teeth, followed by the upper lateral incisors and the canines [10]. These painful and aesthetic complications related to fixed multibracket appliance therapy debonding can cause discomfort to the patients and may require additional therapeutic procedures; so, the factors that influence these adverse effects must be controlled. Odegaard et al. reported a different bond failure pattern between ceramic and metal brackets: at the enamel–adhesive interface, at the bracket–adhesive interface [11], or ceramic brackets with mechanical retention [12]. These may occur due to the higher bond strength between ceramic brackets and the adhesive, or between enamel and adhesive in the case of metal brackets, so mechanical retention brackets probably leave more cement than chemical retention brackets. Samruajbenjakul and Kukiattrakoon reported that metal brackets should have a clinical detachment resistance between 6 and 8 MPa [13]; however, higher detachment resistance values may require excessive force to remove the bracket, possibly damaging enamel [14].

Some authors analyzed the cement removal procedures for maintaining the enamel surface integrity and highlighted tungsten carbide burs at high or low speeds [1,15,16], laser [17], fiberglass drills [18], and ultrasound [15,19]. The final remaining cement is polished with a rubber cup and diamond paste or aluminum oxide paste [14,15]. However, the best option for removing the remaining cement is through multi-blade tungsten carbide burs at high speed with irrigation [1,15]. Most of the studies used microscopic measurement methods, which are useful for assessing the enamel micro-roughness after the cement removal, but are impossible to apply in clinical settings, because it is necessary to extract the teeth [20]. Other studies used scanning electron microscopy [1], profilometry [20], atomic force microscope [18], and optic coherence tomography technology [21] to measure the damage produced to the enamel surface after bracket removal. Digital procedures have been introduced to dental practice due to their accuracy, simplicity, and versatility in acquiring information about dental treatments for diagnostic purposes, treatment planning, prosthesis and appliance fabrication, and for research [22]. The intraoral scans generate a standard tessellation language (STL) digital file by means of a cloud of points that create a tessella network, representing three-dimensional objects as polygons composed of tessellas of equilateral triangles [23,24]. The accuracy of the object is given by the tessella mesh density, allowing a precision range of $\pm 10 \mu\text{m}$.

The aim of this work was to describe a novel digital technique that could be used to quantify the amount of cement necessary to adhere fixed orthodontic therapy, the cement remaining after orthodontic treatment removal, and the enamel removed during cement removal, with a null hypothesis (H_0) stating that no difference exists between the geomorphometric measurement protocol used with regards to the measurement accuracy of the amount of cement remaining after fixed multibracket appliance removal, the amount of orthodontic cement necessary to fix multibracket appliances, and the amount of enamel removed after fixed multibracket appliance removal.

2. Materials and Methods

2.1. Study Design

Thirty upper teeth representatives of all dental sectors, extracted for periodontal and orthodontic reasons, without caries, restorations, or fractures, were selected in this study at the Alfonso X El Sabio University (Madrid, Spain), Master Degree in Orthodontics at University of Salamanca (Salamanca, Spain), and the Department of Stomatology at University of Valencia (Valencia, Spain), between November 2019 and February 2020. A randomized controlled in vitro 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 December 2019 (process no. 03/2019). All patients provided informed consent to transfer the teeth for the study.

2.2. Experimental Procedure

The teeth were randomly (Epidat 4.1, Galicia, Spain) embedded into three experimental models of epoxy resin (ref.: 20-8130-128. EpoxiCure®, Buehler, IL, USA) with 14 teeth each (Figure 1A). The experimental models were submitted to a baseline intraoral scan (STL1; True Definition, 3M ESPE™, Saint Paul, MN, USA) (by means of a 3D in-motion video imaging technology (Figure 2A). The images were captured following the manufacturer's recommendations by first scanning the occlusal plane, followed by the vestibular and palatal faces. Later, the fixed multibracket appliance was cemented only on teeth 1.5–2.5 in the center of the buccal surface of the clinical crown with a photo-polymerized composite resin cement (Transbond™ XT, 3M ESPE™, Saint Paul, MN, USA) before etching the enamel buccal surface with 37% orthophosphoric acid (VOCOCID, VOCO GmbH, Cuxhaven, Germany) for 20 s and photo-polymerized resin adhesive primer application (Unitek Transbond™ XT, 3M ESPE™, Saint Paul, MN, USA) for 20 s (Figure 1B). Finally, a post-cementation intraoral scan (STL2; True Definition, 3M ESPE™, Saint Paul, MN, USA) was performed (Figure 2B). Then, the fixed multibracket appliance was removed from teeth 1.5 to 2.5 with a specific instrument to remove the fixed multibracket appliance (MBT, 0.022, Pacific Orthodontics, Guadalajara, Spain) (Figure 1C) and a post-removing bracket intraoral scan (STL3; True Definition, 3M ESPE™, Saint Paul, MN, USA) was performed (Figure 2C). The remains of composite resin cement were gently removed with a unidirectional movement by a single operator, using a low-speed contra angle handpiece, (W&H WE-99 LED G, Bürmoos, Austria) at 1500 rpm with profuse irrigation. A polishing diamond bur surface (ref. 882 314 012, Komet Medical, Lemgo, Germany) was used for each experimental model, until there was no cement clinically visible (Figure 1D) and a post-removing cement intraoral scan (STL4; True Definition, 3M ESPE™) was performed (Figure 2D). The brackets were submitted to a micro-computed tomography scan (micro-CT; STL5; Skyscan 1176, Bruker-MicroCT, Kontich, Belgium) with the following exposure parameters: 160.0 kilovolt peak, 56.0–58.0 microamperes, 500.0 ms, 720 projections 4 frames, a tungsten target between 0.25 and 0.375 mm, a 3 µm resolution, and a pixel size of 0.127 µm, to obtain accurate STL digital files of the surface of each of the fixed multibracket appliances.

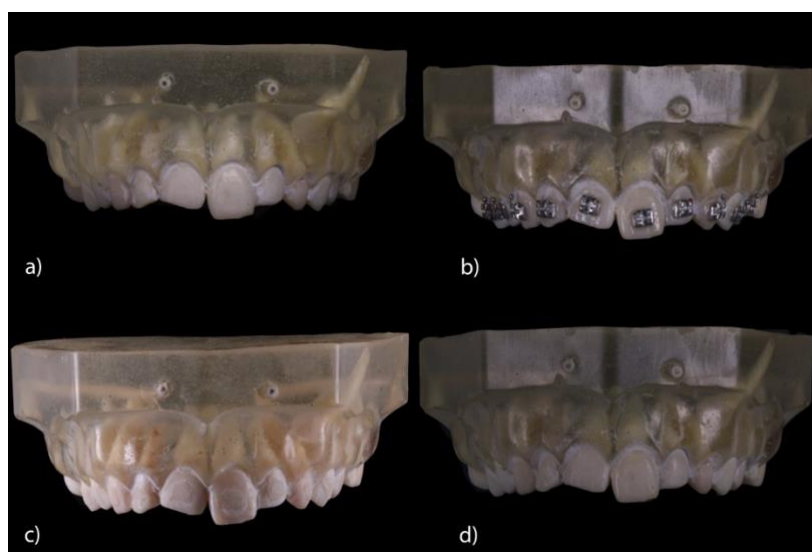


Figure 1. (A) Frontal view of the experimental model of extracted teeth; (B) experimental model with cemented fixed multibracket appliance; (C) experimental model with fixed multibracket appliance removed; and (D) experimental model with cement removed.

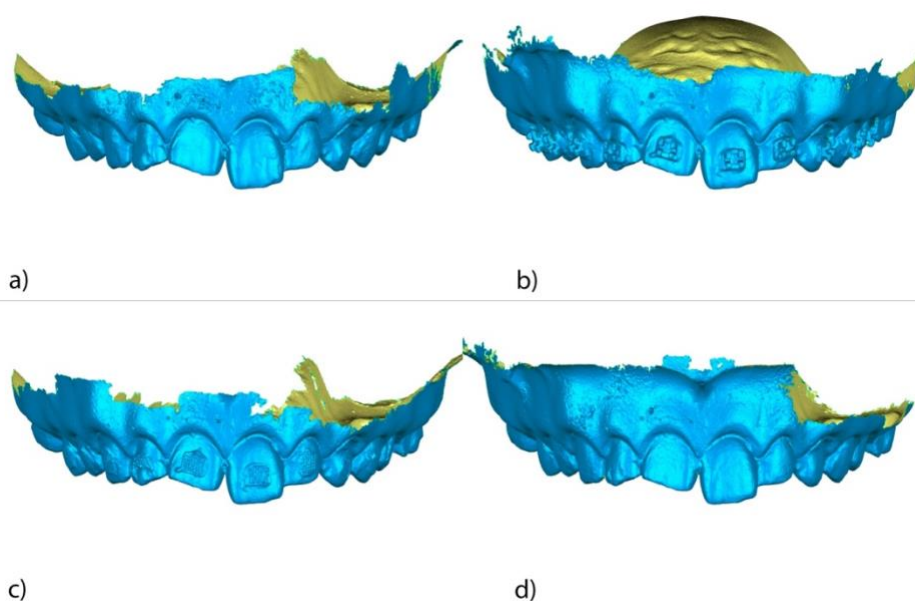


Figure 2. (A) Frontal view of the standard tessellation language (STL)1, (B) STL2, (C) STL3, and (D) STL4.

2.3. Alignment Procedure

Once STL1–4 were imported to reverse engineering geomorphometric software (3D Geomagic Capture Wrap, 3D Systems®, Rock Hill, SC, USA); a full-arch alignment procedure was conducted. STL1 was considered the reference digital file, and STL2–4 were superimposed on it using the palatal surfaces of the anterior teeth and the occlusal and palatal surfaces of the posterior teeth, with the best fit algorithm. Afterward, the teeth from 15 to 25 of all STL files were segmented (Figure 3A–D) and individually three-dimensionally compared using the alignment of the STL files 2 (Figure 4A), 3 (Figure 4B), and 4 (Figure 4C) with STL1 used as the reference.

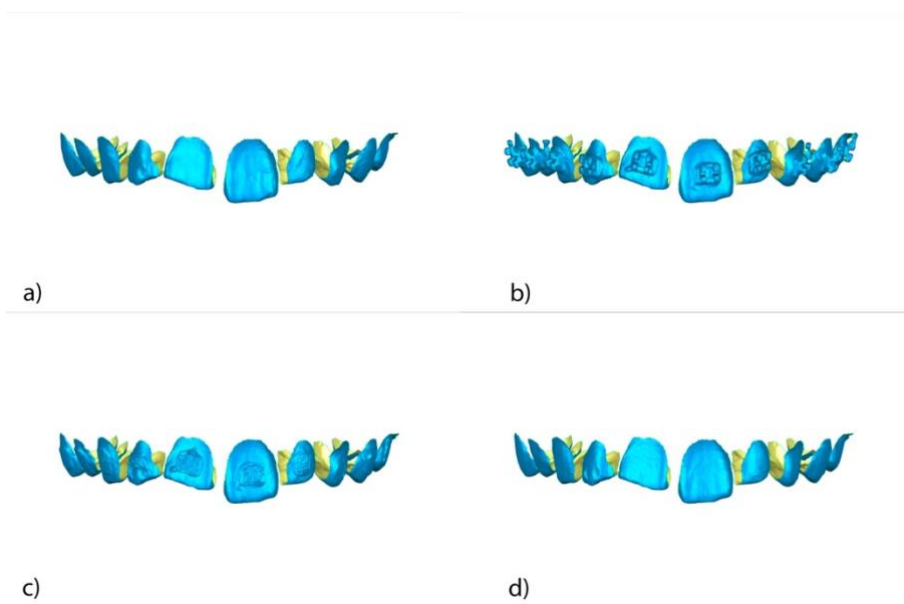


Figure 3. Frontal view of the individually segmented (A) STL1, (B) STL2, (C) STL3, and (D) STL4.

The spectrum was set to $\pm 100 \mu\text{m}$ and the tolerance to $\pm 10 \mu\text{m}$ (Figure 4D).

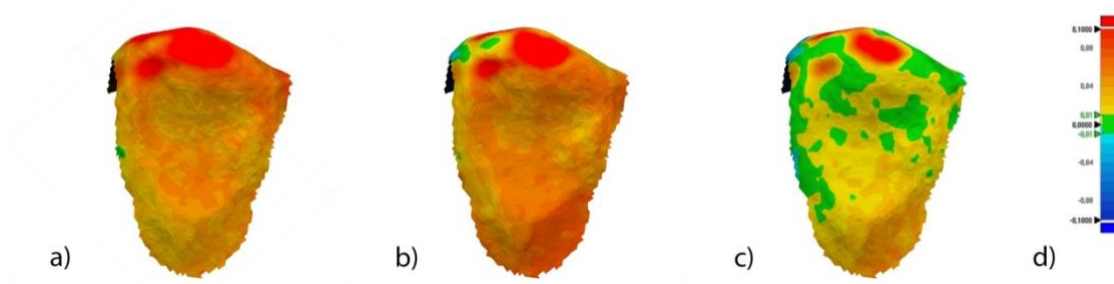


Figure 4. Palatal view of the three-dimensional comparison of the alignment of the segmented tooth 2.3 between (A) STL1 and STL2, (B) STL1 and STL3, and (C) STL1 and STL4. (D) Spectrum values used in (A–C). Warm colors represent a volume increase, cold colors represent a volume decrease, and green represents an accurate alignment.

Then, a new alignment procedure (re-alignment) was performed. This re-alignment was individually performed from the previously segmented teeth 1.5–2.5 using the intact palatal surface of each tooth as reference to enable the re-alignment. The previously segmented teeth of STL1 were considered the reference and the corresponding segmented teeth of STL2–4 were superimposed, so the 3D position of the teeth of the STL1 was not modified in the process of re-alignment.

After the re-alignment, a 3D comparison was performed with the same spectrum and tolerance values previously described (Figure 5).

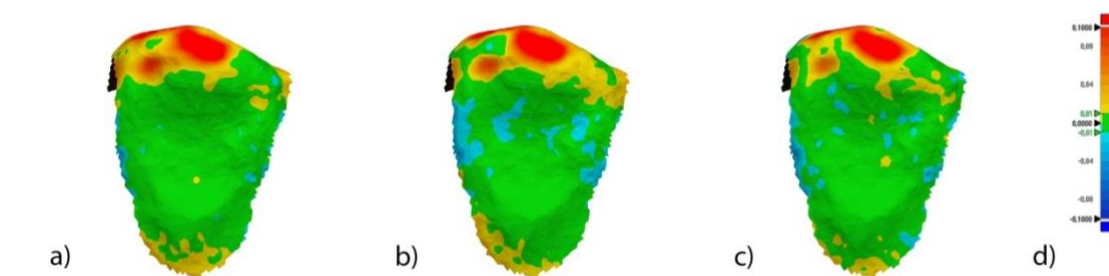


Figure 5. Palatal view of the three-dimensional comparison of the re-alignment of segmented tooth 2.3 between (A) STL1 and STL2, (B) STL1 and STL3, and (C) STL1 and STL4. (D) Spectrum values used in Figure 4A–C. Warm colors represent a volume increase, cold colors represent a volume decrease, and green represents an accurate alignment.

2.4. Measurement Procedure

After the alignment and re-alignment procedures, the following variables were measured: area and volume of the remaining cement after fixed multibracket appliance therapy removal, area and volume of the remaining cement after cement removal, area and volume of the enamel removed after cement removal, and the volume of the cement used to adhere the fixed multibracket appliance.

A random (Epidat 4.1, Galicia, Spain) tooth was selected and all the above-mentioned measures were calculated. Segmented tooth 2.3 of STL1 (Figure 6A), STL2 (Figure 6B), STL3 (Figure 6C), and STL4 (Figure 6D) aligned and re-aligned and the STL of the corresponding bracket obtained from the micro-CT (Figure 6E) were used to analyze the variables previously described.

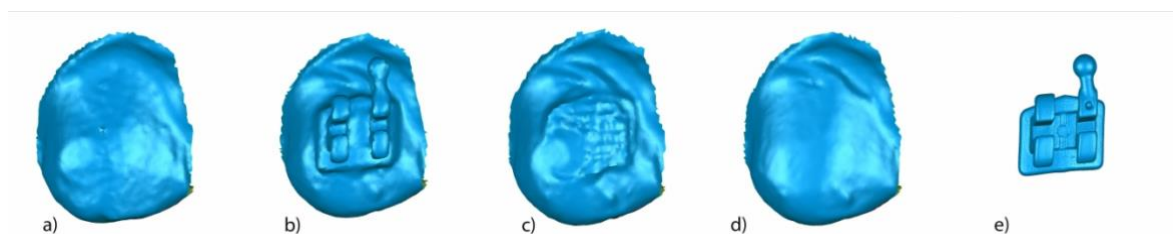


Figure 6. Buccal view of segmented tooth 2.3 of (A) STL1, (B) STL2, (C) STL3, and (D) STL4. (E) STL of the bracket 2.3 obtained from the micro-computed tomography.

STL1 (Figure 7A) and STL3 (Figure 7B) digital files of the previously segmented and re-aligned tooth 2.3 were selected to analyze the area and volume of the remaining cement after the fixed multibracket appliance therapy removal. The STL1 (Figure 7C) digital file of the tooth 2.3 was slightly overcontoured regarding STL3 (Figure 7D), which allowed us to differentiate the boundaries between both STL digital files. Afterward, the STL1 digital file recovered its original size and the area of the remaining cement was determined by comparing the boundaries of STL1 (Figure 7E) and STL3 (Figure 7F) digital files. The remaining cement area was selected and isolated in STL1 (Figure 7G) and STL3 (Figure 7H) digital files by reverse selection, and the normals of the tessella network of the selected area of the remaining cement of the STL1 (Figure 7G) digital file were flipped to obtain a closed polygon with the selected area of the remaining cement in the STL3 digital file (Figure 7H). This allowed us to measure the remaining cement after fixed multibracket appliance removal (Figure 7I).

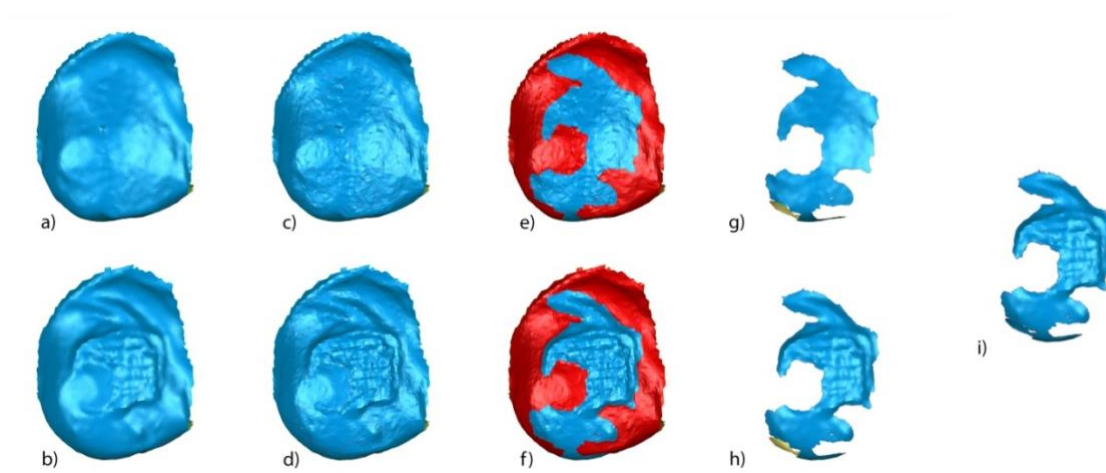


Figure 7. (A) Buccal view of segmented tooth 2.3 of STL1 and (B) STL3; slight overcontouring of (C) STL1 and (D) STL3; (E) boundary of the volumetric comparison between STL1 and STL3 over STL1; (F) boundary of the volumetric excess comparison between STL1 and STL3 over STL3; (G) new mesh with the remaining cement over the STL1 digital file; (H) new mesh with the remaining cement over the STL1 digital file; and (I) combined meshes with the remaining cement after bracket removal of STL1 and STL3, obtaining a closed polygon.

The isolated area of the remaining cement in STL3 (Figure 8A) and STL4 (Figure 8B) digital files of the previously segmented and re-aligned tooth 2.3 were selected to analyze the area and volume of the remaining cement after removal using an intersection Boolean operation calculated by 3D Geomagic Capture Wrap software (3D Systems®, Rock Hill, Rock Hill, SC, USA) (Figure 8C).

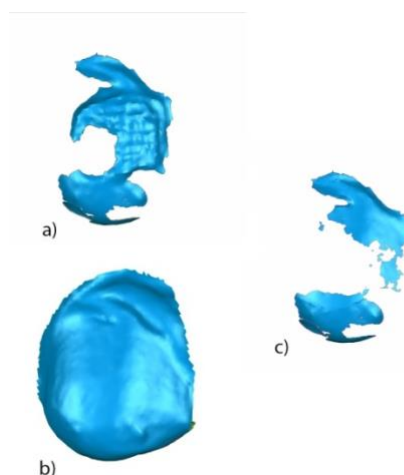


Figure 8. Mesh of the remaining cement after bracket removal in (A) STL3 and (B) STL4, and (C) excess remaining cement after removal in STL4.

The STL1 (Figure 9A) and STL4 (Figure 9B) digital files of the previously segmented and re-aligned tooth 2.3 were selected to analyze the area and volume of the enamel removed after cement removal. The measurement procedure (Figure 9A–I) was performed following the measurement procedure previously described to determine the area and volume of the remaining cement after fixed multibracket appliance therapy removal.

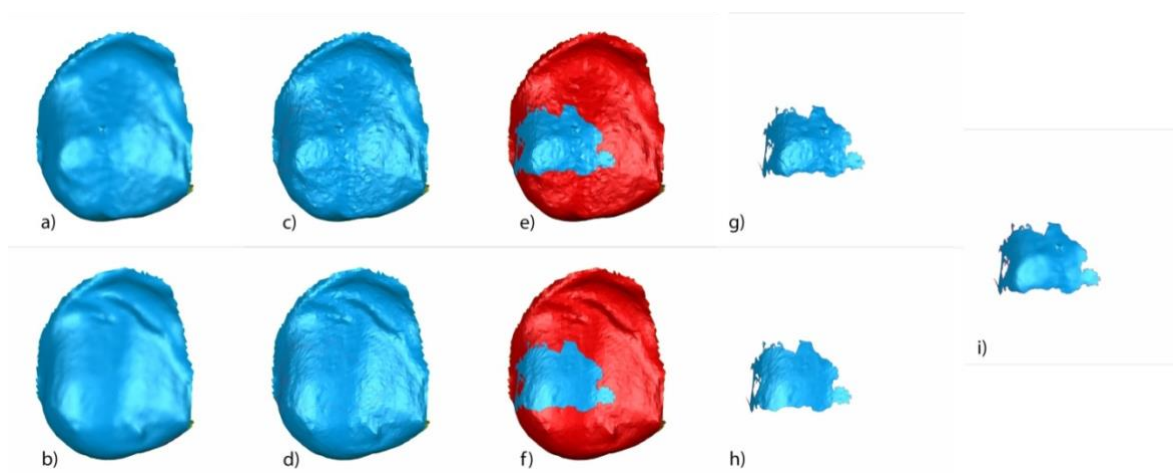


Figure 9. Buccal view of the segmented tooth 2.3 of (A) STL1 and (B) STL4; slight overcontouring of (C) STL1 and (D) STL4; (E) boundary of the volumetric comparison between STL1 and STL4 over STL1; (F) boundary of the volumetric defect comparison between STL1 and STL4 over STL4; new mesh with the enamel removed over the (G) STL1 and (H) STL4 digital files; and (I) combined meshes with the enamel removed of STL1 and STL4, obtaining a closed polygon.

Finally, the STL1, STL2 (Figure 10A), and STL5 (Figure 10C) digital files of the previously segmented and re-aligned tooth 2.3 were selected to analyze the volume of the cement used to adhere the fixed multibracket appliance. The STL2 digital file was transformed into a solid polygon (Figure 10B) and the bracket of the STL2 digital file was removed using a subtractive Boolean operation with the STL5 digital file (Figure 10C). A new solid polygon was obtained with the volume of the cement used to adhere the fixed multibracket appliance over the STL2 digital file (Figure 10D).

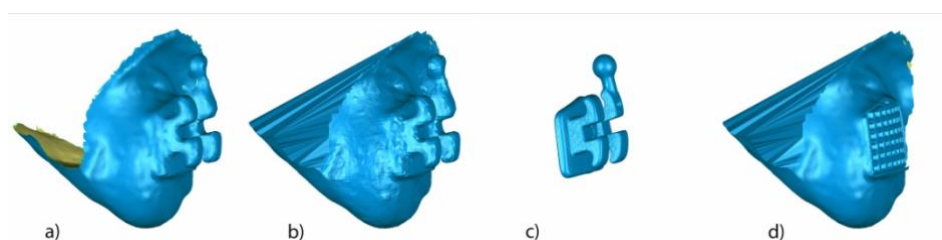


Figure 10. Proximal view of (A) the segmented tooth 2.3 of STL2 and (B) the solid mesh of tooth 2.3 of STL2. The mesh is not only in the perimeter, the inside is also filled. (C) STL5 and (D) solid mesh of tooth 2.3 of STL2 with the volume of the cement used to adhere and without the bracket.

The STL1 (Figure 11A) and new solid polygon of the STL2 (Figure 11B) digital files of the previously segmented and re-aligned tooth 2.3 were selected to analyze the volume of the cement used to adhere the fixed multibracket appliance. The measurement procedure (Figure 11A–I) was performed following the measurement procedure previously described to determine the area and volume of the remaining cement after removal of the fixed multibracket appliance and the volume of cement used to adhere the fixed multibracket appliance (Figure 11I).

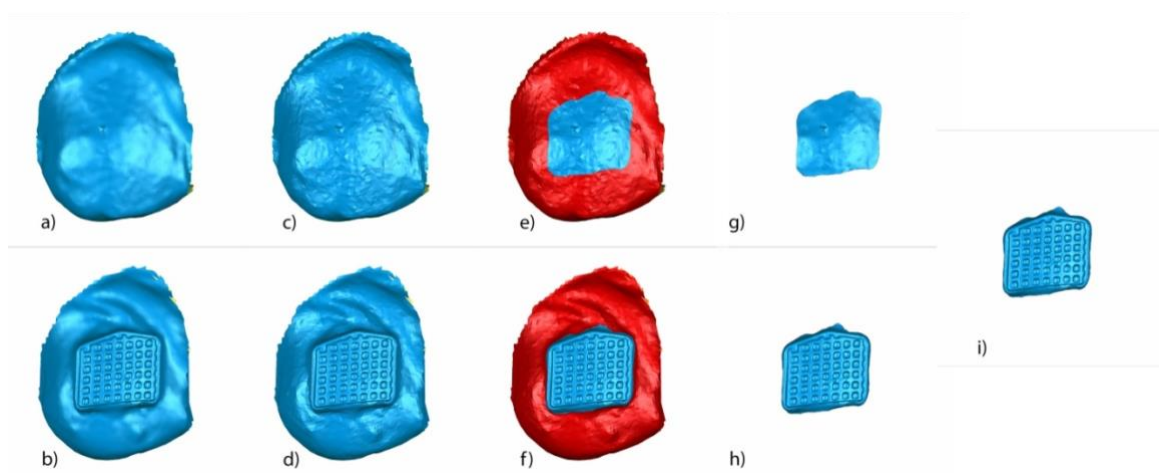


Figure 11. (A) Buccal view of segmented tooth 2.3 of STL1; (B) STL2 without bracket; slight overcontouring of (C) STL1 and (D) STL2 without bracket; boundary of the volumetric comparison between (E) STL1 and STL2 without bracket over STL1 and (F) STL1 and STL2 without bracket over STL2 without bracket; new mesh with the volume of the cement used over the (G) STL1 digital file and (H) STL2 without bracket digital file; and (I) combined meshes with the volume of cement used for STL1 and STL2 without bracket, obtaining a closed polygon.

2.5. Validation of the Repeatability and Reproducibility

To validate the repeatability of this new protocol, the measurements described above were calculated six times using the same operator (Operator A). The measurements were calculated six times by another operator (Operator B) to validate the reproducibility of this new measurement technique.

2.6. Statistical Analysis

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 quantitative variables. Comparative analysis was performed by comparing the mean deviation values between the STL digital files in area and volume using Student's *t*-test as the variables had a normal distribution. The statistical significance was set to $p < 0.05$. Gage R&R statistical analysis was conducted to analyze the repeatability and reproducibility of this measurement technique.

3. Results

The means and SD values for aligned and re-aligned accuracies of the STL digital files are displayed in Table 1 and Figure 12.

Table 1. Descriptive statistics of the aligned accuracy of the standard tessellation language (STL) digital files.

	<i>n</i>	Mean	SD	Minimum	Maximum
Aligned (μm)	30	12.75 ^a	9.80	1.58	29.71
Re-aligned (μm)	30	37.88 ^b	12.22	5.62	63.41

SD: standard deviation. ^{a,b} Statistically significant differences between groups ($p < 0.05$).

Student's *t*-test revealed statistically significant differences between the aligned and re-aligned values of the STL digital files ($p < 0.000$; Table 1, Figure 12A) after analyzing three measures in 10 teeth (Figure 12B). We observed a 25.13% increase in the tessella network of the re-aligned STL digital files within the pre-established ± 10 μm tolerance range with a power of sample size of 100%.



Figure 12. (A) Box plot of the total mean and standard deviation (SD) values and (B) mean and SD values of the aligned and re-aligned samples of each measurement.

Table 2 and Figure 13 display the means and SD values necessary to analyze the repeatability of the measurement technique for the area and volume of the remaining cement after fixed multibracket appliance therapy removal, area and volume of the remaining cement after cement removal, area and volume of the enamel removed after cement removal, and the volume of the cement necessary to adhere the fixed multibracket appliance.

Table 2. Descriptive statistics of the measurement variables.

Variable	<i>n</i>	Mean	SD	Minimum	Maximum
Area of remaining cement after bracket removal (μm^2)	12	24.8030	0.6340	23.8450	26.1720
Volume of remaining cement after bracket removal (μm^3)	12	3.6417	0.0761	3.5398	3.7745
Area of remaining cement after cement removal (μm^2)	12	17.4010	0.7650	16.1370	18.7650
Volume of remaining cement after cement removal (μm^3)	12	1.4392	0.0351	1.3766	1.5138
Area of enamel removed after cement removal (μm^2)	12	12.8390	0.5110	11.9900	13.4810
Volume of enamel removed after cement removal (μm^3)	12	0.8576	0.0211	0.8114	0.8844
Volume of cement used to adhere brackets (μm^3)	12	3.2794	0.0366	3.2146	3.3242

The Gage R&R statistical analysis of the measurement technique in terms of the area and volume of the remaining cement after fixed multibracket appliance removal, area and volume of the remaining cement after cement removal, area and volume of the enamel removed after cement removal, and the volume of the cement used to adhere the fixed multibracket appliance showed that the variabilities attributable to the area and volume measurement techniques were 0.70% and 0.11%, respectively, of the total variability of the samples. The technique demonstrated a high repeatability for the area and volume measurement techniques and did not show statistically significant differences between the analyzed means of the area ($p = 1.000$; Figure 13A) and volume ($p = 1.000$; Figure 13B).

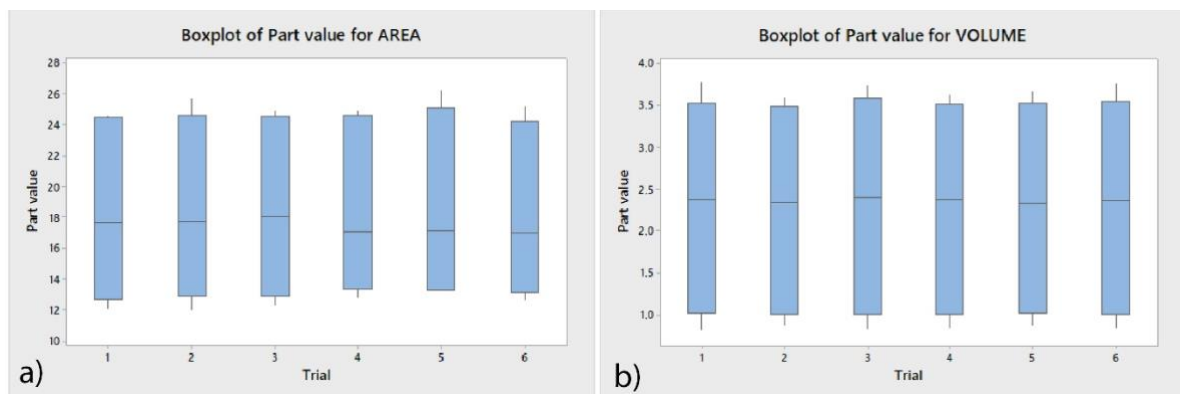


Figure 13. (A) Box plot of the mean and SD values of the area and (B) volume measured after the re-alignment of the STL digital files.

Table 3 and Figure 14 display the means and SD values necessary to analyze the reproducibility of the measurement technique for the area and volume of the remaining cement after the fixed multibracket appliance therapy removing, area (μm^2) and volume (μm^3) of the remaining cement after the cement removing, area (μm^2) and volume (μm^3) of the enamel removed after the cement removing and the volume (μm^3) of the cement used to adhere the fixed multibracket appliance.

Table 3. Descriptive statistics of the measurement variables between operators.

Operator		<i>n</i>	Mean	SD	Minimum	Maximum
A	Area of remaining cement after bracket removal (μm^2)	6	25.208	0.631	24.410	26.172
B	Area of remaining cement after bracket removal (μm^2)	6	24.397	0.303	23.845	24.678
A	Volume of remaining cement after bracket removal (μm^3)	6	3.6620	0.0742	3.5840	3.7745
B	Volume of remaining cement after bracket removal (μm^3)	6	3.6213	0.0789	3.5398	3.7600
A	Area of remaining cement after cement removal (μm^2)	6	17.929	0.519	17.361	18.765
B	Area of remaining cement after cement removal (μm^2)	6	16.873	0.591	16.137	17.676
A	Volume of remaining cement after cement removal (μm^3)	6	1.4564	0.0353	1.4221	1.5138
B	Volume of remaining cement after cement removal (μm^3)	6	1.4220	0.0276	1.3766	1.4605
A	Area of enamel removed after cement removal (μm^2)	6	12.606	0.588	11.990	13.274
B	Area of enamel removed after cement removal (μm^2)	6	13.071	0.314	12.563	13.481
A	Volume of enamel removed after cement removal (μm^3)	6	0.8604	0.0163	0.8318	0.8757
B	Volume of enamel removed after cement removal (μm^3)	6	0.8547	0.0263	0.8114	0.8844
A	Volume of cement used to adhere brackets (μm^3)	6	3.2823	0.0271	3.2397	3.3175
B	Volume of cement used to adhere brackets (μm^3)	6	3.2765	0.0468	3.2146	3.3242

The Gage R&R statistical analysis of the measurement technique of the area and volume of remaining cement after fixed multibracket appliance therapy removal, area and volume of the remaining cement after cement removal, area and volume of enamel removed after cement removal, and the volume of the cement used to adhere the fixed multibracket appliance performed by the two operators showed that the variability attributable to the area and volume measurement techniques was only 0.79% and 0.01% of the total variability of the samples, respectively. The technique demonstrated a high reproducibility for area and volume measurement techniques and did not show statistically significant differences between the means of the area ($p = 0.785$; Figure 14A) and volume ($p = 0.951$; Figure 14B).

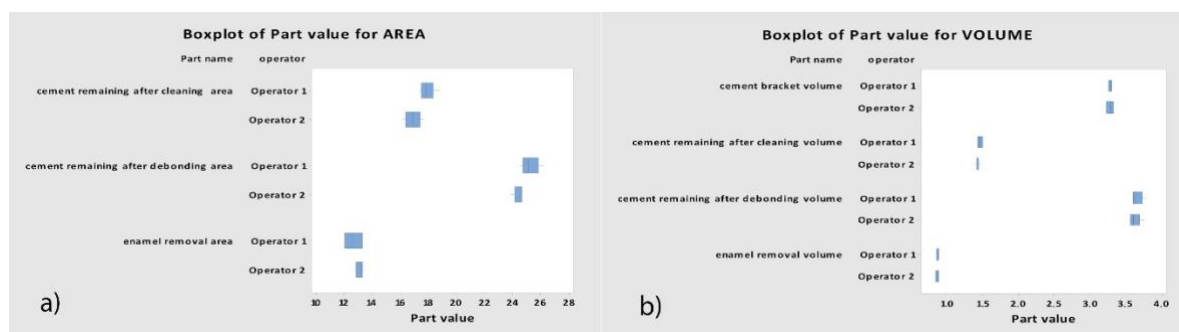


Figure 14. (A) Box plot of the mean and SD values of the area and (B) volume measured after the re-alignment of the STL digital files between two operators.

4. Discussion

The results obtained in the present study rejected the null hypothesis (H_0) of no difference between the geomorphometric measurement protocol used for the area and volume of the remaining cement after fixed multibracket appliance therapy removal, area and volume of the remaining cement after cement removal, area and volume of enamel removed after cement removal, and the volume of cement used to adhere the fixed multibracket appliance.

Microscopic visual measurement techniques were used to analyze the enamel surface damage after fixed multibracket appliance therapy removal using indexes created ad hoc: enamel surface index (ESI) [25], enamel damage index (EDI) [26], line angle grooves (LAG) [27], or enamel surface rating system [3]. SEM allows the identification of the remaining cement on the enamel surface after fixed multibracket appliance therapy removal [16] and the rugosimetry devices incorporated with SEM allow profilometric analysis of enamel surface orography [20]. However, none of these techniques measure the volumes of cement and enamel removed and require tooth extraction [28]. Additional measurement techniques were described for analyzing the enamel surface alterations after fixed multibracket appliance therapy removal: fluorescence [28], atomic force microscope [18], and optic coherence tomography [22]. The fluorescence measurement visual technique has been widely used to differentiate composite from enamel and for identifying the remaining cement after fixed multibracket appliance therapy removal, due to the luminescent differences between composite resin and tooth structures, but cannot measure the volumes of cement and enamel removed [29,30]. Macroscopic visual techniques have been used to identify enamel surface damage and tooth discolorations related to the remaining cement after fixed multibracket appliance therapy removal [31]. These visual techniques allow clinical measurements in clinical settings, but area and volume cannot be measured. Briefly, no measurement technique is available for the clinical setting that allows repeatable, reproducible, and acute measurement for analyzing the area and volume of the remaining cement after fixed multibracket appliance therapy removal, the area and volume of remaining cement after cement removal, area and volume of enamel removed after cement removal, and the volume of the cement used to adhere fixed multibracket appliances. For this reason, the geomorphometric analysis of the STL digital files obtained from intraoral scans was used to analyze all these parameters. However, some studies highlighted the factors related to the inaccuracy of digital impression systems. Jivanescu et al. reported that the presence of adjacent teeth can decrease the view of interproximal surfaces [32]. Ender et al. reported no statistically significant differences between the precision values of Cerec Bluecam, Cerec Omnicam, Itero, Lava C.O.S., Lava True Definition, TRIOS, and TRIOS color digital impression systems for dental nature whole-arch scanning [33]. However, Kuhr et al. reported statistically significant differences between the trueness values of Lava True Definition (23.0 μm) and Cerec Omnicam (214 μm) but no statistically significant differences between the trueness

values of Lava True Definition and TRIOS (37.0 μm) for dental nature whole-arch scanning [34]. Guth et al. reported that Lava True Definition offers higher levels of trueness (21.8 μm) than 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), and TRIOS color (26.1 μm) digital impression systems for dental nature partial-arch scanning [35]. These trueness values obtained from the scanning of dental nature partial arch are slightly lower than those obtained from dental nature whole arch, potentially due to the higher tessella network of the whole-arch STL digital files [36]. Powder-dependent digital impression systems provide more accurate STL digital files than non-powder-dependent digital impression systems on different scanned substrates [10,37], and specifically on metal abutments [7], because powder prevents light refraction and scattering, allowing an accurate determination of the object depth [38]. The imprecision associated with intraoral digital impression systems can lead to biological and mechanical problems such as caries, prosthesis misfit, and loss of prosthesis retention [39]. Imprecise surface details prevent precise articulation and occlusion establishment [40]. Several factors may affect the digital impression accuracy. One of these factors is the distance from the first point scanned, used as a reference, and the succeeding points in the scanned structures, which would have been stitched to the previous one. Each individual stitch represents a chance of incurring an error, preventing the correct alignment of the full-arch STL digital files with reverse engineering geomorphometric software, and requiring the segmentation and re-alignment of the individualized STL digital files, obtaining a 25.13% larger tessella network at the re-aligned STL digital files within the pre-established $\pm 10 \mu\text{m}$ tolerance range. This increase in the tessella network inside the tolerance range was observed in 100% of the re-aligned STL digital files, which was more evident in the re-aligned STL4 digital file.

Metal brackets were selected in this study because mechanic retention bracket systems present a bond failure pattern at the bracket–adhesive interface [2], leaving residual cement after the fixed multibracket appliance therapy removal. In this situation, the area and volume of remaining cement after fixed multibracket appliance therapy removal, area and volume of remaining cement after cement removal, area and volume of the enamel removed after cement removal, and the volume of cement used to adhere the fixed multibracket appliance must be analyzed. To determine the accuracy, repeatability, and reproducibility of the digital measurement technique, Gage R&R statistical analysis was performed. This method was reported to be useful for evaluating the precision and consistency of a measurement process [41]. We determined how much of the variability in the process is due to variation in the measurements system; we used inference techniques to estimate repeatability and reproducibility. When a measurement process is conducted, the total process variation consists of part-to-part variation plus measurement system variation. Measurement system variation is determined by the repeatability, which is described as the variability of the measures performed by the same operator when the same part is measured, and the reproducibility, which is the variability of the measures performed by different operators when the same part is measured. Ideally, very little of the variability should be due to repeatability and reproducibility. Differences between parts (part-to-part) should account for most of the variability. When variability occurs, the measurement system can reliably distinguish between parts. The Gage R&R results of the area and volume measurements for the repeatability (0.70% and 0.11%, respectively) and the reproducibility (0.79% and 0.01%, respectively) are $<1\%$, which are considered acceptable for a measurement system. From $>10\%$ to $<30\%$ is considered acceptable depending on the application, cost, or other factors, and at $>30\%$, the measurement system is considered unacceptable and should be improved [42].

Calculating the cement used to adhere a multibracket appliance is considered possible for future investigations where digital planning is conducted and indirect

bonding is performed. With this new protocol, the volume of cement planned for use and the real amount of cement used can be measured.

The findings show that the geomorphometric re-aligned measurement protocol provides a more accurate digital measure technique for the area and volume of the remaining cement after fixed multibracket appliance therapy removal, area and volume of remaining cement after cement removal, area and volume of enamel removed after cement removal, and the volume of cement used to adhere the fixed multibracket appliance. Further research is needed to determine the influence of fixed multibracket appliance removal on potential clinical complications.

5. Conclusions

In conclusion, within the limitations of this study, the results showed that the re-aligned measurement protocol is a repeatable, reproducible, and acute measure technique for the area and volume of remaining cement after fixed multibracket appliance therapy removal, area and volume of remaining cement after cement removal, area and volume of enamel removed after cement removal, and the volume of cement used to adhere the fixed multibracket appliance. Clinical trials are necessary to analyze the potential clinical complications associated with fixed multibracket appliance removal.

Author Contributions: Conceptualization, J.A.P.-B. and C.G.B.; data curation, A.A.M.; formal analysis, M.T.; visualization, A.Z.M.

Funding: This research received no external funding.

Acknowledgments: The authors would like to express their thanks to D. Alberto Alvarez Garcia-Pumarino, Global Scientific Affairs Mgr. Digital Oral Care at 3MEsps Spain, for his advice and guidance and help in creating and managing the STL files.

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

References

- Claudino, D.; Kuga, M.C.; Belizário, L.; Pereira, J.R. Enamel evaluation by scanning electron microscopy after debonding brackets and removal of adhesive remnants. *J. Clin. Exp. Dent.* **2018**, *10*, e248–e251.
- Ferreira, F.G.; Nouer, D.F.; Silva, N.P.; Garbui, I.U.; Correr-Sobrinho, L.; Nouer, P.R.A. Qualitative and quantitative evaluation of human dental enamel after bracket debonding: A noncontact three-dimensional optical profilometry analysis. *Clin. Oral Investig.* **2014**, *18*, 1853–1864.
- Janiszewska-Olszowska, J.; Szatkiewicz, T.; Tomkowski, R.; Tandecka, K.; Grocholewicz, K. Effect of orthodontic debonding and adhesive removal on the enamel—Current knowledge and future perspectives—A systematic review. *Med. Sci. Monit.* **2014**, *20*, 1991–2001.
- Machoy, M.; Seeliger, J.; Szyszka-Sommerfeld, L.; Koprowski, R.; Gedrange, T.; Woźniak, K. Evaluation of changes in enamel thickness after orthodontic treatment depending on the force applied to remove orthodontic brackets: OCT analysis and universal testing machine. *Adv. Clin. Exp. Med.* **2019**, *28*, 807–813.
- Hintz, J.K.; Bradley, T.G.; Eliades, T. Enamel colour changes following whitening with 10 per cent carbamide peroxide: A comparison of orthodontically-bonded/debonded and untreated teeth. *Eur. J. Orthod.* **2001**, *23*, 411–415.
- Bertacci, A.; Lucchese, A.; Chersoni, S.; Zanna, S.; Manuelli, M.; Valdrè, G. Effects of stannous fluoride on eroded enamel permeability. *J. Biol. Regul. Homeost. Agents* **2018**, *32*, 1–8.
- Kitahara-Céia, F.M.; Mucha, J.N.; Marques dos Santos, P.A. Assessment of enamel damage after removal of ceramic brackets. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* **2008**, *134*, 548–555.
- Sifakakis, I.; Zinelis, S.; Eliades, G.; Koletsi, D.; Eliades, T. Enamel gloss changes induced by orthodontic bonding. *J. Orthod.* **2018**, *45*, 269–274.
- Joo, H.J.; Lee, Y.K.; Lee, D.Y.; Kim, Y.J.; Lim, Y.K. Influence of orthodontic adhesives and clean-up procedures on the stain susceptibility of enamel after debonding. *Angle Orthod.* **2011**, *81*, 334–340.
- Cochrane, N.J.; Lo, T.W.G.; Adams, G.G.; Schneider, P.M. Quantitative analysis of enamel on debonded orthodontic brackets. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* **2017**, *152*, 312–319.
- Odegaard, J.; Segner, D. Shear bond strength of metal brackets compared with a new ceramic bracket. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* **1988**, *94*, 201–206.
- Bishara, S.E.; Olsen, M.E.; VonWald, L.; Jakobsen, J.R. Comparison of the debonding characteristics of two innovative ceramic bracket designs. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* **1999**, *116*, 86–92.
- Samruajbenjakul, B.; Kukiattrakoon, B. Shear bond strength of ceramic brackets with different base designs to feldspathic porcelains. *Angle Orthod.* **2009**, *79*, 571–576.
- Rodríguez-Chávez, J.A.; Arenas-Alatorre, J.; Belio-Reyes, I.A. Comparative study of dental enamel loss after debonding braces by analytical scanning electron microscopy (SEM). *Microsc. Res. Tech.* **2017**, *80*, 680–686.
- Macleski, K.; Rocha, R.; Locks, A.; Ribeiro, G.U. Effects evaluation of remaining resin removal (three modes) on enamel surface after bracket debonding. *Dental Press J. Orthod.* **2011**, *16*, 146–154.

18. Vidor, M.M.; Felix, R.P.; Marchioro, E.M.; Hahn, L. Enamel surface evaluation after bracket debonding and different resin removal methods. *Dental Press J. Orthod.* **2015**, *20*, 61–67.
19. Eminkahyagil, N.; Arman, A.; Çetinşahin, A.; Karabulut, E. Effect of resin-removal methods on enamel and shear bond strength of rebonded brackets. *Angle Orthod.* **2006**, *76*, 314–321.
20. Karan, S.; Kircelli, B.H.; Tasdelen, B. Enamel surface roughness after debonding: Comparison of two different burs. *Angle Orthod.* **2010**, *80*, 1081–1088.
21. Hosein, I.; Sherriff, M.; Ireland, A.J. Enamel loss during bonding, debonding, and cleanup with use of a self-etching primer. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* **2004**, *126*, 717–724.
22. Faria-Junior, E.M.; Giraldo, R.D.; Berger, S.B.; Correr, A.B.; Correr-Sobrinho, L.; Ruiz Contreras, E.F.; Lopes, M.B. In-vivo evaluation of the surface roughness and morphology of enamel after bracket removal and polishing by different techniques. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* **2015**, *147*, 324–329.
23. Leão Filho, J.C.; Braz, A.K.; de Araujo, O.M.; Tanaka, O.M.; Pithon, M.M. Enamel quality after debonding: Evaluation by optical coherence tomography. *Braz. Dent. J.* **2015**, *26*, 384–389.
24. Abduo, J.; Elseyoufi, M. Accuracy of Intraoral Scanners: A Systematic Review of Influencing Factors. *Eur. J. Prosthodont. Restor. Dent.* **2018**, *26*, 101–121.
25. 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.
26. 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.
27. Zachrisson, B.U.; Arthun, J. Enamel surface appearance after various debonding techniques. *Am. J. Orthod.* **1979**, *75*, 121–127.
28. Schuler, F.S.; van Waes, H. SEM-evaluation of enamel surfaces after removal of fixed orthodontic appliances. *Am. J. Dent.* **2003**, *16*, 390–394.
29. Bauman, D.F.; Brauchli, L.; van Waes, H. The influence of dental loupes on the quality of adhesive removal in orthodontic debonding. *J. Orofac. Orthop.* **2011**, *72*, 125–132.
30. Stadler, O.; Dettwiler, C.; Meller, C.; Dalstra, M.; Verna, C.; Conner, T. Evaluation of a fluorescence-aided identification technique (FIT) to assist clean-up after orthodontic bracket debonding. *Angle Orthod.* **2019**, *89*, 876–882.
31. Meller, C.; Klein, C. Fluorescence of composite resins: A comparison among properties of commercial shades. *Dent. Mater. J.* **2015**, *34*, 754–765.
32. Volpato, C.A.M.; Pereira, M.R.C.; Silva, F.S. Fluorescence of natural teeth and restorative materials, methods for analysis and qualification: A literature review. *J. Esthet. Restor. Dent.* **2018**, *30*, 397–407.
33. Tecco, S.; Tetè, S.; D'Atillio, M.; Festa, F. Enamel surface after debracketing of orthodontic brackets bonded with flowable orthodontic composite. A comparison with a traditional orthodontic composite resin. *Minerva Stomatol.* **2008**, *57*, 81–94.
34. 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.
35. Ender, A.; Attin, T.; Mehl, A. In vivo precision of conventional and digital methods of obtaining complete-arch dental impressions. *J. Prosthet. Dent.* **2016**, *115*, 313–320.
36. Kuhr, F.; Schmidt, A.; Rehmann, P.; Wostmann, B. A new method for assessing the accuracy of full arch impressions in patients. *J. Dent.* **2016**, *55*, 68–74.
37. Guth, 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.
38. Ender, A.; Zimmermann, M.; Mehl, A. Accuracy of complete and partial-arch impressions of actual intraoral scanning systems in vitro. *Int. J. Comput. Dent.* **2019**, *22*, 11–19.
39. Nedelcu, R.G.; Persson, A.S. Scanning accuracy and precision in 4 intraoral scanners: An in vitro comparison based on 3-dimensional analysis. *J. Prosthet. Dent.* **2014**, *112*, 1461–1471.
40. Akyalcin, S.; Cozad, B.E.; English, J.D.; Colville, C.D.; Laman, S. Diagnostic accuracy of impression-free digital models. *Am. J. Orthod. Dentofacial. Orthop.* **2013**, *144*, 916–922.
41. Guth, J.F.; Keul, C.; Stimmelmayer, M.; Beuer, F.; Edelhoff, D. Accuracy of digital models obtained by direct and indirect data capturing. *Clin. Oral Investig.* **2013**, *17*, 1201–1208.
42. Ender, A.; Mehl, A. Accuracy of complete-arch dental impressions: A new method of measuring trueness and precision. *J. Prosthet. Dent.* **2013**, *109*, 121–128.
43. Zanobini, A.; Sereni, B.; Catelani, M.; Ciani, L. Repeatability and reproducibility techniques for the analysis of measurement systems. *Measurement* **2016**, *86*, 125–132.

44. Carrión García, A.; Grisales Del Río, A.M. Number of distinct data categories and gage repeatability and reproducibility. A doble (but single) requirement. *Measurement* **2013**, *46*, 2514–2518.



© 2020 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

